

МИНИСТЕРСТВО КУЛЬТУРЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВСЕРОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНСТИТУТ
КИНЕМАТОГРАФИИ ИМЕНИ С.А. ГЕРАСИМОВА (ВГИК)
СОЮЗ КИНЕМАТОГРАФИСТОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РОССИЙСКАЯ СЕКЦИЯ НАУЧНОГО ОБЩЕСТВА ИНЖЕНЕРОВ
КИНО И ТЕЛЕВИДЕНИЯ (SMРTE)

**ЗАПИСЬ И ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ
ОБЪЁМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ
В КИНЕМАТОГРАФЕ
И ДРУГИХ ОБЛАСТЯХ**

**X МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

(Москва, 16–18 апреля 2018 года)

МАТЕРИАЛЫ И ДОКЛАДЫ

**МОСКВА
ВГИК
2019**

УДК 778.534.1 (038)
ББК 37.95
3-32

3-32 Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других областях: X Международная научно-практическая конференция, Москва, 16–18 апреля 2018 г.: Материалы и доклады / Под общей редакцией О.Н. Раева. — М.: ВГИК, 2019. — 503 с.
ISBN 978-5-87149-238-3

В сборнике приведены доклады и выступления на X Международной научно-практической конференции «Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других областях», состоявшейся 16–18 апреля 2018 г. в г. Москве.

Для кинематографистов всех специальностей, а также для студентов вузов, аспирантов, преподавателей, учёных, специалистов, в сферу интересов которых входят аудиовизуальные технологии объёмных изображений.

УДК 778.534.1 (038)
ББК 37.95

ISBN 978-5-87149-238-3

© Коллектив авторов, 2019
© ВГИК, оформление, 2019

Раев О.Н.

Всероссийский государственный институт кинематографии им. С.А. Герасимова

ДЕСЯТЬ ЛЕТ КОНФЕРЕНЦИИ, ПОСВЯЩЁННОЙ ОБЪЁМНЫМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ

Oleg N. Raev

Russian Federation State Institute of cinematography named after S.A. Gerasimov

DECENARY OF THE CONFERENCE DEVOTED TO 3-DIMENSIONAL IMAGES

16–18 апреля 2018 г. состоялась X Международная научно-практическая конференция «Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других областях». Конференция организована и проведена Всероссийским государственным институтом кинематографии им. С.А. Герасимова при поддержке Союза кинематографистов Российской Федерации и Российской секции SMPTE.

Во время конференции зачитано и обсуждено 50 докладов и проведен 1 круглый стол. Доклады были представлены ведущими учеными и специалистами, аспирантами и студентами из:

— 14 учебных заведений: Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Башкирский государственный медицинский университет, Всероссийский государственный институт кинематографии им. С.А. Герасимова, Международный институт новых образовательных технологий Российского государственного гума-



Пленарные заседания конференции

гуманитарного университета, Международный учебно-научный центр перспективных медиатехнологий Российского государственного гуманитарного университета, Московский государственный психолого-педагогический университет, Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Московский гуманитарный университет, Московский институт электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», Московский технический университет связи и информатики, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова, Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения, Санкт-Петербургский государственный университет;

— 5 научно-исследовательских институтов: Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, Институт философии РАН, Московский научно-исследовательский телевизионный институт, филиал «Научно-исследовательский кинофотоинститут» АО ТПО «Киностудия им. М. Горького»;

— 11 государственных и частных организаций и учреждений.

Во время конференции проходил кинопоказ фрагментов советских стереофильмов и экспонировались три выставки:



Участники конференции

— коллекция стереокартин стереомастерской Виктора Грачёва «Стереоград»;

— выставка «Пространство в пространстве», автор: Геннадий Васильев;

— выставка «Парадоксы бинокулярного восприятия, бинокулярные эффекты и иллюзии. Тесты для оценки стереозрения. Принципы и тонкости современных стереотехнологий». Организаторы: Топунов А.И. (Высшая школа ландшафтной архитектуры и дизайна Московского архитектурного института); Рожкова Г.И. (Лаборатория «Зрительные системы» Института проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН).

За три дня работы X Международной конференции, согласно регистрации, в мероприятиях конференции приняло участие более 200 человек более чем из 55 организаций из трёх стран: Республика Казахстан, Российская Федерация, Швейцария.

Перевод на английский язык материалов конференции был выполнен Еленой Сергеевной Дорошевой, фотосъёмка мероприятий конференции — Еленой Брыкиной.

Если подвести итоги десятилетней деятельности конференции, то они впечатляют. На прошедших с 2009 года десяти ежегодных конференциях был зачитан и обсуждён 291 доклад, прочитано 2 лекции, проведены 3 круглых стола и организованы экспозиции 27 тематических выставок. Ежегодно в работе конференций при-



Участники конференции

нимало участие от 100 до 200 человек. Всего в работе десяти конференций участвовали представители 14 стран: Австрия, Болгария, Германия, Казахстан, Кыргызстан, Латвия, Литва, Российская Федерация, Соединённые Штаты Америки, Украина, Финляндия, Чешская Республика, Швейцария, Япония.

Основной заслугой конференции можно признать тот факт, что вокруг конференции удалось объединить на неформальной основе учёных, специалистов и энтузиастов, в сферу интересов которых входят техника и технологии создания объёмных изображений, мастерство создания любых видов произведений на основе объёмных изображений, внедрение различных видов систем визуализации в различные области деятельности человека, прежде всего в кинематографе и образовании. Конференция стала регулярной площадкой для общения профессионалов в аудиовизуальной сфере. Этой же цели служат выпущенные в свет сборники материалов и докладов всех десяти конференций.

К безусловным достижениям десяти прошедших конференций относятся:



Лекция по стереокино для гостей конференции

- формулирование направлений и задач актуальных современных исследований;
 - обмен опытом внедрения инновационных технологий, как в сфере техники, так и в гуманитарных сферах деятельности человека;
 - популяризация достижений в области объёмных изображений;
 - анализ, разработка и поддержка со стороны профессионального сообщества отраслевой терминологии через дискуссии специалистов и публикации научных материалов, посвящённых созданию и развитию терминологии в новых сферах деятельности.
- На основании решений, принятых участниками конференций в ходе пленарных заседаний и мероприятий конференции, были организованы и успешно работают по настоящее время следующие регулярные мероприятия:
- с 2010 года ежегодный Международный 3D-стерео кинофестиваль;
 - с 2014 года ежегодная Международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии в кинематографе и образовании»;



Посетители выставки «Парадоксы бинокулярного восприятия, бинокулярные эффекты и иллюзии. Тесты для оценки стереозрения. Принципы и тонкости современных стереотехнологий»

— с 2018 года ежеквартальный круглый стол «Виртуальная реальность: возможности и угрозы».

Важным социальным и научным фактором деятельности конференции стало её отношение к молодым учёным и специалистам: конференция является научной и профессиональной школой для молодых учёных и специалистов в аудиовизуальной сфере, специализирующихся на объёмных изображениях, конференция поддерживает отечественные научные традиции.

Согласно единогласному мнению участников конференции «Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других областях», её необходимо продолжать.

Часть I. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ СТЕРЕОКИНО

УДК 778.534.19

ББК 85.37

Рожков С.Н., Рожкова Г.И., Грачева М.А.

**О ВЫБОРЕ И КОРРЕКТНОМ УПОТРЕБЛЕНИИ
ТЕРМИНОВ, ОТНОСЯЩИХСЯ К СОЗДАНИЮ
СТЕРЕОФИЛЬМОВ И К ОСОБЕННОСТЯМ
ВОСПРИЯТИЯ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОГО
КИНОИЗОБРАЖЕНИЯ**

Рожков Сергей Николаевич

E-mail: snrozhkov@yandex.ru

Научно-исследовательский кинофотоинститут

Рожкова Галина Ивановна, доктор биологических наук, кандидат физико-математических наук, профессор

E-mail: gir@iitp.ru

Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН

Грачева Мария Александровна, кандидат биологических наук

E-mail: mg@iitp.ru

Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН

Одной из проблем сегодняшнего стереокинематографа является недостаточный уровень понимания большинством творческих работников, особенно впервые приступающих к созданию стереофильмов, специфики комфортного восприятия стереоизображения в условиях кинозала. Эта проблема усугубляется неоднозначностью терминологии, относящейся к стереокинематографу и к стереозрению. Одни и те же термины зачастую используются для обозначения различных явлений и процессов, одно явление или один процесс обозначаются несколькими синонимами, возникшими на основе многовариантности перевода зарубежных источников

при отсутствии или при незнании соответствующих русскоязычных терминов. Термины, используемые кинематографистами, нередко отличаются от терминов, используемых специалистами по физиологии стереозрения. В то же время очевидно, что понятийно-терминологическая база для специалистов разного профиля, которые, кооперируясь, решают общие задачи, должна быть общей, насколько это возможно.

Ключевые слова: стереоскопия, стереоскопический кинематограф, стереовосприятие, психофизиология зрения, зрительный дискомфорт.

Одним из важнейших требований к дальнейшему развитию стереокинематографа является повышение комфортности восприятия стереокиноизображения в условиях кинозала. Условием выполнения этого требования является необходимость понимания как различий в восприятии естественной пространственной картины и стереоскопического киноизображения, так и различий в восприятии плоского киноизображения и стереоскопического [12]. Эти различия должны учитываться при разработке аппаратуры для съёмки и демонстрации стереофильмов, в процессе создания фильма, при оснащении стереокинзалов. Всё это позволит творческим работникам более грамотно и более полно использовать выразительные возможности трёхмерного кино на всех этапах, начиная от работы над сценарием и заканчивая процессом монтажа.

Особенности бинокулярного* зрения систематически изучаются с первой половины XIX века. В 1838 году опубликована работа Чарльза Уитстона, профессора Лондонского Королевского колледжа, «О некоторых поразительных и до сих пор не изученных явлениях бинокулярного зрения» [19]. В России вопросы теории стереоскопического зрения рассматривались с начала XX века [2, с. 1–9]. Исследования особенностей восприятия стереоизображения в условиях кинозала проводились в СССР в течение десятков лет учёными-кинотехниками как самостоятельно [6], так и совместно с психофизиологами [9]. В процессе исследований формировались новые понятия и термины как в области стереокинотехнологий, так и в области стереоскопического зрения.

При изучении научной литературы по физиологии стереоскопического зрения в последние годы у специалистов различных областей стали возникать серьёзные трудности из-за неоднознач-

* Бинокулярное зрение — зрение двумя глазами, при этом стереоскопическое зрение — один из механизмов бинокулярного зрения.

ности терминологии, сформировавшейся в разных научных направлениях. Для взаимопонимания нужно использовать единый научный язык и иметь максимально общую понятийную базу. Разработка такой базы упростила бы решение проблем, возникающих из-за терминологических различий в пересекающихся сферах стереокинематографа и психофизиологии. К таким проблемам относятся:

- 1) использование различных терминов для обозначения одного и того же понятия;
- 2) различные толкования терминологических элементов, терминов и терминологических словосочетаний;
- 3) многовариантность переводов на русский язык иностранных терминологических элементов, терминов и понятий, затрудняющая единообразное употребление терминологии в официальных документах, государственных законах и разрабатываемых стандартах;
- 4) необходимость правильного выбора новых терминов, понятий и определений, появление которых неизбежно в связи с интенсивным развитием цифрового кинематографа [14, с. 27].

Работы, связанные с упорядочением понятийной базы ведутся не первый год [7, 10, 11, 13]. Но взаимопонимание между специалистами осложнялось проблемами, изложенными выше в пунктах 1–3. Одна из этих проблем связана с терминами, в состав которых входит терминологический элемент «стерео» (от греч. στερεός — пространственный, объёмный, твёрдый). Образование сложных слов, включающих этот терминологический элемент, имеет давнюю историю. Например, в «Началах» (лат. «Elementa») Евклида, написанных примерно за 300 лет до н. э., раздел «стереометрия» фигурирует в качестве одного из основных. Смысл, вкладываемый в этот терминологический элемент, в разных областях науки и лексики различен. Так, «стереометрия» — это раздел геометрии, в котором изучаются свойства фигур в пространстве, «стереография» означает перспективное изображение геометрических тел на плоскости, «стереохимия» является разделом химии о пространственном расположении атомов в молекулах, а «стереотипность» указывает на шаблонность, трафаретность, одинаковость, неоригинальность.

В отечественной кинематографической отрасли и в фотографии однозначность терминологии в области фиксации пары изображений с двух ракурсов и их сепарированного рассматривания с восприятием трёхмерной пространственной картины начала

складываться ещё в конце XIX века с появлением термина «стереоскопическая фотография» [8, с. 118]. Уже тогда начали уделять внимание и вопросам терминологии: «обыкновенное (бинокулярное) зрѣніе позволяет оцѣнить рельефъ тѣла и его положеніе въ пространствѣ по самому тѣлу; стереоскопическое же зрѣніе воспроизводитъ рельефъ самого тѣла и возстановляетъ его положеніе въ пространствѣ посредствомъ двухъ изображеній, полученныхъ при осуществленіи самыхъ лучшихъ условій и тождественности. Отъ этихъ послѣднихъ зависитъ физическое сліяніе изображеній и ихъ фізіологическая оцѣнка» [2, с. 8, 9].

В современных публикациях терминологический элемент «стерео», входящий в состав сложных терминов, используемых в отечественном кинематографе, указывает на:

1) восприятие рельефности объектов и их взаимного расположения на основе совокупности бинокулярных факторов пространственного зрения как при их наблюдении в естественном пространстве, так и при сепарированном рассмотрении ракурсов стереопары («стереоскопический базис», «стереоскопическое восприятие», «стереоскопия» и др.);

2) связь терминов с исследованиями в области разработки технологий и технических средств для получения исходных материалов в виде двухракурсных изображений трёхмерной пространственной картины и их сепарированного предъявления левому и правому глазу наблюдателя, что позволяет воспринимать трёхмерность изображения на основе бинокулярных факторов пространственного зрения («стереокамера», «стереопара», «стереосъёмка», «стереообъектив», «стереоизображение»);

3) связь терминов с исследованиями в области разработки технологий и технических средств записи и воспроизведения звука, позволяющих создавать эффект объёмного звучания при бинауральном прослушивании («стереозвучание», «стереофония», «стереофонограмма», «стереомагнитофон»).

Ниже рассматриваются различия в использовании терминологического элемента «стерео» в соответствии с пунктами 1 и 2, относящимися к стереоскопическому зрению и к стереоскопическому кинематографу.

В кинематографе однословные термины, в состав которых входит терминологический элемент «стерео», являются полными синонимами

терминов-словосочетаний, в состав которых входит базовый термин-определение «стереоскопический». Например, «стереоскопический эффект» и «стереоэффект» [5, с. 324].

В то же время в психофизиологии терминологический элемент «стерео» указывает на восприятие пространственности и рельефности естественной картины или её плоского изображения при рассмотрении их как двумя глазами, так и одним глазом. Термин «стереовосприятие» имеет более широкое толкование, чем в кинематографической стереотерминологии, и включает в себя два понятия: «стереоскопическое восприятие» и «монокулярное стереовосприятие».

Слова с терминологическим элементом «стерео», используемые в научной литературе по психофизиологии с его сложившимся в этой области значением, встречаются и в научно-технической литературе, освещающей вопросы стереоскопического кинематографа, но, к великому сожалению, всегда без указания различия значений этого терминологического элемента. Например, «стереопсис» (от «стерео» и греч. ψυχή — душа), в отечественной и зарубежной стереокинолитературе являющийся синонимом понятий «стереоскопическое восприятие» и «стереовосприятие», означает психофизиологический процесс воссоздания трёхмерной картины из двух несколько отличающихся друг от друга изображений на сетчатках левого и правого глаза. В известном руководстве по основам стереокинематографа говорится: «Stereopsis is the only depth sense that depends on our having two eyes» («стереопсис — это единственное чувство глубины, которое определяется тем, что мы имеем два глаза») [16, с. 60]. В то же время в зарубежной психофизиологии этот термин, помимо понятия «стереоскопическое восприятие», включает в себя также «монокулярный стереопсис», т. е. зрительное восприятие объёмно-пространственной картины исключительно на основе монокулярных факторов пространственного зрения [15, 17, 18].

Авторы материалов по стереоскопии, изучавшие психофизиологическую литературу, не всегда учитывают принципиальное различие толкований терминологического элемента «стерео»: «в зависимости от того, какие из факторов стереоскопического видения участвуют в процессе построения зрительного пространственного образа, различают бинокулярное и монокулярное стереоскопическое видение» [3, с. 17]. Понятно, что здесь имелось в виду «монокулярное

стереовидение» (термин в психофизиологии) или «монокулярное пространственное видение» (термин в кинотехнической литературе), так как «монокулярного стереоскопического видения» быть не может. В другой работе говорится о «средствах воссоздания пространственного образа, основанных на монокулярном стереоэффекте, т. е. на законах оценки трёхмерности пространства, свойственных монокулярному зрению» [4, с. 12]. И здесь тоже нет ни слова о толковании термина «стерео» в данном контексте.

Для однозначного обозначения понятий, связанных с монокулярным восприятием естественной трёхмерной картины или её плоского изображения, в кинематографе и фотографии используют термины, в состав которых терминологический элемент «стерео» не входит (например: «монокулярное пространственное зрение», «монокулярный пространственный эффект»).

На первый взгляд кажется, что использование в таком контексте термина «пространственный» позволит во всех случаях сделать интерпретацию текста более однозначной, более чётко разделить бинокулярные и монокулярные механизмы восприятия рельефа, объёмности и глубины. Однако и сам термин «пространственный» в психофизиологической литературе употребляется в двух значениях, одно из которых подразумевает учёт трёхмерности, а другое основано на противопоставлении восприятия различий зрительных сигналов во времени (временных) и в соседних точках (пространственных). В частности, это наблюдается в литературе по анализу сетчаточных изображений. Например, во всей монографии «Пространственное зрение» [1] читатель не найдёт ни слова о пространственном восприятии в том смысле, как его понимают кинематографисты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На данном этапе многие терминологические проблемы фактически неразрешимы, и выход для будущих авторов состоит только в том, чтобы, считаясь со сложившейся терминологией, пытаться сделать свой текст как можно более однозначным, выделяя основные понятия и поясняя вкладываемый в них смысл. На этой основе можно начинать делать шаги в направлении смысловой унификации терминологии, связанной со стереоскопическим зрением. Можно только надеяться, что со временем ситуация будет меняться к лучшему.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондарко В.М., Данилова М.В., Красильников Н.Н., Леушина Л.И., Невская А.А., Шелепин Ю.Е. Пространственное зрение. СПб: Наука. 1999. 218 с.
2. Буяковичь Г.Н. Стереоскопическая фотография. С.-Петербург: Издание Г.Ф. Стенге, 1905. С. 1–9.
3. Валюс Н.А. Стереоскопия. М.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 7–59.
4. Валюс Н.А. Стереоскопия: фотография, кино, телевидение. М.: Искусство, 1986. С. 5–49.
5. Голдовский Е.М. Введение в кинотехнику. М.: Госкиноиздат, 1947. С. 324–326.
6. Гольцман Н.И. Исследования в области воспроизведения пространственных соотношений в стереокино. Канд. дисс. М.: НИКФИ, 1954. 186 с.
7. Грачёва М.А., Рожкова Г.И. Стереострота зрения: основные понятия, методы измерения, возрастная динамика // Сенсорные системы. 2012. Т. 26. № 4. С. 259–279.
8. Доннадье А.Л. (A.L. Donnadieu). Стереоскопическая фотография // Фотографический ежегодник П.М. Дементьева. С.-Петербург: Издание Э.Л. Вёснера, 1893. С. 118–127.
9. Иванов Б.Т., Семеновская Е.Н., Гольцман Н.И., Ханукаев Д.Р. Исследования в области восприятия стереоскопического изображения // Проблемы физиологической оптики. 1955. Т. 11. С. 70–84.
10. Раев О.Н. Анализ терминологии в стереоскопическом кинематографе // Обсерватория культуры. 2016. Т. 13. № 6. С. 689–695.
11. Раев О.Н. Проблемы иноязычных заимствований в терминологии новых кинематографических технологий // Инновационные технологии в кинематографе и образовании: IV международная научно-практическая конференция (26–29 сентября 2017 г.). Материалы и доклады: сборник. М.: ВГИК им. С.А. Герасимова, 2017. С. 34–47.
12. Рожкова Г.И., Алексеенко С.В. Зрительный дискомфорт при восприятии стереоскопических изображений как следствие непривычного распределения нагрузки на различные механизмы зрительной системы // Мир техники кино. 2011. № 3. С. 12–21.

13. Рожков С.Н., Овсянникова Н.А. Стереоскопия в кино-, фото-, видеотехнике. Терминологический словарь. М.: Парадиз, 2003. 136 с.

14. Рожков С.Н., Рожкова Г.И., Грачёва М.А. Стереоскопическое зрение: основные термины // Мир техники кино. 2016. № 2. С. 26–32.

15. Linton P. The Physiology and Optics of Monocular Stereopsis. In book: The Perception and Cognition of Visual Space. August 2017. P. 117–158.

16. Lipton L. Foundations of the stereoscopic cinema // A Study in Dept. Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York Cincinnati Toronto London Melbourne. 1982. P. 53–67.

17. Ono H., Steinbach M.J. Monocular stereopsis with and without head movement. Percept Psychophys. 1990. Vol. 48(2). P. 179–187.

18. O'Shea R.P. Claparede (1904) on monocular stereopsis: History, theory, and translation. i-Perception. 2017. Vol. 8(5). P. 1–10.

19. Wheatstone C. On Some Remarkable, and Hitherto Unobserved, Phenomena of Binocular Vision. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 1838. Vol. 128. P. 371–394.

Sergey N. Rozhkov, Galina I. Rozhkova, Maria A. Gracheva

**ON PROPER CHOOSING AND CORRECT USAGE
OF THE TERMS RELATED TO STEREO MOVIE
PRODUCTION AND TO PECULIARITIES
OF PERCEIVING CINEMATOGRAPHIC STEREO IMAGES**

Sergey N. Rozhkov

E-mail: snrozhkov@yandex.ru

Cinema and Photo Research Institute

Galina I. Rozhkova, PhD, Sc. D. (Biology), PhD (Physical and Mathematical Sciences), professor

E-mail: gir@iitp.ru

Institute for Information Transmission Problems RAS

Maria A. Gracheva, PhD (Biology)

E-mail: mg.iitp@gmail.com

Institute for Information Transmission Problems RAS

One of the problems in the present-day stereo cinema is insufficient understanding of the necessary conditions providing comfortable perception

of stereo images in the movie theater, incomplete competence being typical of many creative producers, especially of those who make stereo movie for the first time. Ambiguous terminology related to stereo cinema and stereo vision redoubles this problem. Similar terms are often used for different phenomena and processes and vice versa: several synonyms are used for one and the same phenomenon / process due to multiple translations when corresponding Russian terms are non-existent or unknown to users. The terms employed by filmmakers are different from those common among specialists in the physiology of stereo vision. When solving of a common complex task needs cooperation of various specialists, they should use the sets of notions coordinated as much as possible.

Key words: stereoscopy; stereo cinematography, stereo vision, visual psychophysiology, visual discomfort.

REFERENCES

1. Bondarko V.M., Danilova M.V., Krasil'nikov N.N., Leushina L.I., Nevskaya A.A., Shelepin Yu.E. Prostranstvennoe zrenie. SPb: Nauka. 1999. 218 p.

2. Buyakovich G.N. Stereoskopicheskaya fotografiya. S.-Peterburg: Izdanie G.F. Stenge, 1905. P. 1–9.

3. Valyus N.A. Stereoskopiya. M.: Izd-vo AN SSSR, 1962. P. 7–59.

4. Valyus N.A. Stereo: fotografiya, kino, televidenie. M.: Iskusstvo, 1986. P. 5–49.

5. Goldovskii E.M. Vvedenie v kinotekniku. M.: Goskinoizdat, 1947. P. 324–326.

6. Gol'tsman N.I. Issledovaniya v oblasti vosproizvedeniya prostranstvennykh sootnoshenii v stereokino. Kand. diss. M.: NIKFI, 1954. 186 p.

7. Gracheva M.A., Rozhkova G.I. Stereoostrota zreniya: osnovnye ponyatiya, metody izmereniya, vozrastnaya dinamika // Sensornye sistemy. 2012. Vol. 26. No 4. P. 259–279.

8. Donnad'e A.L. (A.L. Donnadieu). Stereoskopicheskaya fotografiya // Fotograficheskii ezhegodnik» P.M. Dement'eva. S.-Peterburg: Izdanie O.L. Vesnera, 1893. P. 118–127.

9. Ivanov B.T., Semenovskaya E.N., Gol'tsman N.I., Khanukaev D.R. Issledovaniya v oblasti vospriyatiya stereoskopicheskogo izobrazheniya // Problemy fiziologicheskoi optiki. 1955. Vol. 11. P. 70–84.

10. Raev O.N. Analiz terminologii v stereoskopicheskom kinematografe // Observatoriya kul'tury. 2016. Vol. 13. No 6. P. 689–695.

11. Raev O.N. Problemy inoyazychnykh zaimstvovaniy v terminologii novykh kinematograficheskikh tekhnologii // Innovatsionnye tekhnologii v kinematografe i obrazovanii: IV mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya (26–29 sentyabrya 2017 g.). Materialy i doklady: sbornik. M.: VGIK im. S.A. Gerasimova, 2017. P. 34–47.

12. Rozhkova G.I., Alekseenko S.V. Zritel'nyi diskomfort pri vospriyatii stereoskopicheskikh izobrazhenii kak sledstvie neprivychnogo raspredeleniya nagruzki na razlichnye mekhanizmy zritel'noi sistemy // Mir tekhniki kino. 2011. No 3. P. 12–21.

13. Rozhkov S.N., Ovsyannikova N.A. Stereoskopiya v kino-, foto-, videotekhnike. Terminologicheskii slovar'. M.: Paradiz, 2003. 136 p.

14. Rozhkov S.N., Rozhkova G.I., Gracheva M.A. Stereoskopicheskoe zrenie: osnovnye terminy // Mir tekhniki kino. 2016. No 2. P. 26–32.

15. Linton P. The Physiology and Optics of Monocular Stereopsis. In book: The Perception and Cognition of Visual Space. August 2017. P. 117–158.

16. Lipton L. Foundations of the stereoscopic cinema // A Study in Dept. Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York Cincinnati Toronto London Melbourne. 1982. P. 53–67.

17. Ono H., Steinbach M.J. Monocular stereopsis with and without head movement. Percept Psychophys. 1990. Vol. 48(2). P. 179–187.

18. O'Shea R.P. Claparede (1904) on monocular stereopsis: History, theory, and translation. i-Perception. 2017. Vol. 8(5). P. 1–10.

19. Wheatstone C. On Some Remarkable, and Hitherto Unobserved, Phenomena of Binocular Vision. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 1838. Vol. 128. P. 371–394.

УДК 778.534.13

ББК 85.37

Павлов В.А.

ПЕРСПЕКТИВЫ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОГО КИНЕМАТОГРАФА. МЫСЛИ ПОСЛЕ ПОСЕЩЕНИЯ МЕРОПРИЯТИЯ «СИНЕМА 3D: THE NEXT ЧАРТЕР» 18 СЕНТЯБРЯ 2017 ГОДА НА ВЫСТАВКЕ ИВС В АМСТЕРДАМЕ

Павлов Виталий Анатольевич

E-mail: pavlov-video@mail.ru

Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения

В статье приведено обсуждение проблем стереоскопического кинематографа на мероприятии «Сinema 3D: The next chapter», проходившего 18 сентября 2017 г. на выставке ИВС в г. Амстердам.

Ключевые слова: стереоскопический кинематограф, стереокино, ИВС Big Screen.

На ежегодном Международном съезде вещателей ИВС 2017 (International Broadcasting Convention), который проходил 14–19 сентября 2017 г. в Амстердаме, мне довелось посетить мероприятие «Сinema 3D: The next chapter». Мероприятие проходило в самом большом и технически оснащённом кинозале «ИВС Big Screen». Зал оборудован лазерным проектором Christie's 6-Primary, позволяющим демонстрировать стереофильмы по системе Dolby Vision.

На сцене присутствовали:

— Арджун Рамамурти (Arjun Ramamurthy, SVP, Technology & Engineering, 20th Century Fox);

— Дэвид Хэнкок (David Hancock, Head of Cinema, IHS Markit);

— Джованни Долчи (Giovanni Dolci, Vice President, Theater Development & Managing Director, Europe & Africa, IMAX Corporation);

— Трэвис Рида (Travis Raid, Chief Operating Officer & President, Worldwide Cinema, RealD);

— Майкл Брэдбери (Michael Bradbury, Head of Cinema Technology, Odeon Cinemas).

Модератором мероприятия был Дейв Монк (Dave Monk, CEO, EDCF). Дейв сразу обратился к залу с вопросом: что мешает сегодня развитию стереоскопического кинематографа? Ответы записывались на переносной грифельной доске. Вот что отметили участники мероприятия:

- 1) присутствие в прокате конвертированных стереофильмов,
- 2) недостаточная яркость экрана,
- 3) перекрёстные помехи (cross-talk),
- 4) пересветы в изображении (hot-spots),
- 5) наличие очков,
- 6) неправильная центровка проекторов (wrong central),
- 7) заметная частота проекции (frame rate),
- 8) заметная текстура экрана.

Участникам мероприятия были показаны фрагменты фильма «Аватар» как в обычном формате, так и в стереопроекции с яркостью 50 кд/м² (14fL). Сравнивая версии фильма, присутствующие отметили, что при стереопроекции очки «съедают» свет более чем в 3 раза и изображение становится более размытым, сложно увидеть весь диапазон контрастов и цветов. Это послужило отличной отправной точкой для обсуждения будущего стерео кино.

Дэвид Хэнкок сообщил, что сегодня по статистике в мире насчитывается 93000 стереоэкранов, т. е. около 60% экранов в мире могут демонстрировать стереоконтент. Ежегодный доход от показа стереофильмов превышает 8 миллиардов долларов. В Китае количество стереоэкранов уже превысило 44 000.

Стереоскопический кинематограф за 12 лет, прошедших с момента выхода на рынок цифровых стереотехнологий, привлёк

значительную аудиторию. Одни кинорежиссёры любят стерео, другие — нет. Но с рынком считаются все.

Разговор продолжил Арджун Рамамурти, отметив, что студия 20th Century Fox будет делать ставку на стереофильмы и будет привлекать к работе молодых кинематографистов.

Трэвис Рида доложил аудитории, что исследование компании RealD показало, что 20% аудитории кинотеатра активно ищет стереофильмы, 20% предпочитают традиционный кинопоказ, а остальные 60% идут в кинотеатр, чтобы просто посмотреть фильм. Ему задали вопрос о перспективах возвращения стереотелевидения. Трэвис ответил, что не видит признаков возрождения стереоскопического телевидения, но отметил новый интерес в США к сектору телевидения Pay Per View, где некоторые стереофильмы возвращаются на экраны, так что вероятность возвращения стерео на телевизионный экран существует. Телевизионные дисплеи 8K, показанные на IBC, действительно создают впечатление, что зрители выглядывают из окна — так могут ли кинотеатры более высокого разрешения заменять стереопоказ в кинотеатре? Трэвис ответил, что режиссёр не обязательно хочет обеспечить реальность. Режиссёр хочет контролировать перспективу, пространство, глубину резкости, которую предоставляет стереопоказ.

Участники мероприятия спросили Арджуна Рамамурти (20th Century Fox): должны ли стереоизображения выходить из экрана, или главное — эффект просмотра через окно, а не участие в событии. Арджун заявил, что исполнение фильма должно идти от творческого решения режиссёра. Арджун затронул проблему размещения в трёхмерном изображении и проблему роли, места и реалистичности визуальных эффектов.

Майкл Брэдбери (Odeon Cinemas) объяснил, что с учётом множества экранов, число конкурирующих технических альтернатив для стереопоказа и полное отсутствие стандартов означает, что такой показ — технический кошмар для владельцев кинотеатров. Различные системы стереоскопического кинопоказа требуют наличия широкого спектра различных типов и размеров экранов. Для поддержания уровней яркости кинотеатры сейчас тратят больше денег на лампы, чем когда-либо раньше.

Дэвида Хэнкока спросили, может ли киноотрасль производить меньше стереофильмов, но более высокого качества. Например,

вместо 40 ежегодно выпускаемых стереофильмов в год выпускать не более 12 стереофильмов.

Майк Брэдбери отметил, что есть проблемы с качеством стереофильмов, что качество некоторых фильмов ухудшилось за последние пару лет. Он поддержал идею, что запуск каждого нового стереофильма должен быть большим событием и каждый из них надо рекламировать как «великий стереофильм».

В заключение мероприятия выступающие попытались нащупать те шаги и направления, которые нужны для будущего стереоскопического кинематографа. Может ли технология улучшить ситуацию? Что для этого делается? Ответ — необходимы стандарты. Кроме того, необходимы более светлые и удобные очки, требуется сертификация кинозалов. Из положительных моментов отметили появление проекторов и мониторов с расширенным динамическим диапазоном, повышенной частотой кадров и более высоким разрешением. Всё это позволит зрителю получать истинную радость от переживания визуальных эмоций при просмотре качественного стереофильма, где хорошая история важнее, чем просто взгляд из окна. Стереопоказу нет альтернативы. Прогноз развития стереокино оптимистичный.

Мы на конференции «Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других областях», ежегодно рассматриваем точно такие же вопросы. И мне кажется, это ещё раз подтверждает правильность выбранного пути.

Vitaly A. Pavlov

**PROSPECTS OF STEREO CINEMA. REFLECTIONS
AFTER VISITING THE «CINEMA 3D: THE NEXT
CHAPTER» EVENT ON SEPTEMBER 18, 2017
AT THE IBC EXHIBITION IN AMSTERDAM**

Vitaly A. Pavlov

E-mail: pavlov-video@mail.ru

St. Petersburg State Film and Television Institute

This article describes the discussion of the problems of 3D cinema at the event «Cinema 3D: The Next Chapter», held on September, 18th, 2017 at the IBC exhibition in Amsterdam.

Key words: Cinema 3D, IBC Big Screen.

УДК 778.534.1

ББК 85.37

Раев О.Н.

**ВОСЬМОЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ 3D-СТЕРЕО
КИНОФЕСТИВАЛЬ 2017**

Раев Олег Николаевич, кандидат технических наук, доцент

E-mail: ncenter@list.ru

Всероссийский государственный институт кинематографии
им. С.А. Герасимова

14–15 декабря 2017 года состоялся VIII Международный 3D-стерео кинофестиваль. В конкурсной программе фестиваля участвовало 34 фильма из Российской Федерации, Украины, Чешской Республики и США.

Конкурсные фильмы были представлены в следующих номинациях: документальные стереофильмы, игровые стереофильмы, музыкальные стереофильмы, экспериментальные стереофильмы, стереотрейлеры, школьные экспериментальные стереофильмы, школьные экспериментальные фильмы.

В рамках фестиваля проведены различные научные, образовательные и просветительские мероприятия.

Ключевые слова: фестиваль, стереокино, экспериментальное кино, школьное кино.

Восьмой 3D-стерео кинофестиваль, ежегодно проводимый согласно рекомендациям конференции «Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других областях» с 2010 года, состоялся 14–15 декабря 2017 года в г. Москва.

Фестиваль 2017 года организован Всероссийским государственным институтом кинематографии им. С.А. Герасимова, Рос-

сийским государственным гуманитарным университетом, Лигой образования Российской Федерации, компанией «3D Лига», компанией «Невафильм» и компанией «АСТРА Иджис Альянс».

Партнёрами VIII фестиваля выступили: Casio, Christie, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Российская секция научного общества инженеров кино и телевидения (SMPTE), Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения, компания Romanoff.

Подготовку и проведение фестиваля освещали информационные партнёры: www.3dnews.ru, www.total3d.ru, выставка CPS, городской проект «Школа новых технологий», журнал «MediaVision», журнал «Мир 3D / 3D World», журнал «Мир техники кино», журнал «Кинотехника сегодня», киношкола «Артерия кино», творческое объединение «Мир искусства».

Фестивалю в 2017 году оказали официальную поддержку Министерство культуры Российской Федерации и Союз кинематографистов Российской Федерации.

В состав жюри вошли:

Барский Иосиф Давидович, кандидат технических наук, доцент, секретарь Союза кинематографистов Российской Федерации»;

Кувшинов Сергей Викторович, кандидат технических наук, доцент, директор Международного института новых образовательных технологий Российского государственного гуманитарного университета;

Литвинов Юрий Александрович, генеральный продюсер компании «АСТРА Иджис Альянс»;

Масуренков Дмитрий Иванович, кинооператор, доцент Всероссийского государственного института кинематографии им. С.А. Герасимова;

Невский Юрий Анатольевич, народный артист России, дважды лауреат Государственной премии, профессор Всероссийского государственного института кинематографии им. С.А. Герасимова;

Павлов Виталий Анатольевич, доцент кафедры операторского искусства Санкт-Петербургского государственного института кино и телевидения;

Раев Олег Николаевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой аудиовизуальных технологий и технических

средств Всероссийского государственного института кинематографии им. С.А. Герасимова, президент Гильдии кинотехников Союза кинематографистов Российской Федерации;

Рожков Сергей Николаевич, заведующий лабораторией стереокинематографа Филиала «Научно-исследовательский кинофотоинститут» АО «ГПО «Киностудия им. М. Горького»»;

Шухер Олег Борисович, кинорежиссёр, доцент, директор центра творческой работы режиссёрского факультета Всероссийского государственного института кинематографии им. С.А. Герасимова.

1. КОНКУРСНАЯ ПРОГРАММА ФЕСТИВАЛЯ 2017 ГОДА

В конкурсной программе фестиваля участвовало 34 фильма из Российской Федерации, Украины, Чешской Республики и США.

Конкурсные фильмы были представлены в следующих номинациях:

— документальные стереофильмы: 8 фильмов (« Индия в 3D — давай знакомиться!», «Кино и Шапито», «Контрапункт», «Леонардо да Винчи в 3D», «Наш Крым: От Херсонеса до Инкермана», «Пражский зоопарк», «Славиковский лес», «Тринадцатый берег»);

— игровые стереофильмы: 1 фильм («Странники»);

— музыкальные стереофильмы: 4 фильма («Мелодии Розового Сада», «Музыка наших дворов», «Нас познакомил Ростов-папа», «Objection»);

— экспериментальные стереофильмы: 2 фильма («В Двух Мирах», «Мы велосипедисты!»).

В 2017 году впервые была организована номинация «стереотрейлеры», в конкурсной программе которой было представлено 11 трейлеров к следующим стереофильмам: «А зори здесь тихие...», «Битва за Севастополь», «Викинг», «Время первых», «Ледокол», «Мафия: Игра на выживание», «Последний богатырь», «Последний с Апорвера», «Притяжение», «Салют-7», «Т-34».

Согласно решению жюри, лауреатами VIII Международного 3D-стерео кинофестиваля 2017 года в номинации «Документальные стереофильмы» стали три стереофильма: «Славиковский лес», «Индия в 3D — давай знакомиться!», «Пражский зоопарк».

Документальный стереофильм «Славиковский лес» представлен компанией «AV Media» (Чешская Республика).



Кадр из стереофильма «Славиковский лес»

Авторы сценария: Мирослав Соучек, Драга Златникова; режиссёр, оператор: Мирослав Соучек; продюсер: Ян Буранек; композитор: Иван Ахер; монтаж: Мирослав Пергл; стереография: Ян Буранек, Мартин Прохазка; 3D-операторы: Павел Эйсельт, Мартин Прохазка.

Хронометраж: 18 минут 42 секунды.

Фильм, снятый для Агентства охраны природы и окружающей среды Чешской Республики, демонстрирует богатый мир государственного заповедника «Славиковский лес».

Документальный стереофильм «Индия в 3D — давай знакомиться!» произведён студией «Studio-6D» (Российская Федерация, США).

Автор сценария, режиссёр, оператор: Сергей Лихоманов; звукорежиссёр: Katie Dickson (США); диктор: Виталий Корнилов.

Хронометраж: 83 минуты 10 секунд.

Индия — страна далёкая и загадочная. О её достопримечательностях снято много фильмов в традиционном формате. Представленный на конкурс видовой и познавательный стереосериал предназначен для тех, кто желает не только насладиться объёмной красотой и оценить гармоничность пространственного расположения архитектурных памятников, но и узнать некоторые интересные подробности о достопримечательностях и секреты индийских ремесленников, окупиться в ритуалы индийской свадьбы.



Кадр из стереофильма «Индия в 3D — давай знакомиться!»

Сериал подготовлен на основе репортажной стереоскопической видеосъёмки и включает в себя 7 фильмов о достопримечательностях Джайпура, Агры, Вриндавана и штата Гоа.

Документальный стереофильм «Пражский зоопарк» произведён студией «Мастер 3D» (Российская Федерация).

Режиссёр и оператор: Андрей Анохин.

Хронометраж: 29 минут 11 секунд.

Пражский зоопарк — один из крупнейших зоопарков Европы, с разнообразными видами животных со всего света, с просторными и живописными вольерами.

Лауреаты фестиваля 2017 года получили дипломы лауреатов и ценные призы.



Кадр из стереофильма «Пражский зоопарк»



Кадр из стереофильма «В Двух Мирах»

Жюри фестиваля приняло решение дополнительно отметить специальными ценными призами два конкурсных стереофильма: «В Двух Мирах» и «Тринадцатый оберег».

Экспериментальный стереофильм «В Двух Мирах» изготовлен студией «Осипенков АРТ» (Российская Федерация).

Авторы сценария, монтаж, художники, компьютерная графика: Алексей Осипенков, Вячеслав Осипенков; режиссёр, стереограф, продюсер: Алексей Осипенков; композитор: Александр Скрыбин.

Хронометраж: 4 минуты 50 секунд.

Математика есть прообраз красоты мира. В отличие от традиционного изобразительного искусства, где задачей является копирование видимого мира и художественная интерпретация его, — фрактальная геометрия позволяет создавать объекты и даже целые миры, не существующие в доступной нам реальности.

Человечество ютится в чрезвычайно малой точке пространства, но пытается судить о всём Мироздании. Фильм «В Двух Мирах» предлагает новый, альтернативный способ постижения и исследования Оного.

Документальный стереофильм «Тринадцатый оберег» представлен ООО «Стереоскадр ТВ» (Российская Федерация).

Авторы сценария: Ольга Юхновская, Николай Штыков; режиссёр, оператор, монтаж, художник, стереограф, продюсер: Николай Штыков; композитор: Сергей Тутаев; диктор: Николай Игнашов; литературный редактор: Мария Сушкова.

Хронометраж: 15 минут.



Кадр из стереофильма «Тринадцатый оберег»

Казанский художник Григорий Иванченко в каком-то смысле волшебник. 30 лет он создает скульптуры для Казани, тем самым как бы обеспечивая городу энергетический покой. Его аксиома: жизнь — это категория творчества, мысли — материальны и имеют вполне реальные формы. Причудливые изгибы, пластичные формы, загадочные символы... Сам художник называет эти мысли-формы, материализованные в бетонных изгибах, оберегами городского пространства...

За высокий профессионализм жюри фестиваля приняло решение всем стереоскопическим трейлерам, участвовавшим в конкурсе, выдать дипломы лауреатов конкурса в номинации «Стереотрейлеры».

Остальные участники фестиваля награждены дипломами участников фестиваля.

2. КОНКУРСНАЯ ПРОГРАММА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СЕКЦИИ ФЕСТИВАЛЯ 2017 ГОДА

Образовательная секция школьных фильмов работает уже третий год.

В 2017 году для участия в конкурсе фестиваля в образовательную секцию школьных фильмов поступило:



Участники образовательной секции фестиваля

— в номинации «Школьные экспериментальные стереофильмы» 4 фильма: «Дыхание Фауста» от школы «Логос М», Московская область: «Измерение ускорения свободного падения тел с использованием видеотехники» от студии киноискусства «КИС», «Исторический детектив: секретные материалы Леонардо да Винчи» и «Леонардо да Винчи – феномен гениальности» от школы № 1631, г. Москва;

— в номинации «Школьные экспериментальные фильмы» 4 фильма: «Бесформица» и «Коридор» от школы «Логос М», Московская область, «Неудавшийся репортаж» от школы № 1631 и «KERCHCAKE» от школы № 17, г. Москва, при участии школы № 4 им. А.С. Пушкина, г. Керчь.

Согласно предложениям участников фестиваля 2016 года, было принято решение о создании отдельного жюри для оценки конкурсных фильмов образовательной секции. В состав жюри образовательной секции фестиваля были включены:

Карбанов Вячеслав Николаевич, ведущий инженер компании Telemetrix;

Кувшинов Сергей Викторович, кандидат технических наук, доцент, директор Международного института новых образовательных технологий Российского государственного гуманитарного университета;

Ломоносов Антон Владимирович, начальник управления Федерального центра технического творчества учащихся;



Мария Бердычевская, школа «Логос М» Московской области)

Макарова Наталья Яковлевна, кандидат педагогических наук, декан факультета журналистики Института Массмедиа Российского государственного гуманитарного университета;

Раев Олег Николаевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой аудиовизуальных технологий и технических средств Всероссийского государственного института кинематографии им. С.А. Герасимова, президент Гильдии кинотехников Союза кинематографистов Российской Федерации;

Соловьёва Мария Викторовна, аспирантка Всероссийского государственного института кинематографии им. С.А. Герасимова.

В образовательной секции фестиваля 2017 года, согласно решению жюри, победителей в 2017 году нет.

Тем не менее все школьные конкурсные фильмы отмечены дипломами и ценными подарками.

Жюри образовательной секции приняло решение дополнительно отметить за стремление к профессионализму конкурсный

фильм «Бесформиза» (автор сценария, режиссёр, оператор: Дарья Чалюк, школа «Логос М» Московской области).

3. МЕРОПРИЯТИЯ ФЕСТИВАЛЯ 2017 ГОДА

В рамках фестиваля проведены различные научные, образовательные и просветительские мероприятия, направленные на содействие квалифицированному продвижению технологий объёмных изображений.

На научной секции прочитаны и обсуждены следующие доклады:

— Е.И. Ярославцева, ведущий научный сотрудник Института философии РАН, «Школьное экспериментальное кино: проблемы и перспективы»;

— К.В. Харин, директор Международного учебно-научного центра перспективных медиатехнологий МИНОТ РГГУ, «Технологии виртуальной и дополненной реальности в образовательных процессах школы и вуза»;

— В.Н. Карбанов, ведущий специалист компании Telemetrics, «Технологии виртуальной студии — последние достижения и трудности продвижения на образовательном рынке»;



Обсуждение доклада Константина Викторовича Харина (третий слева)

— В.М. Наровский, учитель физики НОУ «Логос М» г. Мытищи Московской области, «3D-стерео на уроках естественно-научного цикла дисциплин»;

— В.А. Кузнецов, компания «Хопёр», «Образование средствами трёхмерной визуализации»;

Проведён круглый стол «Какой быть школьной телестудии, видеостудии», на котором предложено развивать школьную секцию фестиваля. Для этого рекомендовано:

— разработать план мероприятий по организационному, методическому, консультативному развитию школьных телестудий и видеостудий;

— содействовать внедрению кинематографических технологий в образовательный процесс школьного образования; проводить регулярные образовательные и просветительские занятия со школьниками.

Участники круглого стола выразили обеспокоенность проблемами в отечественном учебном кино, указывали на практически его полное отсутствие в настоящее время.

Д.С. Ватолин, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, подробно доложил результаты технического контроля конкурсных стереофильмов, выполненного группой студентов и аспирантов под его руководством. Автоматически проанализированы все кадры конкурсных стереофильмов по параметрам: горизонтальный параллакс, различие ракурсов по геометрии, различие ракурсов по цвету, различие ракурсов по резкости, перепутанные ракурсы.

Исследования подтверждают, что сохраняется тенденция повышения качества конкурсных стереофильмов и что конвертированные стереофильмы выигрывают перед стереофильмами, получаемыми стереосъёмкой, по параметрам: вертикальный параллакс, поворот ракурсов, различие масштабов. В конвертированных стереофильмах существенно меньше различия в цвете и резкости ракурсов.

Результаты контроля горизонтальных параллаксов позволяют определить оптимальные размеры экранов, на которых рекомендуется демонстрировать каждый из стереофильмов.

Кроме того, выявлены кадры, исправление которых позволяет улучшить общее качество стереофильмов.



Дмитрий Сергеевич Ватолин докладывает результаты технического контроля конкурсных стереофильмов

Ю.А. Литвинов, компания «АСТРА Иджис Альянс», выступил с докладом о перспективах студенческого стереокино с учётом потребностей профессионального кинематографа и сформулировал практические предложения по его развитию.

Ю.А. Литвинов проанализировал состояние отечественного стереокино, показал, что все ведущие отечественные блокбастеры в настоящее время выпускаются со стереоверсией.

Одна из причин изменения отношения отечественных кинопроизводителей к стереофильмам вызвана тем, что зарубежные кинопрокатчики (Китай, Индия и др.) без наличия стереоверсий контракты на прокат новых фильмов не подписывают. Однако не все фильмы можно качественно конвертировать.

Возможность изготовления качественной стереоверсии должна быть предусмотрена уже на стадии разработки сценария, в ходе режиссуры и, конечно же, при съёмке фильма.

Ю.А. Литвинов проанализировал перспективы работы молодых специалистов в профессиональном кинематографе и предложил своё содействие творческим группам студентов в конвертации



Юрий Александрович Литвинов выступает с докладом о перспективах студенческого стереокино

их фильмов в стереоформат и в продвижении их на международные фестивали.

О.С. Березин, компания «Невафильм», прочитал лекцию о дисплеях поля света, представляющих собой устройства, отображающие световое излучение окружающего мира естественным для глаз образом. Дисплеи поля света фиксируют не только общую яркость, но и количество света, приходящего в дисплей с разных направлений.

Возможности камер светового поля: генерация карт глубины, цифровой рефокус, многоплановость, рендеринг объёмного изображения, мультиспектральный рендеринг и т. д.

Дисплеи поля света могут быть построены по двум технологиям:

— фиксация и воспроизведение множества изображений, получаемых с разных ракурсов;



Олег Станиславович Берзин выступил с лекцией о дисплеях поля света

— фиксация и воспроизведение множества изображений фокальных плоскостей.

И.В. Сошникова, Всероссийский государственный институт кинематографии им. С.А. Герасимова, рассказала об истории развития технологий виртуальной реальности, продемонстрировала многочисленные фотографии конструкций средств воспроизведения виртуальной реальности.

Э.В. Иоч, Всероссийский государственный институт кинематографии им. С.А. Герасимова, подготовил выступление о классическом экспериментальном кинематографе с демонстрацией фрагментов лучших экспериментальных кинофильмов, просмотр



Эдуард Владиславович Иоч с выступлением о классическом экспериментальном кинематографе

которых заинтересовал всех участников фестиваля и вызвал всестороннее обсуждение перспектив экспериментального кино.

Во время фестиваля для всех желающих бесплатно демонстрировались конкурсные и внеконкурсные фестивальные фильмы.

Фестиваль завершился торжественной церемонией закрытия фестиваля.



Торжественная церемония закрытия фестиваля

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://www.fasebook.com.m3dfilmfestival/>. Дата обращения: 15.04.2018.

Oleg N. Raev

EIGHTH INTERNATIONAL 3D FILM FESTIVAL, 2017

Oleg N. Raev, PhD (Engineering), assistant professor

E-mail: ncenter@list.ru

Russian Federation State Institute of Cinematography
named after S.A. Gerasimov

The 8th International 3D Film Festival was held on December 14–15, 2017. The competition program included 34 films from Russia, Ukraine, the Czech Republic and the USA. The films were presented in the following nominations: 3D documentaries, 3D fiction, 3D musicals, 3d experimental films, 3D trailers, school experimental 3D films, school experimental films. The festival's program also entailed various scientific and educational events.

Key words: festival, 3D cinema, experimental cinema, school cinema.

REFERENCES

1. <https://www.fasebook.com.m3dfilmfestival/>. Data obrashcheniya: 15.04.2018.

**Часть II. ВОСПРИЯТИЕ ЗРИТЕЛЕМ
ОПТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

УДК 778.534.19

ББК 85.37

Пронин М.А.

**ФИЛОСОФИЯ КАК ЭКСПЕРТИЗА: ВИРТУАЛЬНЫЕ
ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ СОСТОЯНИЯ
В ТЕХНОЛОГИЯХ ОБЪЁМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ
В КИНЕМАТОГРАФЕ —
К ПОСТАНОВКЕ ПРОБЛЕМЫ**

Пронин Михаил Анатольевич, кандидат медицинских наук

E-mail: pronin@iph.ras.ru

Институт философии РАН

В статье в жанре философии как экспертизы автором продолжено рассмотрение некоторых антропологических констант (зависимостей) психологических переживаний в среде объёмных изображений, получаемых тем или иным способом — с применением технологий виртуальной / дополненной реальностей (TVR/TAR — далее TVR) и пр. Указано на то, что знание закономерностей возникновения виртуальных психологических переживаний и связанных с ними эффектов позволят подойти к конструированию пользовательских виртуальных сред с большей результативностью, экономичностью и эффективностью.

Очерчены границы и содержание (предмет) гуманитарной экспертизы TVR/TAR.

В противовес предыдущим сообщениям автора, сфокусированным на вопросах психологической опасности применения TVR, в данной статье указаны возможности, которые предоставляют результаты фундаментальных исследований в области виртуальной психологии (виртуалистики) разработчикам технологий объёмных изображений и сред в кинематографе и других отраслевых приложениях. Вскрыт ведущий психологический

механизм, снижающий потребительский интерес к уровню современных разработок трёхмерных сред. Намечены перспективы развития таковых.

Ключевые слова: философия как экспертиза, антропология, экспертиза, гуманитарная экспертиза, гуманитарная настороженность, биоэтика, человеко-ориентированные технологии, улучшение человека, виртуалистика, виртуальный человек, новый мир, технологии виртуальной реальности, мировоззрение, технологии, вызовы, последствия, гуманитарная оболочка.

О ПРЕДМЕТЕ «ГУМАНИТАРНАЯ ЭКСПЕРТИЗА ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ И ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ (TVR/TAR)»

В России сегодня гуманитарная экспертиза технологий виртуальной TVR и дополненной реальности TAR (далее под аббревиатурой TVR будем понимать оба направления) находится на периферии внимания технологического и делового мейнстрима: разработчиков, провайдеров, инвесторов и пр. И это несмотря на то, что данные технологии «редактируют сознание» человека: чем они лучше обманывают (вводят в заблуждение, что происходящее реально), тем они более продвинутые, привлекательные, эффективные и перспективные. Казалось бы, раз технологии обманывают человека, то они должны быть поставлены под гуманитарный, этический и юридический контроль общества, но только не у нас в России. В то время как движение в данном направлении за рубежом происходит: соответствующие лаборатории — Digital Law & Ethics Lab, — стали уже общим местом в ведущих университетах и исследовательских центрах мира, в России данный процесс лишь стартует.

К сожалению, приходится констатировать, что российские команды стартапов в сфере TVR не в состоянии обеспечить должный уровень фундаментальной проработки всех вопросов, связанных с безопасностью TVR [2, 3]. Этому много причин: от вполне очевидных и ощутимых финансовых до менее различимых гуманитарных, прежде всего мировоззренческих, связанных с человеческим фактором.

Мировоззрение — во многом «психофизиология» человек; она «работает» в режиме неосознаваемых автоматизмов и не до конца контролируемых человеком операций. В этом направлении — в преодолении парадигмальных аномий научно-технологического

мейнстрима, — вполне уместно применить подходы «философии как экспертизы» (термин Б.Г. Юдина; см. [4]); гуманитарной и этической экспертиз Института человека РАН (1992–2004) — ныне сектора гуманитарных экспертиз и биоэтики Института философии РАН; наработки виртуальной психологии (виртуалистики) отечественной школы Н.А. Носова* (1952–2002).

Мировоззренческая гуманитарная поддержка и сопровождение работ отечественных технократов (в самом хорошем смысле этого термина) в вопросах развития TVR сегодня не только не помешали бы, а скорее уже стали производственной необходимостью. В XXI веке, в веке цифровой экономики, мировоззрение и этика становятся факторами производства и потребления.

В качестве иллюстрации этого факта упомянем, что организаторы проведённого в 13–15 апреле 2018 года в Москве хакатона по виртуальной и дополненной реальности [6] констатировали, что TVR попали в «интересное положение», когда первый интерес к технологиям сошёл, а нового обаяния они не приносят.

С одной стороны, потребительский интерес сдерживают чисто технические недоработки в технологиях записи и воспроизведения объёмных изображений, особенно критичные при их применении и в TVR. Поэтому технологический хакатон — очевидный шаг в преодолении подобных затруднений.

С другой стороны, незнание разработчиками-технократами некоторых базовых антропологических закономерностей (психологических констант) порождения виртуальных психологических переживаний у человека не позволяет им решать конструкторские проблемы с меньшими затратами, усилиями, т. е. с большей эффективностью, за счёт использования природных человеческих (в узком смысле внутриспихологических) механизмов «работы TVR». Для многих разработчиков тот факт, что компьютерные технологии VR работают благодаря природной виртуальности человека, — парадоксально, что человек и есть виртуальная реальность! — остаётся вне их осознанного интереса и внимания.

Идея проста: не надо делать лишнего! Человеческий организм (сознание) сам проделает всю необходимую работу, TVR должны

* Николай Александрович Носов (1952–2002) — родоначальник виртуальной психологии и один из создателей российской школы виртуалистики.

обеспечить лишь минимально достаточный/необходимый уровень «виртуальности». Возможно, будет полезна аналогия из медицины: «*Medicus curat, natura sanat*» — медицина лечит, природа исцеляет.

К сожалению, чрезмерным усердием — попытками «в лоб» (хакатонами) — преодолеть закон необходимого разнообразия (англ. *The Law of Requisite Variety* — кибернетический закон, сформулированный Уильямом Россом Эшби), и разум превозмочь можно, как говорил Козьма Прутков.

Разобраться в подобном хитросплетении может помочь гуманитарная экспертиза TVR, которая в качестве своего предмета включает:

1) сам объект — искусственную виртуальную реальность (природная виртуальная реальность — как само сознание человека, так и сам человек; гуманитарная экспертиза в узком смысле);

2) инструмент — технологии, а именно природу их воздействия;

3) вопросы безопасности их применения (традиционную биоэтическую экспертизу);

4) разработчика — производителя (субъекта деятельности), позволяя вскрывать пороки его мировоззренческих эпистем, накладывающих ограничения на его картину «конструкторско-производственного мира» (философия как экспертиза).

В конкретном, предметом смысле речь идёт о вскрытии неявных образов, бытующих в интеллектуальных способах работы современного технологического мейнстрима TVR.

Тогда очевидна структура схемы типов научной рациональности В.С. Стёпина [5]:

— классическая рациональность (объект науки — виртуальная реальность);

— неклассическая рациональность (инструменты научного познания — TVR);

— постнеклассическая рациональность (субъект науки — разработчики TVR).

Очевидно, что полилог языков трансдисциплинарности глубоко фундирует пространство TVR; сборка адекватного коллективного субъекта становится критической социально-технологической задачей ведущих инвесторов и продюсеров TVR.

На этом фоне сама жизнь разработок TVR выводит на передний план потребность философско-антропологических исследований нашего времени, востребованность разработки системы постнеклассической гуманитарной экспертизы. Поэтому комплекс поли- и междисциплинарных научных областей, вовлекаемых в проблематику задачи редактирования сознания (в узком смысле TVR), требует экспертизы их парадигмальных структур, этических установок, теоретических парадигматических конструктов (эпистем), законов (антропологических констант) и пр. с целью разработки и формирования адекватной гуманитарной оболочки технологических инноваций и управления гуманитарными рисками в данной области.

ВИРТУАЛЬНЫЕ ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ СОСТОЯНИЯ В ТЕХНОЛОГИЯХ ОБЪЁМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В КИНЕМАТОГРАФЕ

Критическим элементом TVR, снижающим потребительский интерес к уровню сегодняшних разработок, можно считать те инграгуальные (неприятные, тяжёлые, трудные) виртуальные психологические состояния, которые порождают TVR. Для понимания средств и способов их предотвращения необходимо знание теоретической модели, разработанной школой виртуалистики Н.А. Носова.

В виртуалистике установлено, что и инграгуальные, и гратуальные (приятные, лёгкие) состояния могут вызываться в любой реальности, на любом элементе любой реальности, более того — на любом фрагменте элемента реальности, включённого в диалог человека с самим собой, с другим человеком, с миром, в том числе и с компьютером. Для этого TVR не нужны; эти «технологии» природной виртуальности уже давно встроены природой в человека.

Поэтому базовой реальностью, минимально достаточной для дальнейших шагов развития TVR, является консуетальность (обыденность) переживаний пользователя в 3D-среде (подробнее см. [1]). Технологические решения по их созданию должны стать главной целью разработок. Всё остальное — желаемый эффект притяжения TVR — может быть обеспечено на основе понимания внутриспсихологических механизмов порождения виртуальных психологических состояний. Но для этого разработчикам TVR не-

обходимо изменить свой взгляд на мир, на его природу. Поменять своё мировоззрение. Сломать, в буквальном смысле, самих себя. Потому что мировоззрение — это в том числе и психофизиология, которая работает быстрее, чем пресловутый «25-й кадр».

МИРОВОЗЗРЕНИЕ И ЭТИКА КАК ФАКТОР ПРОИЗВОДСТВА СОЦИАЛЬНОГО БЛАГОПОЛУЧИЯ ЧЕЛОВЕКА В «МИРЕ» (ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ)

В XXI веке мировоззрение и этика становятся фактором производства и потребления, предмет нашего рассмотрения — TVR, данный тезис преобразует в факт наличествующего бытия.

Мировоззрение предопределяет синтез объектов новых реальностей, в предельных случаях технологий редактирования (улучшения) человека: редактирования сознания, редактирования индивидуальности и самоидентичности; персональной, коллективной, организационной, национальной и пр.

Успехи/поражения в продвижении и инсталляции (интериоризации) программ/продуктов/идей новых вариантов идентичностей будут предопределяться системой ценностей разработчиков/доноров и потребителей/реципиентов.

Мировоззрение полионтичности и полионтологичности мира и человека становится базой для развёртывания новых миров человеческого бытия.

Осмысление всего спектра вопросов, связанных с новым миром, в том числе цифровым, выходит на фронт философской повестки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Носов Н.А. Виртуальная психология. М.: Аграф, 2000.
2. Пронин М.А. Вызовы мировоззрению разработчиков технологий виртуальной реальности (TVR): философские, этические, юридические и другие следствия // Философия образования. 2016. № 69. С. 46–69.
3. Пронин М.А. Философия как экспертиза: к пониманию природы противопоказаний к применению технологий виртуальной / дополненной реальности (TVR/AR) // Инновационные технологии в кинематографе и образовании: IV Международная научно-практическая конференция Москва, 26–29 сентября 2017 г.: Матери-

алы и доклады / под общей редакцией О.Н. Раева. М.: ВГИК, 2017. С. 117–129.

4. Пронин М.А., Синеокая Ю.В., Юдин Б.Г. Философия как экспертиза // Философский журнал. 2017. Т. 10. № 2. С. 79–96.

5. Стёпин В.С. Теоретическое знание. М.: Прогресс-Традиция, 2000.

Mikhail A. Pronin

PHILOSOPHY AS EXPERTISE: VIRTUAL PSYCHOLOGICAL STATES IN THE TECHNOLOGY OF THREE-DIMENSIONAL IMAGES IN CINEMA — THE FORMULATION OF THE PROBLEM

Mikhail A. Pronin, PhD (Medicine)

E-mail: pronin@iph.ras.ru

Institute of Philosophy, Russian Academy of Sciences

This philosophic article continues to consider some anthropological constants (dependencies) of psychological experiences in the environment of 3D images obtained by using virtual/augmented reality technologies (TVR / AR — further TVR), etc. The knowledge of the regularities of the emergence of virtual psychological experiences and related effects will allow us to design custom 3D environments with greater efficiency. The boundaries and content (subject) of the academic expertise of TVR / AR are outlined. In contrast with his previous focus on the psychological safety of TVR, the author points to the possibilities that provide the results of fundamental research in virtual psychology (virtualistics) to the creators of 3D images and environments in cinema and other industrial applications. The leading psychological mechanism that reduces consumer interest for the level of today's 3D environments is revealed. Prospects for the development of those are outlined.

Key words: Philosophy as expertise, anthropology, expertise, academic expertise, human apprehension, bioethics, human-oriented technologies, human improvement, virtualistics, virtual individual, new world, VR technologies, worldview, technologies, challenges, consequences, humanitarian shell.

REFERENCES

1. Nosov N.A. Virtual'naya psikhologiya. M.: Agraf, 2000.
2. Pronin M.A. Vyzovy mirovozzreniyu razrabotchikov tekhnologii virtual'noi real'nosti (TVR): filosofskie, eticheskie, yuridicheskie i drugie sledstviya // Filosofiya obrazovaniya. 2016. № 69. P. 46–69.

3. Pronin M.A. Filosofiya kak ekspertiza: k ponimaniyu prirody protivopokazanii k primeneniyu tekhnologii virtual'noi / dopolnennoi real'nosti (TVR/AR) // Innovatsionnye tekhnologii v kinematografe i obrazovanii: IV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskayaoi konferentsiya Moskva, 26–29 sentyabrya 2017 g.: Materialy i doklady / pod obshchei redaktsiei O.N. Raeva. M.: VGIK, 2017. P. 117–129.

4. Pronin M.A., Sineokaya Yu.V., Yudin B.G. Filosofiya kak ekspertiza // Filosofskii zhurnal. 2017. T. 10. № 2. P. 79–96.

5. Stepin V.S. Teoreticheskoe znanie. M.: Progress-Traditsiya, 2000.

УДК 778.5.05: 778.534.6

ББК 85.37

Искандарян Р.А.

КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ СОЗНАНИЯ ЗРИТЕЛЯ И ВОСПРИЯТИЯ ОБРАЗОВ В ИММЕРСИВНОМ АНИМАЦИОННОМ КИНЕМАТОГРАФЕ

Искандарян Рубен Александрович, кандидат биологических наук
E-mail: iskandaryan.ruben@gmail.com
Российский национальный исследовательский медицинский
университет им. Н.И. Пирогова

Представлена концептуальная модель состояния сознания зрителя в иммерсивном анимационном кинематографе. На основе анализа литературных источников раскрыты понятия состояния сознания, уровня и содержания сознания, а также качества интерактивного взаимодействия с кинематографической реальностью (интерактивность, иммерсия, вовлечение, присутствие). Предложена концептуальная модель восприятия иммерсивных интерактивных кинопроизведений, позволяющая контролировать достижение целевых показателей при управлении восприятием.

Ключевые слова: сознание, человеко-машинное взаимодействие, иммерсивный анимационный кинематограф.

Иммерсивный анимационный кинематограф — интерактивный вид киноискусства, для которого характерны погружение (иммерсия) и вовлечение зрителя в действие на основе передачи в нервную систему зрительных, слуховых, тактильных, кинестетических и других образов в реальном времени с помощью средств

человеко-машинного взаимодействия [9]. Режиссёр может формировать заданное состояние сознания у зрителя и таким образом управлять восприятием фильма через стимулирование активного освоения кинематографической реальности [8, 10]. К сожалению, большинство методов оценки состояния сознания ориентированы на задачи клинической медицины (анестезиология, неврология, сомнология) [2, 6, 16] и психологии (виртуалистики) [1], поэтому не в полной мере учитывают специфику кинематографа, где формирование состояний сознания служит практическим целям.

В статье предпринята попытка создать концептуальную модель состояния сознания зрителя иммерсивного фильма. Для этого из обзоров [5, 13, 14, 17] выделены ключевые понятия, используемые при оценке состояний сознания в процессе освоения иммерсивного опыта.

Сущность метода концептуального моделирования состоит в построении модели предметной области, представленной множеством понятий и связей между ними, определяющими смысловую структуру этой области [7].

Концептуальная модель состояния сознания зрителя иммерсивного фильма сформулирована на основе следующих определений.

1. Сознание — функция человеческого мозга, сущность которой заключена в отражении действительности и целенаправленном регулировании взаимоотношений личности с окружающим миром. Сознание включает в себя не только знание об окружающем мире, но и представление о своих индивидуальных и личностных свойствах [2].

2. Реальность фильма как правило отличается от обыденной, поскольку содержит идеальные объекты, созданные воображением режиссёра [8]. Их образы передаются зрителю с помощью специальных технических средств машинной графики, акустики, человеко-машинного взаимодействия (мультимедийных кабин, очков и шлемов виртуальной реальности, нейрокомпьютерных интерфейсов и др.) [15]. В кинематографической реальности может нарушаться связность пространства (возможны мгновенные перемещения из одной точки пространства в другую), неразрывность времени (зритель может перескакивать через временные интервалы или возвращаться в прошлое), различные физические законы

(преодоление земной гравитации), кроме этого возможно изменение телесных функций (силы, выносливости) и другое. Сценарии взаимодействия действующих лиц в кинематографической реальности могут отличаться от существующих в физической реальности [8, 9]. Поэтому можно сделать вывод, что сознание зрителя во время освоения мира кинопроизведения адаптировано к условиям, отличающимся от привычных.

3. Состояния изменённого сознания — качественные изменения в субъективных переживаниях или психологическом функционировании от определённых для данного субъекта генерализованных норм, рефлекслируемые самим человеком или отмечаемые наблюдателями [11]. Главным признаком состояний изменённого сознания является изменение связи переживаний с реальным миром, т. е. изменение представлений о реальности (физической или кинематографической).

Множество вариантов состояний сознания, в которых осуществляется жизнедеятельность субъекта, может быть графически представлено в виде диаграммы (рис. 1), включающей два независимых фактора (обобщено по [2, 5, 6, 16]): уровень сознания (активацию нервной системы) и содержание сознания (отражение фактов о реальности). Красной линией на диаграмме условно показано содержание сознания, при котором наступает интеграция в эго-концепцию автобиографической памяти. При состояниях сознания, изображённых ниже этой линии, субъект не может определить, бодрствует ли он, т. е. ему недоступен для анализа накопленный ранее жизненный опыт в типичном состоянии сознания и ему не с чем сравнивать опыт в состоянии изменённого сознания. Патологическое бодрствование возможно при общей анестезии, когда сохранено восприятие, ориентация в собственном опыте, но невозможен моторный ответ (полностью подавлены рефлекс). Римскими цифрами показаны стадии общей анестезии, серым цветом показаны состояния сознания во время физиологического сна. По мере пробуждения возрастает как уровень активации, так и обогащается содержание сознания. В осознанном сне субъект спит (подавлены произвольные движения и рефлекторные реакции), но возможно самостоятельное целеполагание и освоение виртуальной реальности сновидения при различной степени детализации образа тела сновидения (разном феноменологическом воплощении).



Рис. 1. Варианты состояний сознания человека по [2, 5, 6, 16]

При бодрствовании также возможна потеря автобиографической памяти (зона ниже красной линии), что соответствует амнезии. Штриховкой обозначена зона, с которой работает режиссёр иммерсивного игрового анимационного кинематографа. В этой зоне воспроизводятся аналоги состояний изменённого сознания между сном и бодрствованием с различной степенью передачи накопленного жизненного опыта зрителя.

Уровень сознания (активация нервной системы) определяет ряд функций, среди которых наибольшее значение имеет воплощение — связь разума и тела [19]. Зритель иммерсивного фильма феноменологически воплощён в образе тела (аватаре), с помощью которого ощущает внешние воздействия и изменения внутренней среды, совершает произвольные и непроизвольные двигательные акты.

Феноменологическое воплощение может не соответствовать функциональному при использовании нейрокомпьютерных интерфейсов для двухсторонней связи нервной системы зрителя и симуляционного оборудования [15]. В этом случае взаимодействие с объектами реальности происходит мысленно, посредством записи образов в оперативную память человека, с точным воспроизведе-

нием внутреннего мира зрителя, но тело человека неподвижно, поскольку во время кинопоказа для индукции состояния изменённого сознания применяется анестезиологическое пособие — наркоз (подавляются произвольные движения и рефлексy, нарушается естественное чувственное восприятие). При минимальном воплощении субъекту могут быть недоступны отдельные сенсорные модальности или ограничено поле восприятия. Например, в модели аватара могут передаваться только функции органов чувств, расположенных на голове (зрение, слух, чувство равновесия и положения тела, тактильная чувствительность). По мере увеличения уровня активации телесные функции становятся более разнообразными и приближаются к полному воплощению. Такая динамика наблюдается и в оознанных сновидениях [19].

Содержание сознания зрителя включает знания о себе (эго-концепция) и об окружающем его мире (концепция реальности фильма) [12]. На их основе создаются когнитивные модели, относящиеся к прошедшим, текущим и будущим моментам времени. Образы из этих моделей дополняют текущий опыт восприятия сцены, обеспечивают целеполагание и готовность к выполнению действий на основе анализа накопленного ранее жизненного опыта. В каждый момент времени в сознании присутствуют образы ожидаемых событий, которые позволяют заранее к ним адаптироваться [18].

4. В рамках концептуального анализа можно выделить понятия об ориентации пользователя между физической или кинематографической реальностями, в пространстве и времени, социальной ситуации и собственном опыте, которые согласованы между собой и формируют единую систему представлений о жизненном мире [10].

Ориентация между физической или кинематографической реальностями показывает, может ли зритель определить, с какой реальностью он в данный момент взаимодействует: физической или кинематографической. Для иммерсивного кино справедлив принцип: ситуации, определенные людьми как реальные, реальны по своим последствиям. Потеря ориентации наступает в том случае, если зритель полностью сосредоточен на взаимодействии с элементами сцены фильма и отвлечён от восприятия физической реальности вокруг него. Такой эффект наблюдается при использовании интерфейсов с высокой степенью реализма передачи образов

и при абсолютном сосредоточении на деятельности в кинематографической реальности.

Ориентация в месте и времени. При полной ориентировке в пространстве зритель чётко понимает, где он находится в данный момент, где он был раньше, куда и как может переместиться. Аналогично раскрывается содержание ориентировки во времени. Она может быть сформирована относительно эпизода кинопроизведения, периода жизни зрителя или общества (исторической эпохи). Варианты нарушения пространственно-временной ориентировки включают полную или частичную дезориентацию, при которой может сохраняться восприятие ситуации «здесь и сейчас» с адекватным реагированием на неё. Ход времени в виртуальной реальности может произвольно изменяться режиссёром, так как анимационный кинематограф позволяет варьировать длительность и темп процессов, с которыми взаимодействует зритель (аналогом может служить замедленная или ускоренная съёмка в проекционном кинематографе). Феноменологическое время может быть прерывистым, если сценарием предусмотрено произвольное перемещение между эпизодами с нарушением естественной хронологической последовательности. Этот же эффект достигается при нелинейном монтаже.

Ориентация в социальной ситуации складывается из распознавания типа ситуации и применения к ней системы ранее сформированных социальных установок [3]. Эта функция реализуется при участии памяти и мышления. В социальной установке выделяют когнитивные (знания), аффективные (эмоциональные реакции) и поведенческие (действия) компоненты. При освоении реальности фильма зритель формирует систему представлений о рациональном поведении в различных ситуациях, которая может отличаться от привычной для него культурной среды. Выработанные социальные установки могут переноситься из кинематографической реальности в физическую и наоборот.

Ориентация в собственном опыте включает воспроизведение из памяти сведений о себе, личном и социальном опыте и интеграцию текущего опыта восприятия с уже накопленным. Эффект амнезии возникает в случае неспособности воспроизводить ранее накопленный опыт. Если зритель не проводит различия между собственной личностью и действующим лицом, то происходит деперсонализация. Ощущение бессмысленности и бессвязности воспринимаемого

го мира наступает при невозможности сопоставления сформированных в сознании образов смысловым единицам (амнезия). Эти и другие нарушения ориентации в собственном опыте строго нежелательны (кроме специальных применений кинематографических технологий, например, в криминалистике, когда пользователя информируют об умышленном искажении воспроизведения личного опыта в среде виртуальной кинематографической реальности), поэтому для качественной передачи опыта требуется корректное воспроизведение фактов автобиографической памяти человека.

В концептуальной модели восприятия образов в иммерсивном кинематографе предлагается разграничение между характеристиками сознания зрителя, с одной стороны, и опыта как результата освоения кинематографической реальности, с другой стороны. В работах Joschka Mütterlein [13, 14] для оценки опыта в иммерсивном кино используются три основных понятия: иммерсия, присутствие, интерактивность. Ursula Voss с соавторами [17] для характеристики иммерсивного опыта сновидений используют понятия, которые относятся как к состоянию сознания, так и к опыту, не проводя между ними различия: чувственный реализм, осознанность (ориентация в состоянии сознания), собственный образ, логическое мышление, доступ к фактам из памяти на события во время бодрствования, управление мыслями и действиями в сновидении, эмоции. Jennifer Windt в монографии об иммерсивном опыте сновидений [19] наряду с упоминавшимся выше вариантом «слабого воплощения» (weak embodiment) выделяет «слабое обдумывание» (weak cogitation), которое характеризует нарушение интеллектуально-мнестических функций при освоении виртуальной реальности сновидения. В системах кинопоказа на основе нейрокомпьютерных интерфейсов [15] модификация мышления (обдумывания), как правило, не производится (кроме криминалистических приложений), так как режиссёр заинтересован в корректном восприятии мультимедийного материала зрителем.

Концептуальная модель опыта восприятия иммерсивного фильма выражается следующими понятиями.

1. Интерактивность — сложное понятие, отражающее полностью и качество погружения в мир кинопроизведения и включения в происходящее в нём социальное действие. Оно раскрывается через понятия иммерсии и вовлечения.

2. Иммерсия (от фр. *immersion* — погружение) это качество, характеризующее полноту непосредственного взаимодействия субъекта и элементов реальности. Оно предполагает формирование в сознании субъекта представлений о кинематографической реальности и способах взаимодействия с ней, точную передачу образов в системе «человек—машина» и абстрагирование от явлений за пределами кинематографической реальности. При полной иммерсии взаимодействие с элементами сцены не уступает по реализму жизни. Выделенные Staffan Bjork и Jussi Holopainen эмоциональные, сенсорные, пространственные и психологические аспекты погружения [4] соответствуют отражению в сознании зрителя эмоциональных реакций от первого, второго и третьего лица, сенсорной составляющей воплощения, ориентации в пространстве и собственной личности.

3. Вовлечение характеризует интеграцию зрителя в коллективное социальное действие в реальности кинопроизведения. Оно относится либо к отдельной сцене, либо к завершённой эпизоду. Зритель может быть вовлечён в действие, если он мотивирован и социально компетентен. Навыки для этого он получает либо в процессе участия в действии иммерсивного фильма, либо заимствует из собственного опыта.

4. Присутствие обозначает иллюзию присутствия в удалённом от фактического положения месте или среде. Это концептуальное понятие соотносится с ориентировкой в месте и времени, социальной ситуации и собственном опыте и фактически реализуется на основе этих феноменологических характеристик сознания.

Приведённые понятия не являются исчерпывающими. Их список может дополняться, если конкретное оборудование кинопоказа допускает расширение возможностей управления состоянием сознания зрителя (пользователя) и управления его когнитивными функциями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенная модель может быть использована при разработке концепции интерактивного кинопроизведения (видеоигры, тренажёры). Она позволяет формально охарактеризовать целевые характеристики состояния сознания и опыта взаимодействия с элементами кинематографической реальности для каждой сцены фильма

и проконтролировать их достижение на основе выбранных режиссёром выразительных средств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Носов Н.А. Виртуальная психология. М.: Аграф, 2000. 432 с.
2. Трошин В.Д., Погодин Т.Г. Неотложная неврология. Руководство / 3-е изд., перераб. и доп. М.: Медицинское информационное агентство, 2016. 584 с.
3. Шихирев П. Н. Современная социальная психология. М.: Деловая книга, 2000. 256 с.
4. Bjork S., Holopainen J. *Patterns in Game Design (Game Development Series)*. Hingham: Charles River Media, 2004. 423 p.
5. Boly M. et al. Consciousness in humans and non-human animals: recent advances and future directions // *Frontiers in psychology*. 2013. Vol. 4. 625 p.
6. Cavanna A. E. et al. *Neuroimaging of consciousness*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013. P. 1–261.
7. Eklund M. *Choosing Normative Concepts*. Oxford University Press, 2017.
8. Iles C. *Dreamlands: Immersive Cinema and Art, 1905–2016*. Yale University Press, 2016.
9. Jerald J. *The VR book: Human-centered design for virtual reality*. Morgan & Claypool, 2015.
10. Loht S. *Phenomenology of Film: A Heideggerian Account of the Film Experience*. Lexington Books, 2017.
11. Ludwig A. M. Altered states of consciousness // *Archives of general Psychiatry*. 1966. Vol. 15. No 3. P. 225–234.
12. Metzinger T. *The ego tunnel: The science of the mind and the myth of the self*. Basic Books (AZ), 2009.
13. Mütterlein J. *The Three Pillars of Virtual Reality? Investigating the Roles of Immersion, Presence, and Interactivity* // *Proceedings of the 51st Hawaii International Conference on System Sciences*. 2018.
14. Mütterlein J., Hess T. *Immersion, Presence, Interactivity: Towards a Joint Understanding of Factors Influencing Virtual Reality Acceptance and Use* // *Twenty-third Americas Conference on Information Systems*. Boston, 2017.
15. Nam C.S., Nijholt A., Lotte F. *Brain-Computer Interfaces Handbook: Technological and Theoretical Advances*. CRC Press, 2018.

16. Schnakers C., Laureys S. et al. Coma and disorders of consciousness. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2018. P. 1–285.

17. Voss U. et al. Measuring consciousness in dreams: the lucidity and consciousness in dreams scale // *Consciousness and Cognition*. 2013. Vol. 22. No 1. P. 8–21.

18. Wiese W. Experienced Wholeness: Integrating Insights from Gestalt Theory, Cognitive Neuroscience, and Predictive Processing. MIT Press, 2017.

19. Windt J. M. Dreaming: A conceptual framework for philosophy of mind and empirical research. MIT Press, 2015.

Ruben A. Iskandaryan

CONCEPTUAL MODELING OF THE VIEWER'S STATE OF CONSCIOUSNESS AND PERCEPTION OF IMAGES IN IMMERSIVE ANIMATION

Ruben A. Iskandaryan, PhD (Biology)

E-mail: iskandaryan.ruben@gmail.com

Pirogov Russian National Research Medical University

A conceptual model of the viewer's state of consciousness in immersive animation is presented. Based on the analysis of literary sources, the concepts of the state of consciousness, its level and content, as well as the quality of interaction with cinematic reality (interactivity, immersion, involvement, presence) are disclosed. The model can be used in the conceptual modeling of immersive interactive films in order to control the achieving the goals in the control of perception.

Key words: consciousness, human-computer interaction, immersive animation.

REFERENCES

1. Nosov N.A. Virtual'naya psikhologiya. M.: Agraf, 2000. 432 p.
2. Troshin V.D., Pogodin T.G. Neotlozhnaya nevrologiya. *Rukovodstvo / 3-e izd., pererab. i dop.* M.: Meditsinskoe informatsionnoe agentstvo, 2016. 584 p.
3. Shikhirev P. N. Sovremennaya sotsial'naya psikhologiya. M.: Delovaya kniga, 2000. 256 p.
4. Bjork S., Holopainen J. Patterns in Game Design (Game Development Series). Hingham: Charles River Media, 2004. 423 p.

5. Boly M. et al. Consciousness in humans and non-human animals: recent advances and future directions // *Frontiers in psychology*. 2013. Vol. 4. 625 p.

6. Cavanna A. E. et al. Neuroimaging of consciousness. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013. P. 1–261.

7. Eklund M. Choosing Normative Concepts. Oxford University Press, 2017.

8. Iles C. Dreamlands: Immersive Cinema and Art, 1905–2016. Yale University Press, 2016.

9. Jerald J. The VR book: Human-centered design for virtual reality. Morgan & Claypool, 2015.

10. Loht S. Phenomenology of Film: A Heideggerian Account of the Film Experience. Lexington Books, 2017.

11. Ludwig A. M. Altered states of consciousness // *Archives of general Psychiatry*. 1966. Vol. 15. No 3. P. 225–234.

12. Metzinger T. The ego tunnel: The science of the mind and the myth of the self. Basic Books (AZ), 2009.

13. Mütterlein J. The Three Pillars of Virtual Reality? Investigating the Roles of Immersion, Presence, and Interactivity // *Proceedings of the 51st Hawaii International Conference on System Sciences*. 2018.

14. Mütterlein J., Hess T. Immersion, Presence, Interactivity: Towards a Joint Understanding of Factors Influencing Virtual Reality Acceptance and Use // *Twenty-third Americas Conference on Information Systems*. Boston, 2017.

15. Nam C.S., Nijholt A., Lotte F. Brain-Computer Interfaces Handbook: Technological and Theoretical Advances. CRC Press, 2018.

16. Schnakers C., Laureys S. et al. Coma and disorders of consciousness. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2018. P. 1–285.

17. Voss U. et al. Measuring consciousness in dreams: the lucidity and consciousness in dreams scale // *Consciousness and Cognition*. 2013. Vol. 22. No 1. P. 8–21.

18. Wiese W. Experienced Wholeness: Integrating Insights from Gestalt Theory, Cognitive Neuroscience, and Predictive Processing. MIT Press, 2017.

19. Windt J. M. Dreaming: A conceptual framework for philosophy of mind and empirical research. MIT Press, 2015.

по характеру стереовосприятия людей можно подразделить, по крайней мере, на 4 типа. Лишь у четверти участников исследования виртуальные стереообъекты воспринимались в соответствии с правилами стереографии как движущиеся от экрана к наблюдателю и меняющие свои размеры. У большинства же стереообразы сохраняли первоначальные размеры и позицию в центре экрана, несмотря на увеличение экранного параллакса. Более того, у пяти испытуемых стереообраз даже удалялся в заэкранное пространство. Опрос испытуемых показал, что обнаруженные индивидуальные различия коррелируют с вероятностью появления дискомфорта при просмотре стереофильмов.

Ключевые слова: стереоскопическое зрение, типы стереоскопического восприятия, зрительный дискомфорт, фузионные резервы.

ВВЕДЕНИЕ

До сих пор считалось само собой разумеющимся, что при просмотре стереофильмов бинокулярный образ прослеживаемого объекта должен быть виден на пересечении зрительных осей – такая хрестоматийная картина фигурирует во многих статьях. Однако нами было обнаружено, что во многих случаях это не так: у части испытуемых успешно сформированный и хорошо прослеживаемый стереообраз может быть виден на значительном расстоянии от точки пересечения зрительных осей левого и правого глаза. В наших предыдущих исследованиях [2, 4], во время комплексной оценки состояния бинокулярных зрительных функций у детей разного возраста (более 600 испытуемых), при измерении показателей стереовосприятия у детей мы обратили внимание на существенные индивидуальные различия в субъективных отчётах о величине и позиции наблюдаемого стереообраза в идентичных условиях тестирования. Например, при восприятии предъявляемых на мониторе стереограмм, у многих детей успешное формирование стереообраза сопровождалось попаданием виртуальных стереообъектов в мануальное пространство, при этом они проявляли восторженную эмоциональную реакцию, пытались активно дотронуться до виртуальных объектов и отмечали, что в процессе изменения бинокулярных параллаксов стереообъекты приближаются к ним или удаляются. В то же время у другой части испытуемых не было подобной эмоциональной реакции, а виртуальный стереообъект в течение всего времени наблюдения мог восприниматься как находящийся на экране, несмотря на изменения экранного параллакса.

УДК 778.534.1
ББК 37.95

Васильева Н.Н., Рожкова Г.И., Грачева М.А.

НЕОДНОЗНАЧНОЕ ВОСПРИЯТИЕ ВЕЛИЧИНЫ И ПОЗИЦИИ ВИРТУАЛЬНЫХ СТЕРЕООБЪЕКТОВ

Васильева Надежда Николаевна, доктор биологических наук, доцент

E-mail: nn_vasilyeva@mail.ru

Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН

Рожкова Галина Ивановна, доктор биологических наук, кандидат физико-математических наук, профессор

E-mail: gir@iitp.ru

Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН

Грачева Мария Александровна, кандидат биологических наук

E-mail: mg.iitp@gmail.com

Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН

Учитывая существенные различия в эмоциональных реакциях испытуемых и словесных описаниях видимых ими образов, возникающих в одних и тех же условиях оценки показателей стереозрения, мы решили провести специальное исследование для выяснения возможности классификации зрителей по характеру их стереоскопического восприятия. В качестве метода использовали измерение конвергентных фузионных резервов, процедура которого имитирует наблюдение стереообъекта, выходящего из экрана, приближающегося к зрителю и уменьшающегося по ходу движения. В экспериментах участвовали взрослые испытуемые в возрасте от 18 до 79 лет (35 человек). Полученные данные показали, что

В указанных работах специального исследования отмеченных индивидуальных различий не было предусмотрено. Позднее, при выполнении аналогичных исследований на взрослых испытуемых, появилась возможность более детально изучить индивидуальные особенности восприятия стереообразов в условиях, приближенных к просмотру стереофильмов, что и было целью настоящей работы. Оказалось, что и у взрослых людей одни и те же стереопары могут порождать стереообразы, существенно различающиеся по величине и позиции.

МЕТОДИКА

В качестве метода исследования было выбрано компьютерное измерение фузионных резервов, основанное на генерации динамических стереопар, имитирующих выход стереообъекта из экрана.

Фузионные резервы являются одним из базовых показателей бинокулярного зрения, определяющих комфортность восприятия стереофильмов зрителем. Они характеризуют помехоустойчивость и гибкость механизмов *фузии* (слияния, объединения), обеспечивающих формирование единого трёхмерного образа в результате совместной обработки изображений объекта на сетчатках двух глаз. Процедура измерения фузионных резервов подразумевает оценку способности зрительной системы сохранять единый бинокулярный образ объекта при искусственной стимуляции конвергенции/дивергенции осей глаз в условиях рассогласования аккомодации и вергенции.

В данной работе измерение фузионных резервов проведено с использованием разработанной в ИППИ РАН интерактивной компьютерной программы «Фузия», в которой предусмотрены поляризационный и цветовой (анаглифный вариант) способы сепарации левого и правого изображений [1].

Экспериментальная установка включала стереоскопический телевизор, используемый в качестве монитора для предъявления тестовых стимулов, разделительные стереоочки и подставку-подбородник для фиксации головы испытуемого (рис. 1).

Использование в программе в качестве стимулов *случайно-точечных стереограмм* (СТС) позволяет контролировать сохранение у испытуемых способности к формированию полноценных стереообразов на основе бинокулярной диспаратности на всём протя-

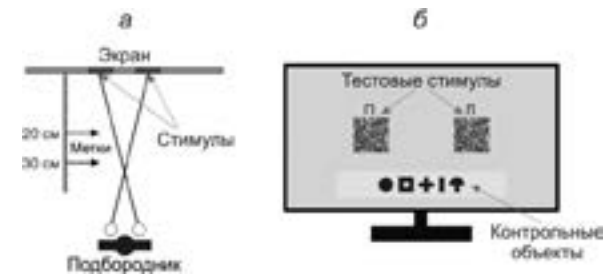


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

жении измерения до момента распада сфузионного образа при достижении критических углов конвергенции/дивергенции [4].

Зрительные стимулы (квадратные СТС) имели размеры 90×90 мм и кодировали простые тест-объекты, слегка выступающие из фона за счёт диспаратности (циклопические контрольные объекты). Размер отдельных «точек» — элементов СТС — составлял 5×5 пикселей, а размер пикселя был равен 0,51 мм.

Схемы наблюдения тестовых изображений при измерении фузионных резервов на компьютерной установке представлены на рис. 2. В начальный момент левый и правый стимулы были совмещены в центре экрана, что позволяло испытуемым с нормальными механизмами бинокулярного стереопсиса легко сфузировать эту пару изображений и увидеть на случайно-точечном фоне циклопический объект.

При измерении конвергентных фузионных резервов правый стимул двигался влево, а левый — вправо, что вызывало постепенное увеличение экранного параллакса и угла между зрительными осями (угла конвергенции). При измерении дивергентных фузионных резервов правый стимул двигался вправо, а левый — влево, что приводило к дивергенции (разведению) зрительных осей. За значение фузионных резервов принимали те предельные углы

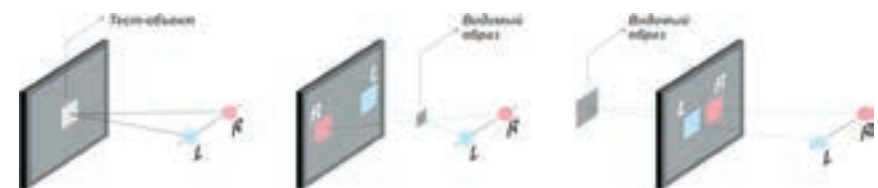


Рис. 2. Схемы наблюдения тестовых изображений при измерении фузионных резервов

конвергенции и дивергенции, превышение которых вызывает срыв фузии, исчезновение циклопического контрольного объекта и двоение стимула.

Для оценки видимой позиции виртуальных стереообъектов, возникающих при измерении фузионных резервов, были использованы специальные метки (см. рис. 1), обеспечивающие возможность сопоставлять в пространстве воспринимаемую позицию стереообраза и позицию виртуального стереообъекта, рассчитанную по правилам стереографии.

В исследовании приняли участие 35 человек в возрасте от 18 до 79 лет, давших информированное согласие на проведение процедуры измерений. Критерием отбора испытуемых для данного эксперимента явилось наличие у них полноценных механизмов бинокулярного стереопсиса.

Для проведения измерений испытуемый надевал стереочки и располагался на расстоянии 50 см от экрана телевизора на стуле регулируемой высоты. Голову испытуемого фиксировали на подставке-подбороднике таким образом, чтобы глаза находились на уровне центра экрана. Когда испытуемый начинал видеть циклопический объект, он сообщал о своей готовности к измерениям, и экспериментатор запускал программу медленного движения левого и правого стимулов в противоположных направлениях от центра. Скорость движения стимулов по экрану составляла 100 мм/мин. По ходу движения контрольные циклопические объекты внутри тестовых стимулов менялись: это удерживало внимание испытуемого и позволяло точно установить момент распада бинокулярного образа, после которого движение стимулов останавливали и выводили на экран набор контрольных тест-объектов («детектор лжи»). Испытуемому предлагалось выбрать объект, воспринимаемый непосредственно перед моментом распада.

Эксперимент включал 3 серии. В первой серии у всех испытуемых измеряли конвергентные фузионные резервы. По окончании процедуры испытуемых просили описать величину и позицию стереообразов, наблюдаемых в процессе расхождения левой и правой частей стереопары. По результатам первой серии выделяли подгруппу испытуемых, у которых в указанных условиях видимый стереообъект двигался в направлении от экрана к испытуемому.

Выделенная подгруппа участвовала во второй серии экспериментов. В данной серии осуществляли сопоставление позиции видимого стереообъекта с точкой пересечения зрительных осей. Для этого использовали метки, устанавливаемые на расстояниях 20 см и 30 см от экрана. Задача испытуемого состояла в том, чтобы в ходе перемещения стереообъекта сообщить о моменте, когда расстояние воспринимаемого стереообъекта от экрана соответствовало глубине расположения метки. Зафиксированные на экране позиции левого и правого стимулов служили ориентирами для расчёта вероятной позиции точки пересечения зрительных осей в момент наблюдения виртуального стереообъекта на заданной глубине.

В третьей серии исследований проводили опрос испытуемых на предмет их отношения к стереокино: участникам эксперимента было предложено высказать общее впечатление от просмотра стереофильмов и охарактеризовать свои ощущения (степень усталости глаз, наличие головокружения, головной боли, дискомфорта, тошноты).

РЕЗУЛЬТАТЫ

По итогам первой серии исследований было установлено, что все участвовавшие в экспериментах испытуемые имеют нормальные или превышающие нормативные значения фузионные резервы. Величина конвергентных фузионных резервов у испытуемых находилась в диапазоне от 19° до 59°.

При постепенном увеличении экранного параллакса тестового стимула были выявлены следующие типы восприятия величины и позиции виртуальных стереообразов:

I тип — стереообраз приближается к испытуемому и уменьшается в размерах;

II тип — стереообраз сохраняет позицию на экране и не меняет своих размеров;

III тип — стереообраз удаляется за экран;

IV тип — стереообраз демонстрирует более сложные трансформации; видимую картину испытуемые описывали следующим образом: «Сначала стереообъект начинал приближаться, а затем возвращался на место, т. е. на экран».

Первые три типа схематически представлены на рис. 3.

Неожиданно было обнаружено (рис. 4), что только четверть испытуемых из выборки соответствует хрестоматийному представ-

Таблица 1

Расчётные расстояния от экрана до точки пересечения зрительных осей при наблюдении стереообъекта на уровне метки

Режим сепарации	Метка 20 см	Метка 30 см
Поляризационный	20,5–22,2 см	29,5–33,5 см
Анаглифный	17,5–21,2 см	30,4–31,3 см



Рис. 3. Варианты видимых образов у разных испытуемых при исследовании конвергентных фузионных резервов

лению (I тип). Как оказалось, большинство участников исследования относятся ко II типу. Заметное число испытуемых попало в группу III типа. Остальных испытуемых мы отнесли к IV типу (смешанному).

Сопоставление расчётных позиций точки пересечения двух зрительных осей при достижении виртуальным стереообъектом метки с расстоянием от экрана до метки показало, что они достаточно близки (табл. 1), а у некоторых испытуемых точно совпадают. Это было справедливо для обоих режимов сепарации изобра-

жений, использованных в экспериментах, — поляризационного и анаглифного.

Учитывая возможные индивидуальные различия в точности оценки положения стереообраза по отношению к меткам и в скорости сенсомоторных реакций испытуемых, в первом приближении, можно сказать, что имело место неплохое совпадение сравниваемых позиций.

Обнаруженные индивидуальные различия свидетельствуют о возможности неоднозначной интерпретации сетчаточных изображений в этих условиях восприятия из-за доминирования у разных людей разных механизмов, вносящих вклад в эту интерпретацию. Как известно, в формировании видимых образов обычно участвуют различные параллельные механизмы, автономно производящие оценку одних и тех же параметров рассматриваемой сцены [3, 5]. В условиях проводимых экспериментов в монокулярные и бинокулярные мозговые подсистемы анализа зрительной информации поступали весьма противоречивые сигналы о величине и позиции тест-объекта, которые трудно согласовать между собой, исходя из простых гипотез о виде и движении наблюдаемого объекта. Например, очевидно, что в каждом монокулярном канале поступающая информация свидетельствует об увеличении расстояния до объекта, а в чисто бинокулярном канале — об уменьшении расстояния до объекта.

Учитывая современные представления о множественности механизмов в зрительной системе и субъективные отчёты испытуемых, можно высказать следующие предположения о природе различий между разными типами стереоскопического восприятия.

I тип («стереографический») — наблюдаемые стереообразы соответствуют геометрическим построениям стереоизображений в стереографии:

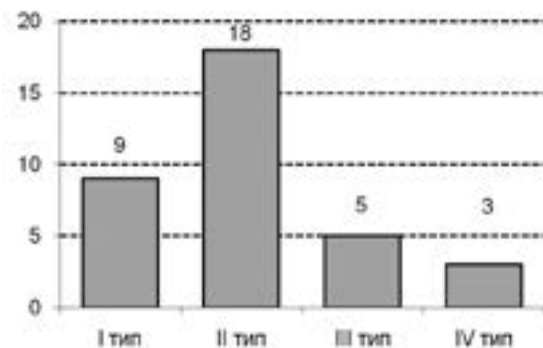


Рис. 4. Распределение испытуемых по типу восприятия величины и позиции стереообразов

— стереобраз формируется в точке пересечения зрительных осей;

— стереобраз приближается к наблюдателю по мере увеличения экранного параллакса;

— величина стереобраза уменьшается с приближением к наблюдателю.

II тип («не учитывающий движения осей глаз») — фиксируемые каждым глазом изображения на сетчатках практически неподвижны, а информацию о движении зрительных осей мозг игнорирует, поэтому формируемый стереобраз сохраняет исходные размеры и позицию, несмотря на увеличение экранного параллакса.

III тип («игнорирование движения осей глаз при учёте сигналов монокулярных подсистем об увеличении расстояния») — стереобраз кажется удаляющимся за экран, потому что информация о движении осей глаз игнорируется, а обе монокулярные зрительные подсистемы передают в мозг информацию об увеличении расстояния до наблюдаемого виртуального стереообъекта по мере увеличения экранного параллакса.

Несмотря на то что все участники эксперимента имели полноценные механизмы бинокулярного стереопсиса, проведённый опрос показал, что часть испытуемых нередко ощущает дискомфорт при просмотре стереофильмов. Это проявляется в виде усталости глаз, головокружения, головной боли, тошноты. При анализе данных опроса было установлено, что дискомфорт испытывают, в первую очередь, люди, отнесённые к II и III типам восприятия виртуальных стереообъектов.

Таким образом, выявление индивидуальных особенностей стереоскопического восприятия величины и позиции виртуальных стереообъектов может иметь существенное значение для прогнозирования степени потенциального дискомфорта при просмотре стереофильмов.

Авторы выражают благодарность Е.Н. Крутцовой за техническую помощь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Большаков А.С., Рожкова Г.И. Интерактивная тестовая программа для оценки состояния и тренировки фузионных механизмов бинокулярного зрения ФУЗИЯ. Свидетельство о госу-

дарственной регистрации программы для ЭВМ № 2013610975 от 09.01.2013.

2. Васильева Н.Н., Рожкова Г.И. Возрастная динамика фузионных резервов, измеренных при помощи циклопических тест-объектов с маркерами // Сенсорные системы. 2009. Т. 23. № 1. С. 40–50.

3. Рожкова Г.И. Бинокулярное зрение // Физиология зрения / под ред. А.Л. Бызова. М.: Наука, 1992. С. 586–664.

4. Рожкова Г.И., Васильева Н.Н. Компьютерный метод оценки фузионных резервов с объективным контролем нарушения фузии // Физиология человека. 2010. Т. 36. № 3. С. 135–137.

5. Howard I.P., Rogers B.J. Perceiving in depth. Vol. 2. Stereoscopic vision. Oxford: Oxford University Press, 2012. 635 p.

Nadezhda N. Vasilyeva, Galina I. Rozhkova, Maria A. Gracheva

AMBIGUOUS PERCEPTION OF SIZE AND SPATIAL POSITIONS OF VIRTUAL STEREO OBJECTS

Nadezhda N. Vasilyeva, PhD, Sc. D. (Biology), assistant professor

E-mail: nn_vasilyeva@mail.ru

Institute for Information Transmission Problems RAS

Galina I. Rozhkova, PhD, Sc. D. (Biology), PhD (Physical and Mathematical Sciences), professor

E-mail: gir@iitp.ru

Institute for Information Transmission Problems RAS

Maria A. Gracheva, PhD (Biology)

E-mail: mg.iitp@gmail.com

Institute for Information Transmission Problems RAS

Taking into consideration essential differences between individuals in emotional responses and descriptions of visual images evoked by identical stimuli in identical conditions of stereovision assessment, we decided to perform a special investigation aimed at classification of spectators according to certain peculiarities of their stereoscopic perception. Experiments were based on computer measure of fusional reserves. The procedure was similar to observation of a stereo movie fragment with an object coming out of screen to spectator and reducing in size. Subjects were 35 adults aged 18–79 yr. According to the data obtained, the subjects could be divided into 4 types, at least. Only one fourth of the subjects perceived virtual stereo objects moving to them and changing in size as was predicted by stereography rules.

In most subjects, the perceived stereo images retained their size and position in the center of the monitor screen despite significant increase in the stimulus screen parallax. Moreover, in 5 subjects, the perceived stereo images moved backward into the space behind the screen. Questioning of the subjects revealed correlation between the types of stereovision determined in our experiments and the probability of feeling discomfort while viewing stereo movies.

Key words: stereoscopic vision, types of stereoscopic perception, visual discomfort, fusional reserves.

REFERENCES

1. Bol'shakov A.S., Rozhkova G.I. Interaktivnaya testovaya programma dlya otsenki sostoyaniya i trenirovki fuzionnykh mekhanizmov binokulyarnogo zreniya FUZIYa. Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlya EVM № 2013610975 ot 09.01.2013.

2. Vasil'eva N.N., Rozhkova G.I. Vozrastnaya dinamika fuzionnykh rezervov, izmerennykh pri pomoshchi tsiklopicheskikh test-ob»ektov s markerami // *Sensornye sistemy*. 2009. Vol. 23. No 1. P. 40–50.

3. Rozhkova G.I. Binokulyarnoe zrenie // *Fiziologiya zreniya / Pod red. A.L. Byzova*. M.: Nauka, 1992. P. 586–664.

4. Rozhkova G.I., Vasil'eva N.N. Komp'yuternyi metod otsenki fuzionnykh rezervov s ob'ektivnym kontrolem narusheniya fuzii // *Fiziologiya cheloveka*. 2010. Vol. 36. No 3. P. 135–137.

5. Howard I.P., Rogers B.J. *Perceiving in depth*. Vol. 2. Stereoscopic vision. Oxford: Oxford University Press, 2012. 635 p.

УДК: 778.534.1

ББК: 37.95

Анциферова А.В., Ватолин Д.С.

ПРОГНОЗИРУЕМАЯ ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ДИСКОМФОРТА ЗРИТЕЛЕЙ, ВЫЗЫВАЕМОГО ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ, ЦВЕТОВЫМИ И ВРЕМЕННЫМИ ИСКАЖЕНИЯМИ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОГО ВИДЕО, ДЛЯ 60 СНЯТЫХ СТЕРЕОФИЛЬМОВ

Анциферова Анастасия Всеволодовна

E-mail: aantsiferova@graphics.cs.msu.ru

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Ватолин Дмитрий Сергеевич, кандидат физико-математических наук

E-mail: dmitriy@graphics.cs.msu.ru

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

В настоящее время большое количество фильмов производится в стереоскопическом формате. Однако многие фильмы, выходящие в прокат, содержат искажения, вызывающие дискомфорт при просмотре. Для контроля качества производимых стереоскопических видео существуют автоматические алгоритмы, оценки которых не отражают степень болезненности анализируемых искажений для зрителей. Данная работа посвящена созданию метода прогнозирования степени дискомфорта зрителей, который может возникнуть при просмотре стереофильмов, содержащих геометрические, цветовые и временные искажения ракурсов. Предложенная модель была применена для анализа 60 полнометражных стереофильмов, который показал, что даже среди низкобюджетных фильмов

существуют фильмы, при просмотре которых зрители не почувствуют дискомфорта.

Ключевые слова: дискомфорт от просмотра стереофильмов, прогнозирование дискомфорта зрителей, контроль качества, восприятие стереофильмов.

ВВЕДЕНИЕ

С каждым годом доля стереофильмов, производимых методом стереокиносъёмки, падает по сравнению с фильмами, конвертированными в стереоформат. Одним из сложных производственных процессов стереокиносъёмки является калибровка камер, ошибки при которой вызывают искажения в стереокадрах. Сцены стереофильма, содержащие такие искажения, могут вызывать дискомфорт или даже головную боль при просмотре. Для сокращения количества стереоскопических искажений в выходящих в прокат стереофильмах требуется проведение тщательного контроля качества стереоскопического контента на этапе его производства. Для нахождения и исправления подобных искажений существуют автоматические алгоритмы, которые могут значительно упростить процесс валидации качества фильма в процессе производства. Однако в случае необходимости исправления большого количества сцен в короткие сроки важно в первую очередь определить и исправить те из них, которые потенциально могут вызвать бóльший дискомфорт при просмотре. Создание метода прогнозирования степени дискомфорта зрителей на основе технического качества данного фильма является целью данной работы. Данный инструмент может также использоваться для валидации субъективного качества вышедших в прокат стереофильмов с целью определения рекомендаций к просмотру данных фильмов.

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ

Существует множество исследований причин дискомфорта зрителей: ошибки асинхронного кодирования стереоскопического видео, потеря данных одного из ракурсов при трансляции, влияние объёма сцены и скорости движения объектов. Но лишь малая часть работ посвящена анализу искажений, возникающих при стереоскопической съёмке. В таблице 1 представлены проведённые в мире эксперименты по исследованию причин дискомфорта при просмотре

Таблица 1

Эксперименты, проведённые в рамках исследований причин появления дискомфорта у зрителей при просмотре стереоскопического видео

Университет	Кол-во участников	Длительность, мин	Год	Технология показа	Демонстрируемые видео
Catholic University of Korea [13]	20	18	2011	Пассивная	Снятые S3D послед., разл. параллакс и движение
Telecom Innovation Labs [9]	24	50	2011	Активная	База S3D видео, разл. параллакс
Philips Research Labs [8]	24	24	2011	Автостереоскопическая	Стереофильм (конвертирование), разл. параллакс
Beijing Institute of Ophthal [18]	30	30	2012	Активная, пассивная	Стереофильм (снятый)
LUNAM University [14]	29	28	2012	Активная	База S3D видео, 10 типов деградаций
Tampere University of Tech. [11]	10	45	2013	Пассивная	Снятые S3D послед., разл. кодирование
LUNAM and Yonsei U., Acreo Inst. [3]	29, 28, 48	29	2013	Активная, пассивная	База S3D видео, 10 типов деградаций
Roma Tre University [17]	854	~90	2014	Пассивная	Опрос после просмотра стереофильмов в кинотеатрах
Yonsei University [7]	56	10,5	2014	Автостереоскопическая	База S3D видео, разл. SI/TI
University College Dublin [16]	4 для кажд. видео	5,5	2015	Активная	База S3D видео, имитирование потерь при трансляции

Окончание таблицы 1

University of British Columbia [2]	88	35	2015	Пассивная	База S3D видео, разл. SI/TI, кодирование
University North [5]	18	8	2016	Активная	База S3D видео, 22 типа деградаций (кодир., размер, геометрич. и др.)
МГУ им. Ломоносова [1]	302	40	2017	Пассивная	Сцены из снятых стереофильмов, 4 типа искажений, 5 уровней интенсивности

тре стереоскопического видео. В большинстве работ участникам демонстрируются либо синтетические видеопоследовательности, либо видео, снятые на непрофессиональные стереокамеры. Лишь в нескольких исследованиях эксперименты проводились с использованием фрагментов из реальных фильмов, однако, в них оценивалось только общее состояние участников до и после просмотра видео. В последней строке таблицы 1 представлена информация об экспериментах, проведённых в рамках данной работы.

ПРЕДЛОЖЕННЫЙ МЕТОД

В данной работе предложен метод прогнозирования дискомфорта у среднестатистического зрителя, вызываемого просмотром стереофильмов, содержащих артефакты стереоскопической съёмки. В работе исследуются следующие 4 типа стереоскопических искажений:

- поворот одного из ракурсов относительно другого,
- несоответствие масштаба ракурсов,
- несоответствие ракурсов по цвету,
- временной сдвиг между ракурсами.

Поставленная задача формулируется следующим образом: по данным физическим признакам и показателям технического качества стереоскопического видео необходимо дать оценку степени дискомфорта среднестатистического зрителя, который может возникнуть при просмотре данного видео. Алгоритм на вход должен

принимать значения $\{X_i^k\}_{i=1, N; k=1, S}$ стереоскопических искажений и физические признаки стереофильма, а на выходе выдавать оценку потенциального уровня дискомфорта зрителей для сцен стереофильма $\{Y_k\}_{k=1, S}$, где N — количество используемых показателей (искажений и признаков видео), S — количество сцен фильма.

ОПИСАНИЕ ДАННЫХ ДЛЯ СОЗДАНИЯ МОДЕЛИ ДИСКОМФОРТА

Разработка алгоритма проводилась с использованием данных, полученных в результате проведения серии экспериментов по оценке субъективного восприятия стереоскопических искажений в стереофильмах. Методика проведённых экспериментов и основные выводы подробно описаны в работе [1]. В результате для 60 фрагментов из художественных стереофильмов были получены оценки дискомфорта, к которым затем искусственно были добавлены 4 исследуемых типа искажений с различной интенсивностью. После просмотра каждой сцены зрителям предлагалось оценить уровень дискомфорта, который они испытали во время просмотра, по дискретной шкале от 0 до 4. В эксперименте приняли участие 302 человека, каждый из них посмотрел все 60 подготовленных фрагментов.

Прогнозируемая оценка уровня дискомфорта построена на основе значений алгоритмов, реализованных в программном комплексе VQMT3D [15].

ПОДГОТОВКА ДАННЫХ

Среди используемых в данной работе показателей для анализа стереофильма помимо величин искажений стереокадра присутствуют также такие признаки видео, как яркость, скорость движения, глубина сцены. Так как некоторые признаки вычисляются для левого и правого ракурсов стереокадра, их значения коррелированы, как и значения многих показателей достоверности результатов работы алгоритмов, которые часто основаны на точности компенсации левого и правого ракурсов при построении карты глубины.

В связи с коррелированностью признаков, использование всех показателей избыточно и может снизить точность работы метода. Для дальнейшего использования совместно с обучением различных моделей были выбраны 5 методов отбора признаков, основанных на выборе значимых признаков по результатам обучения моделей, на основе взаимной информации с целевым значением (величины дискомфорта зрителей), на основе кластеризации пространства признаков, а также две комбинации признаков, выбранных вручную при анализе взаимной корреляции. Лучшие результаты показали:

— метод на основе выбора лучших признаков по значениям взаимной информации с откликом;

— метод на основе выбора по лучшей точности при обучении ансамбля деревьев решений на подпространствах признаков различной размерности.

Оба метода отмечают значения несоответствия по резкости, временному сдвигу и достоверности значений геометрических искажений как одних из самых значимых признаков.

Из полученных с помощью проведённых экспериментов ответов были исключены аномалии — ответы участников, которые сильно отличаются от остальных, являются шумом в полученных данных. Для определения таких респондентов были применены следующие методы:

- метод эллипсоидальной аппроксимации [12];
- метод изолирующего леса [10];
- метод обнаружения локальных аномалий [4];
- кластеризация с помощью метода DBScan [6], использующего информацию о плотности данных.

Первые три метода после обучения на входных данных вычисляют значения степени «аномальности» наблюдаемых точек. Чем это значение меньше, тем более вероятно, что наблюдение является выбросом в имеющихся данных. Четвёртый метод присваивает метки выделенных кластеров и метку «-1» для шумовых некластеризованных наблюдений. Кластеризация проводилась на основе следующих признаков:

— средняя оценка и отклонение значения дискомфорта участника за всё время эксперимента (mean opinion score, MOS);

— разница между оценкой участника для видео без искажения и для видео с искажением (differential mean opinion score, DMOS).

Сравнение среднего значения доверительных интервалов ответов участников

	Без исключения аномалий	Elliptic Envelope (EE)	Isolation Forest (IF)	Local Outlier Factor (LOF)	EE+IF+LOF	DBScan
Средняя величина доверительного интервала	0,0948	0,0942	0,0933	0,0934	0,0939	0,0959

Последний признак характеризует оценку дискомфорта участника для сцен с искажениями, нормированными на исходную сцену без добавления искажения, и вычисляется для похожих видеофрагментов, которые были взяты из одной сцены стереофильма.

Результаты оценены при помощи сравнения среднего значения доверительного интервала оценок дискомфорта в сценах. По результатам сравнения испробованных алгоритмов (табл. 2), наибольшее уменьшение величины доверительного интервала для уровня дискомфорта сцен было обеспечено алгоритмом изолирующего леса (Isolation Forest). Он основан на разбиении пространства точек на области, при построении которого аномальные точки становятся листьями дерева разбиения, имеющими наименьшую глубину. С помощью метода изолирующих деревьев были исключены ответы 5% участников (6 человек), посмотревших тестовое видео с прямым порядком следования сцен, и также 5% участников (13 человек), посмотревших видео с обратным порядком следования сцен.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИСКОМФОРТА ЗРИТЕЛЕЙ

Для решения поставленной задачи регрессии были применены алгоритмы машинного обучения на обработанных экспериментальных данных. Так как во время эксперимента зрители отмечали уровень дискомфорта после просмотра каждой короткой сцены тестового стереофильма, для покaдровых значений признаков технического качества были вычислены средние значения по сценам. Для задачи прогнозирования степени дискомфорта среднестатистического зрителя были применены 13 методов, в том числе линейные

модели, модели, основанные на опорных векторах и решающих деревьях. Каждый из методов был протестирован с различными параметрами и в комбинации с различными методами выбора признаков. Тестирование проводилось с помощью кросс-валидации с разбиением выборки на 5 частей. Так как распределение полученных средних оценок не равномерно, для равномерного вхождения более редких оценок в кросс-валидационные подвыборки разбиение проводилось с учётом распределения всех оценок на группы по процентилям. На полученной стратифицированной кросс-валидационной выборке было протестировано более 30000 конфигураций. В таблице 3 представлены результаты для разных моделей с параметрами, показавшими лучшие результаты в комбинации с методами выбора признаков.

Лучший результат показала линейная модель регрессии с функцией потерь Хьюбера и L2-регуляризацией. Также хорошие результаты показали метод Ридж-регрессии, в котором также используется L2-регуляризация, и линейная модель с оценочной функцией Тейла—Сена, которая, так же как и функция потерь Хьюбера, устойчива к выбросам. При решении задачи регрессии методом наименьших квадратов проводится минимизация разницы между заданным и оценённым моделью значениями. Использование функции Хьюбера от значения разницы позволяет накладывать меньший штраф на точки с большим отклонением, что позволяет избежать переобучения на данных с шумом. Для того чтобы избежать ситуации переобучения, дополнительно использовалась L2-регуляризация, накладывающая штраф на параметры. Итоговая функция потерь имеет следующий вид:

$$\min_{\omega, \sigma} \sum_{k=1}^s \left(\sigma + H_m \left(\frac{X^k \omega - Y_k}{\sigma} \right) \sigma \right)^2 + a \|\omega\|_2^2,$$

где H_m — функция Хьюбера

$$H_m = \begin{cases} z^2, & |z| < \epsilon \\ Z \in |z| - \epsilon^2, & |z| \geq \epsilon \end{cases},$$

ω — искомые параметры регрессии (вектор весов), σ — масштабирующий параметр модели, a — параметр регуляризации.

Таблица 3

Точность работы различных моделей для оценки степени дискомфорта зрителей при обучении и валидации на полученных данных

Название модели	Коэффициент детерминации при обучении	Коэффициент детерминации при валидации	Выбор признаков
Регрессия с функцией потерь Хьюбера и L2-регуляризацией	0,925±0,008	0,846±0,066	10 лучших признаков по взаимной информации
Ридж-регрессия	0,936±0,008	0,842±0,073	12 лучших признаков по взаимной информации
Регрессия с оценочной функцией Тейла—Сена	0,917±0,033	0,783±0,105	10 лучших признаков по взаимной информации
Линейная регрессия	0,945±0,009	0,771±0,139	10 признаков на основе градиентного бустинга над деревьями
Лассо	0,84±0,019	0,767±0,159	12 признаков на основе градиентного бустинга над деревьями
Регрессия с L1- и L2-регуляризацией (ElasticNet)	0,801±0,208	0,726±0,158	8 признаков на основе градиентного бустинга над деревьями
Метод опорных векторов	0,985±0,002	0,633±0,111	8 лучших признаков по взаимной информации
Градиентный бустинг над деревьями решений	0,989±0,001	0,517±0,427	12 признаков на основе кластеризации
Метод ближайших соседей	0,639±0,088	0,495±0,159	4 лучших признака по взаимной информации

Дополнительно было проведено исследование влияния на точность модели количества признаков совместно с параметром регуляризации a , при котором лучшая точность на валидацион-

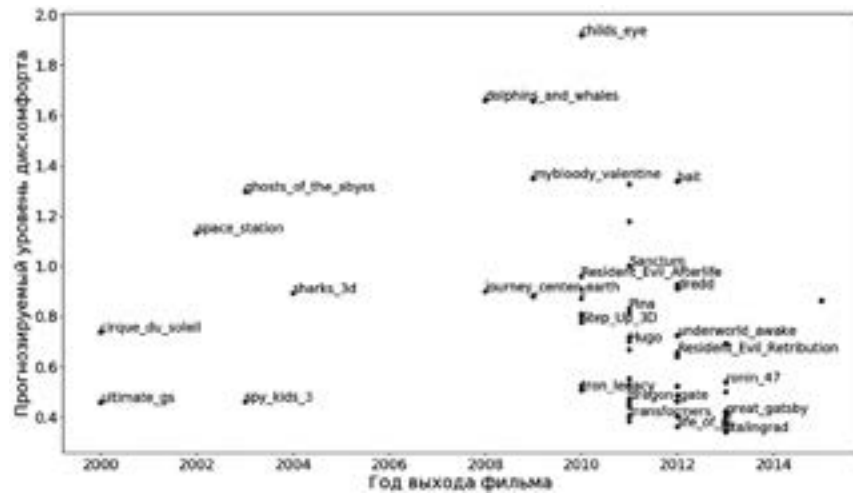


Рис. 2. Прогнозируемый уровень дискомфорта в зависимости от года выхода фильма в прокат. 2009 год — год, когда в прокат вышел фильм «Аватар»

ракурса, или, как в случае с документальными фильмами, из-за необходимости создания дополнительных ракурсов из имеющихся однокурсовых видеозаписей. Для улучшения точности прогноза дискомфорта планируется найти и исключить из анализа конвертированные сцены.

На рис. 1 и 2 отражены зависимости прогнозируемого уровня дискомфорта зрителей при просмотре стереофильма от бюджета его производства и от года выхода фильма в прокат.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе предложен метод прогнозирования степени дискомфорта зрителей, возникающего при просмотре стереофильмов. Разработанная модель оценки дискомфорта использует технические данные качества стереофильма. Точность предложенного метода оценки дискомфорта на тестовой выборке составила 0,881. Предложенный метод был применен для анализа 60 стереофильмов, произведённых методом стереосъёмки. Анализ показал наличие зависимости между прогнозируемой степенью дискомфорта зрителей и бюджетом производства стереофильма, а также то, что существуют стереофильмы, которые потенциально не будут вызы-

вать дискомфорт у большинства зрителей и имеют при этом средний объём бюджета производства. Разработанный программный комплекс может быть востребован стереографами, как автоматическое средство контроля качества стереофильма, учитывающее восприятие ошибок стереоформата зрителями. Также предложенный метод может быть использован для выработки рекомендаций по просмотру стереофильмов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анциферова А.В., Ватолин Д.С., Звездаков С.В. Исследование влияния геометрических, цветовых и временных искажений стереоскопического видео на дискомфорт зрителей // Мир техники кино. 2017. № 2. С. 8–12.
2. Amin B.-D., Mahsa P., Panos N. An efficient human visual system based quality metric for 3d video // Multimedia Tools and Applications. 2016. Vol. 75. No. 8. P. 4187–4215.
3. Barkowsky M., Li J., Han T. et al. Towards standardized 3d tv qoe assessment: Cross-lab study on display technology and viewing environment parameters // Stereoscopic Displays and Applications XXIV / International Society for Optics and Photonics. Vol. 8648. 2013. P. 864809.
4. Breunig M.M., Kriegel HG.-P., Ng R.T. Jörg Sander Lof: identifying density-based local outliers // ACM sigmod record / ACM. Vol. 29. 2000. P. 93–104.
5. Dumic E., Grgic S., Sakic K. et al. 3d video subjective quality: a new database and grade comparison study // Multimedia tools and applications. 2017. Vol. 76. No 2. P. 2087–2109.
6. Ester M., Kriegel H.-P., Sander J. et al. A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise // Kdd. Vol. 96. 1996. P. 226–231.
7. Kim T., Kang J., Lee S., Bovik A.C. Multimodal interactive continuous scoring of subjective 3d video quality of experience // IEEE Transactions on Multimedia. 2014. Vol. 16. No 2. P. 387–402.
8. Lambooi M., IJsselsteijn W.A., Heynderickx I. Visual discomfort of 3d tv: Assessment methods and modeling // Displays. 2011. Vol. 32. No 4. P. 209–218.

9. Lebreton P., Raake A., Barkowsky M., Le Callet P. Evaluating depth perception of 3d stereoscopic videos // IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing. 2012. Vol. 6. No 6. P. 710–720.

10. Liu F. T., Ting K. M., Zhou Z.-H. Isolation forest // Data Mining, 2008. ICDM'08. Eighth IEEE International Conference on / IEEE. 2008. P. 413–422.

11. Payman A., Miska H., Moncef G. Subjective quality assessment of asymmetric stereoscopic 3d video // Signal, Image and Video Processing. 2015. Vol. 9. No 2. P. 331–345.

12. Rousseeuw P.J., Van D.K. A fast algorithm for the minimum covariance determinant estimator // Technometrics. 1999. Vol. 41. No 3. P. 212–223.

13. Sang-Hyun C., Hang-Bong K. An assessment of visual discomfort caused by motion-in-depth in stereoscopic 3d video // BMVC. 2012. P. 1–10.

14. Urvoy M., Barkowsky M., Cousseau R. et al. Nama3ds1-cospad1: Subjective video quality assessment database on coding conditions introducing freely available high quality 3d stereoscopic sequences // Quality of Multimedia Experience (QoMEX), 2012 Fourth International Workshop on / IEEE. 2012. P. 109–114.

15. Voronov A., Vatolin D., Sumin D. et al. Methodology for stereoscopic motion-picture quality assessment // Proc. SPIE. Vol. 8648. 2013. P. 864810.

16. Yi H., Zhenhui Y., Gabriel-Miro M. Extended no reference objective quality metric for stereoscopic 3d video // Communication Workshop (ICCW), 2015 IEEE International Conference on / IEEE. 2015. P. 1729–1734.

17. Zeri F., Livi S. Visual discomfort while watching stereoscopic three-dimensional movies at the cinema // Ophthalmic and Physiological Optics. 2015. Vol. 35 No 3. P. 271–282.

18. Zhang L., Zhang Y.-Q., Zhang J.-S. et al. Visual fatigue and discomfort after stereoscopic display viewing // Acta ophthalmologica. 2013. Vol. 91. No 2.

Anastasija V. Antsiferova, Dmitry S. Vatolin

ESTIMATED DEGREE OF VIEWERS' DISCOMFORT CAUSED BY GEOMETRIC, COLOR AND TEMPORAL DISTORTIONS OF STEREOSCOPIC VIDEO FOR 60 STEREOSCOPIC MOVIES

Anastasija V. Antsiferova

E-mail: aantsiferova@graphics.cs.msu.ru

Lomonosov Moscow State University

Dmitry S. Vatolin, PhD (Physical and Mathematical Sciences)

E-mail: dmitriy@graphics.cs.msu.ru

Lomonosov Moscow State University

Today, a large number of movies are produced in a stereoscopic format. However, many released stereoscopic movies contain distortions that cause discomfort when viewing. Controlling the quality of produced stereoscopic movies could help to avoid such distortions. Despite the fact that there are algorithms for automatic estimation of stereoscopic video quality, they do not estimate viewers discomfort degree. The aim of this investigation is to create a method for predicting the degree of viewers' discomfort, which is caused by viewing stereoscopic movies that contain geometric, color and temporal distortions. The proposed model was used to analyze 60 feature-length stereoscopic movies, and the results showed that even low-budget films could cause no significant discomfort for viewers.

Key words: 3d movies, stereoscopic movies, discomfort, viewers discomfort, subjective stereoscopic video quality.

REFERENCES

1. Antsiferova A.V., Vatolin D.S., Zvezdakov S.V. Issledovanie vliyaniya geometricheskikh, tsvetovykh i vremennykh iskazhenii stereoskopicheskogo video na diskomfort zritelei // Mir tekhniki kino. 2017. No 2. P. 8–12.

2. Amin B.-D., Mahsa P., Panos N. An efficient human visual system based quality metric for 3d video // Multimedia Tools and Applications. 2016. Vol. 75. No. 8. P. 4187–4215.

3. Barkowsky M., Li J., Han T. et al. Towards standardized 3d tv qoe assessment: Cross-lab study on display technology and viewing environment parameters // Stereoscopic Displays and Applications

XXIV / International Society for Optics and Photonics. Vol. 8648. 2013. P. 864809.

4. Breunig M.M., Kriegel H.G.-P., Ng R.T. J'org Sander Lof: identifying density-based local outliers // ACM sigmod record / ACM. Vol. 29. 2000. P. 93–104.

5. Dumic E., Grgic S., Sakic K. et al. 3d video subjective quality: a new database and grade comparison study // Multimedia tools and applications. 2017. Vol. 76. No 2. P. 2087–2109.

6. Ester M., Kriegel H.-P., Sander J. et al. A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise // Kdd. Vol. 96. 1996. P. 226–231.

7. Kim T., Kang J., Lee S., Bovik A.C. Multimodal interactive continuous scoring of subjective 3d video quality of experience // IEEE Transactions on Multimedia. 2014. Vol. 16. No 2. P. 387–402.

8. Lambooij M., IJsselsteijn W.A., Heynderickx I. Visual discomfort of 3d tv: Assessment methods and modeling // Displays. 2011. Vol. 32. No 4. P. 209–218.

9. Lebreton P., Raake A., Barkowsky M., Le Callet P. Evaluating depth perception of 3d stereoscopic videos // IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing. 2012. Vol. 6. No 6. P. 710–720.

10. Liu F. T., Ting K. M., Zhou Z.-H. Isolation forest // Data Mining, 2008. ICDM'08. Eighth IEEE International Conference on / IEEE. 2008. P. 413–422.

11. Payman A., Miska H., Moncef G. Subjective quality assessment of asymmetric stereoscopic 3d video // Signal, Image and Video Processing. 2015. Vol. 9. No 2. P. 331–345.

12. Rousseeuw P.J., Van D.K. A fast algorithm for the minimum covariance determinant estimator // Technometrics. 1999. Vol. 41. No 3. P. 212–223.

13. Sang-Hyun C., Hang-Bong K. An assessment of visual discomfort caused by motion-in-depth in stereoscopic 3d video // BMVC. 2012. P. 1–10.

14. Urvoy M., Barkowsky M., Cousseau R. et al. Nama3ds1-cospad1: Subjective video quality assessment database on coding conditions introducing freely available high quality 3d stereoscopic sequences // Quality of Multimedia Experience (QoMEX), 2012 Fourth International Workshop on / IEEE. 2012. P. 109–114.

15. Voronov A., Vatolin D., Sumin D. et al. Methodology for stereoscopic motion-picture quality assessment // Proc. SPIE. Vol. 8648. 2013. P. 864810.

16. Yi H., Zhenhui Y., Gabriel-Miro M. Extended no reference objective quality metric for stereoscopic 3d video // Communication Workshop (ICCW), 2015 IEEE International Conference on / IEEE. 2015. P. 1729–1734.

17. Zeri F., Livi S. Visual discomfort while watching stereoscopic three-dimensional movies at the cinema // Ophthalmic and Physiological Optics. 2015. Vol. 35 No 3. P. 271–282.

18. Zhang L., Zhang Y.-Q., Zhang J.-S. et al. Visual fatigue and discomfort after stereoscopic display viewing // Acta ophthalmologica. 2013. Vol. 91. No 2.

УДК 778.534.19
ББК 85.37

Голенко Г.Г.

СРАВНЕНИЕ КОНФИГУРАЦИЙ ШКАЛИРУЕМОГО И НИНИУСНОГО БИНОКУЛЯРНЫХ ЗРИТЕЛЬНЫХ ПРОСТРАНСТВ

Голенко Гергий Георгиевич, кандидат технических наук
E-mail: georgiy.golenko@mail.ru
ОАО «Спэйс Вижн»

В работе проведено сравнение конфигураций шкалируемого и нониусного бинокулярных зрительных пространств. Сравнение выполнено посредством сопоставления степеней конгруэнтности обоих пространств и выхода (захода) контрольных точек относительно горютера.

Ключевые слова: шкалируемое пространство, нониусное пространство, конгруэнтность, стереопсис.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность сравнения конфигураций двух бинокулярных зрительных пространств связана с тем, что их области существования близки и где-то сливаются, и с тем, что оба пространства в равной степени легитимны.

Количество испытуемых при определении параметров шкалируемого (по Пануму—Лавсону [6, 9]) бинокулярного зрительного пространства на конец XX века исчисляется десятками, а количество респондентов в экспериментах по определению нониусной стереоостроты на порядки больше. В этом нет ничего удивительного, поскольку изначально экспериментальное исследование

шкалируемого пространства носило, в основном, академический характер, а основными заказчиками исследований нониусного разрешения были артиллеристы. Дело в том, что в артиллерии двух мировых войн дистанция цели определялась дальнометристом с помощью оптического стереодальномера методом нониусного подравнивания марки. При этом, каждая армия применяла собственные данные по нониусному разрешению, что и определило такое количество экспериментов по нониусному подравниванию, по сравнению с которым число проведённых экспериментов по изучению шкалируемого пространства несопоставимо меньше.

Данные обстоятельства привели к тому, что абсолютное большинство современных, и российских, и зарубежных, исследователей и практиков, добросовестно заблуждаясь, применяет в расчётах бытового, повседневного шкалируемого стереопсиса параметры нониусного стереопсиса, при этом глубина шкалируемого пространства (в пределах одного знака диспаратности) составляет 20 угловых минут, а нониусного пространства — 30 угловых секунд, т. е., в 40 (!) раз меньше. В результате сложилась эклектическая смесь нежизнеспособных представлений и практических рекомендаций. Этот исторический казус автором был отмечен и критически прокомментирован в статьях [2, 3]. Первым, кто обратил внимание на эту ошибку и дал правильное толкование экспериментам по определению стереоостроты (маскирующее действие монокулярных стимулов удалённости), был Р. Фриман (1970) [8].

МЕТРИКА БИНОКУЛЯРНОГО НИНИУСНОГО ЗРИТЕЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА

Шкалируемое зрительное пространство G (gradation — градация, постепенность) исследовано относительно подробно [2, 3, 6]. Нониусное пространство N (nonius — верньер, дополнительная шкала, увеличивающая точность отсчёта в 10–20 раз) исследовалось по частям: отдельно фронтальная составляющая, лежащая в плоскости, перпендикулярной лучу зрения [6], и отдельно глубинная составляющая, лежащая в зрительной плоскости, задаваемой линией базиса и линией взора [7]. По существу, предшествующие исследователи разделили трёхмерное нониусное пространство, заданное тремя ортами на два независимых двумерных пространства, каждое из которых задаётся двумя ортами.

Шкалируемое бинокулярное пространство задаётся тремя ортами: X, Y, Z , где X, Y задают фронтальную плоскость, X, Z — зрительную плоскость. Поскольку нет никаких оснований считать, что пространственная ориентация нониусного пространства отличается от пространственной ориентации шкалируемого пространства, то можно утверждать, что орты одновременно задают метрику шкалируемого и нониусного бинокулярных зрительных пространств.

СРАВНЕНИЕ СТЕПЕНЕЙ КОНГРУЭНТНОСТИ ШКАЛИРУЕМОГО И НОНИУСНОГО БИНОКУЛЯРНЫХ ЗРИТЕЛЬНЫХ ПРОСТРАНСТВ

Идентичность метрик, пространственная компланарность и когнитивное родство зрительных пространств дают основание для сравнения их степеней конгруэнтности (congruous — гармонирующий, соответствующий). Степень конгруэнтности определяет наличие эволюционной согласованности глубины резкости зрачка с глубиной шкалируемого стереопространства. В статье [2] из уравнения конвертации угловой диспаратности в линейную (уравнение гороптера), было получено выражение для степени конгруэнтности C_g для шкалируемого пространства:

$$C_g = \frac{B\omega}{\eta d}, \quad (1)$$

где B — базис глаз, ω — угловое фронтальное разрешение глаз, d — диаметр зрачка глаза, η — предельное угловое значение диспаратности.

Из вышеизложенного следует, что степень конгруэнтности нониусного пространства определяется аналогично (1):

$$C_n = \frac{B\omega'}{\eta' d}, \quad (2)$$

где ω' — угловое фронтальное нониусное разрешение глаза, η' — угловое значение нониусной стереоостроты зрения.

Проведём численное сравнение степеней конгруэнтности зрительных пространств. Подставляя в уравнения (1) и (2) значения $B = 65$ мм, $d = 4$ мм, $\omega = 1'$ [5, с. 328], $\omega' = 1,5''$ [6, с. 24], $\eta = 22,8'$ [9], $\eta = 30''$ [7], получим:

$$C_g = 0,7127, \quad (3)$$

$$C_n = 0,8125. \quad (4)$$

Полученное значение $C_g = 0,7127$ [2] отличается от результата Люшера [10], равного

$$C_g = 0,9286. \quad (5)$$

Отличие значения $C_g = 0,7127$, от полученного Люшером [10] объясняется тем, что у Люшера базис глаз и фронтальное разрешение шкалируемого пространства совпадают с аналогичными значениями, принятыми при расчёте (3), но при этом диаметр зрачка в 2 раза меньше, а глубина шкалируемого пространства в 1,75 раза больше. Уменьшение диаметра зрачка естественно увеличивает глубину резкого бинокулярного пространства посредством подавления диплопии (двоения) бинокулярного пространства, что аналогично увеличению предельной диспаратности. Таким образом, результат Люшера вполне логичен и закономерен.

Очевидно, что численные значения C_g, C_n тяготеют к единице, что свидетельствует о тесной, органической связи фронтальных нониусных и шкалируемых бинокулярных пространств. Разброс численных значений C_g, C_n подтверждает факт неопределённости выбора биометрических параметров зрительной системы. В самом деле, декларирование величины глазного базиса в 65 мм не может не вызывать вопросов, поскольку значительная часть людей имеет глазной базис больше 70 мм. Точность определения остальных биометрических параметров приблизительно на таком же уровне.

ВНУТРЕННЯЯ СТРУКТУРА ЗРИТЕЛЬНЫХ ПРОСТРАНСТВ

Термин «зрительное пространство», тем более термин «бинокулярное зрительное пространство», подразумевает наполнение данного пространства стереоскопическими, когнитивно осмысленными зрительными образами, в той либо иной степени соответствующих реальным физическим объектам, заполняющим данное пространство. Соответствие зрительных образов их физическим прототипам определяется законами стереопсиса (чувственным соответствием). Если наполнение образами шкалируемого (обы-

денного) пространства вопросов не вызывает, то с нониусным пространством всё обстоит несколько сложнее. В самом деле, шкалируемое пространство названо шкалируемым, потому что в его пределах работает психофизическая зависимость Лавсона [2; 9, рис. 2], ставящая во взаимно-однозначное соответствие (в линейную зависимость) психологическую величину «ощущение видимой глубины», определяемую перцептивно, и диспаратность — величину физическую, измеряемую инструментально.

Таким образом, зависимость Лавсона достойно дополняет ряд психофизических зависимостей, таких как «светлота — яркость», «громкость — звуковое давление».

С нониусным пространством всё гораздо сложнее. Несмотря на более чем вековое массовое визуальное применение нониусного пространства, до сих пор нет убедительных доказательств того, что нониусное пространство наполнено так же, как и шкалируемое, зрительными образами, т. е., является именно зрительным, когнитивным, а не чисто сенсорным, вспомогательным, «служебным», функция которого сугубо прикладная. Косвенным подтверждением того, что нониусное пространство не зрительное, является факт отсутствия массовых тиражей газет размером с банковскую карточку и широкого распространения шахматных досок размером с почтовую марку.

Но может быть дело в том, что нониусные зрительные образы плохо искали? Известно, что минимальным пространственно-протяжённым «образованием» шкалируемого пространства является фиксационная диспаратность или «корочка» гороптера — область пространства, которую из-за спорадических движений глаз (зрительных направлений) невозможно зафиксировать. Размер этой области относительно гороптера составляет $\pm 5'$ (отметим, что в [9] фиксационная диспаратность не обозначена, это, по всей видимости, связано с тем, что данная величина в экспериментальном контексте [9] не является значимой величиной). Зрительное наполнение шкалируемого пространства приблизительно начинается именно с этой точки ($4, 2'$) зависимости Лавсона [9] и продолжает сохранять свою линейность до конца зависимости (точка $22, 8'$).

Аналогичной точки и психофизической зависимости в нониусном пространстве (пока) нет. Однако в нониусном пространстве

есть выделенная максимальная стереоострота в $5''$, которая явно указывает на наличие физиологического порога нониусного стереовосприятия [2, рис. 1]. Может стоит поискать нониусный гороптер?

Рассмотрим распределение остроты стереозрения у группы респондентов из 117 человек [7]. 80% респондентов обладает стереоостотой $30''$, и только 10% обладает стереоостротой в $5''$, т. е. 12 человек из 117 человек. С учётом репрезентативности респонденты, обладающие сверхразрешением, не редкость. Если провести соответствующий отбор среди респондентов, то можно набрать соответствующую репрезентативную группу.

ГОРОПТЕРЫ ЗРИТЕЛЬНЫХ ПРОСТРАНСТВ. СТЕРЕОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ

После того, как нам удалось собрать (виртуально) репрезентативную группу респондентов, необходимо построить гороптер нониусного пространства. Если нам это удастся, то это будет означать, что нониусное пространство, как и шкалируемое, является зрительным, со всеми вытекающими последствиями. При этом задачи определения стереоостроты [7] и построения гороптера [6] — теоретически и экспериментально принципиально разные. Другими словами, мы просто мысленно «позаимствовали» из [7] группу волонтеров с исключительными стереоспособностями для решения родственных, но всё-таки других задач.

Определение стереоостроты классически осуществляется трёхштырьковым методом. Виртуальная линия, соединяющая крайние штырьки, называется визирной или линией подравнивания. Задача испытуемого состоит в том, что посредством механического либо оптического перемещения контрольного третьего штырька (либо его изображения) добиться минимального, но перцептивно читаемого отстояния последнего от линии визирования.

Экспериментальное определение гороптера происходит иначе. Способ построения гороптера — принципиально двухштырьковый. Первый, зрительно бификсируемый правым и левым главными бинокулярными зрительными направлениями, по определению расположен на гороптере [3, рис. 2; 6, рис. 3.7]. Вторым, контрольный штырь расположен вне гороптера. Задача испытуемого состоит в одновременном зрительном удержании фиксируемого и контроль-

ного штыря. При этом контрольный штырь остаётся на месте (на гороптере), а первый штырь может перемещаться как по фронту, так и по глубине. В это время испытуемый комментирует видимое изображение штырей (вижу резкими оба штыря, вижу резким только бификсируемый штырь, видимая глубина сцены перцептивно такая-то). Таким образом, испытуемый решает две задачи: определяет угловые границы зон стереопсиса и строит психофизическую функцию «видимая глубина — диспаратность».

Но это чисто теоретически, потенциально. А практически, построение гороптера требует от испытуемого больших перцептивных усилий (количество испытуемых за сто лет измеряется всего лишь десятками), и поэтому организационно построение гороптера и психофизической функции выделены в отдельные экспериментальные задачи.

Выполним численное исследование геометрического (теоретического) гороптера, построенного как окружность Вайс (Вис, Вич) — Мюллера [6]. Экспериментальные значения пороговых значений диспаратностей взяты из [7, 9]. Обозначение шкалируемого пространства будет «по Лавсону», обозначение нониусного пространства будет «нониус». Численные расчёты произведены по формуле гороптера [1, с. 328]:

для точек перед гороптером (выход)

$$\Delta_+ = \frac{\eta D^2}{B + \eta D}, \quad (6)$$

для точек за гороптером (заход)

$$\Delta_- = \frac{\eta D^2}{B - \eta D}, \quad (7)$$

где Δ_+ , Δ_- — величина выхода (захода) точки, η — значение диспаратности в радианах, D — расстояние до точки фиксации, $B = 65$ мм — размер глазного базиса.

Определим расстояние до точки фиксации, при котором зрительные направления только начинают дивергировать в пространстве по Лавсону для крайней точки (0,38 градуса) одноимённой зависимости. Для этого приравняем нулю знаменатель

(6) или (7). Получаем значение 9,8 м. При этом выход составляет 4,9 м; заход — бесконечность. Для начальной точки (0,07 градуса) выход составит 1,52 м, а заход будет равен 2,147 м, что практически равно $-\infty$ и примерно соответствует конфигурации кинозала Фидия [4].

Рассмотрим результаты для «нониуса» в той же геометрии (удаление точки фиксации 9,8 м). При расстоянии до точки фиксации 9,8 м, при стереорезкости 5", выход равен 0,0357 м, а заход — 0,036 м. Для точки 30", выход — 0,21 м, заход — 0,22 м.

Рассмотрим пространство по Лавсону при точке фиксации на удалении наилучшего зрения 0,25 м. Для точки 0,07 градуса, выход составляет 1,167 мм, а заход — 1,178 мм. Для точки 0,38 градуса, выход равен 6,2 мм, а заход — 6,5 мм.

Для «нониуса» в той же геометрии, когда удаление точки фиксации составляет 0,25 м и при стереорезкости 5", выход равен 0,0015 мм, заход — 0,023 мм. А для точки 30" выход увеличится до 0,139 мм, заход — 0,14 мм.

Из приведённых расчётных данных следует, что с ростом значения порога стереовосприятия глубина стереопространства возрастает. Однако такой подход «затеняет» физику процесса. Представляется целесообразным введение величины стереочувствительности S -угловой плотности зрительных направлений:

$$S = \frac{1}{\eta},$$

где η — пороговое либо текущее значение диспаратности.

При таком определении становится понятным, что стереочувствительность есть мера взаимного неприятия, отторжения, взаимного сенсорного антагонизма зрительных направлений правого и левого монокулярных зрительных пространств. Это не метафора. Не надо забывать, что за каждым зрительным направлением, согласно теории знаков, стоит фоторецептор. В самом деле, антагонизм лавсоновских пространств не велик, поскольку угловое расстояние между антагонизирующими зрительными направлениями относительно велико (велики значения выхода и захода), каждое направление в своём монокулярном пространстве имеет достаточ-

но большое сенсорное пространство. Иная картина в нониусном пространстве. Там антагонизм зрительных направлений монокулярных пространств крайне велик, поскольку направления практически прижаты друг к другу (величины выхода и захода крайне малы). Перефразируя Воюнда, можно сказать: «Диспаратный вопрос их (зрительные направления) испортил». Единственное место, где все направления перестают быть диспаратными (антагонистическими), а чувствуют себя комфортно, становятся корреспондирующими (соучаствующими), — это линия горютера (общий полный пространственный вид линии горютера представлен в [4]).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На вопрос: могут ли существовать внутри нониусного пространства полноценные стереообразы (может ли существовать стереопсис? Ответ: могут, но для этого необходимо набрать респондентов со стереопорогом 5" и построить горютер двухштырьковым методом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Валуос Н.А. Стереоскопия. М.: Изд-во АН СССР, 1963.
2. Голенко Г.Г. Бинокулярная механика. Конгруэнтный стереокинематограф // Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других областях: VI Международная научно-практическая конференция, Москва, 17–18 апреля 2014 г.: Материалы и доклады / под общей редакцией О.Н. Раева. М.: ВГИК, 2014. С. 82–98.
3. Голенко Г.Г. Перцептивная теория локального стереопсиса // Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других областях: IV Международная научно-техническая конференция, Москва, 26–27 апреля 2012 г.: Материалы и доклады / под общей редакцией О.Н. Раева. М.: МКБК, 2013. С. 42–64.
4. Голенко Г.Г. Пространственный горютер и зрительные направления циклопического глаза // Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других областях: Вторая научно-техническая конференция, Москва, 22–23 апреля 2010 г.: Материалы и доклады / под общей редакцией О.Н. Раева. М.: МКБК, 2010. С. 65–93.

5. Ландсберг Г.С. Оптика. М.: Наука, 1976.
6. Логвиненко А.Д. Зрительное восприятие пространства. М.: Издательство Московского университета, 1981.
7. Coutant B.E., Westheimer G. Population distribution of stereoscopic ability // *Opt. Physiol. Opt.* 1993. Vol. 13. № 1. P. 3–7.
8. Freeman R.B.Jr. Theory of cues and the psychophysics of visual space perception. // *Psychon. Monogr. Suppl.*, 970b. P. 171–182.
9. Lawson R.B., Gulick W.L. Stereopsis and anomalous contour // *Vision Res.* 1967. Vol. 7. P. 271–297.
10. Luscher H. Stereoskopische Tifenzone und Tiefenschärfenzone des Auges // *Foto-Kino-Technik.* 1947. № 8.

Georgiy G. Golenko

COMPARISON OF THE CONFIGURATIONS OF SCALABLE AND VERNIER BINOCULAR VISUAL SPACES

Georgiy G. Golenko, PhD (Engineering)

E-mail: georgiy.golenko@mail.ru

Space Vision Company

The paper tackles the comparison of the configurations of scalable and vernier binocular visual spaces implemented by opposing the congruency degrees of both spaces and the output (input) of the test points as relating to the horopter.

Key words: scalable space, vernier space, congruency, stereopsis.

REFERENCES

1. Valyus N.A. Stereoskopiya. M.: Izd-vo AN SSSR, 1963.
2. Golenko G.G. Binokulyarnaya mekhanika. Kongruentnyi stereokinematograf // *Zapis' i vosproizvedenie ob'emnykh izobrazhenii v kinematografe i drugikh oblastiakh: VI Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, Moskva, 17–18 aprelya 2014 g.:* Materialy i doklady / pod obshchei redaktsiei O.N. Raeva. M.: VGIK, 2014. P. 82–98.
3. Golenko G.G. Pertseptivnaya teoriya lokal'nogo stereopsisa // *Zapis' i vosproizvedenie ob'emnykh izobrazhenii v kinematografe i drugikh oblastiakh: IV Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya, Moskva, 26–27 aprelya 2012 g.:* Materialy i doklady / pod obshchei redaktsiei O.N. Raeva. M.: MKBK, 2013. P. 42–64.

4. Golenko G.G. Prostranstvennyi goropter i zritel'nye napravleniya tsiklopicheskogo glaza // Zapis' i vosproizvedenie ob»emnykh izobrazhenii v kinematografe i drugikh oblastiakh: Vtoraya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya, Moskva, 22–23 aprelya 2010 g.: Materialy i doklady / pod obshchei redaktsiei O.N. Raeva. M.: MKBK, 2010. P. 65–93.

5. Landsberg G.S. Optika. M.: Nauka, 1976.

6. Logvinenko A.D. Zritel'noe vospriyatie prostranstva. M.: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 1981.

7. Coutant B.E., Westheimer G. Population distribution of stereoscopic ability // Optai. Physiol. Opt. 1993. Vol. 13. № 1. P. 3–7.

8. Freeman R.B.Jr. Theory of cues and the psychophysics of visual space perception. // Psychon. Monogr. Suppl., 970b. P. 171–182.

9. Lawson R.B., Gulick W.L. Stereopsis and anomalous contour // Vision Res. 1967. Vol. 7. P. 271–297.

10. Luscher H. Stereoskopische Tifenzone und Tiefenscharfenzone des Auges // Foto-Kino-Tehnik. 1947. № 6.

**Часть III. ВОСПРИЯТИЕ ЗРИТЕЛЕМ
ЗВУКА**

УДК 778.534.46

ББК 37.95

Нипков Л. (Швейцария), Русинова Е.А. (Российская Федерация)

ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ ДИЗАЙН МУЗЫКАЛЬНЫХ ФОНОГРАММ

Нипков Лассе

E-mail: lasse.nipkow@silentwork.com

Silent Work GmbH

Русинова Елена Анатольевна, кандидат искусствоведения, доцент

E-mail: vgik.science@gmail.com

Всероссийский государственный институт кинематографии имени
С.А. Герасимова

Пространственные системы воспроизведения звука могут значительно усиливать эмоциональный эффект от фонограммы за счёт повышения качества её звучания, опираясь в том числе на культуру восприятия, привнесенную опытом кинематографа. В статье рассмотрены некоторые аспекты записи фонограммы и пространственного дизайна с учётом психологии слухового восприятия и возможностей акустической системы Audio 3D 9.0.

Ключевые слова: многоканальные системы воспроизведения звука, звукорежиссура, пространственная система воспроизведения фонограммы Audio 3D.

Многоканальные системы воспроизведения звука постепенно оттеснили монофонические и стереофонические системы, качество звучания которых перестало удовлетворять и слушателей, и

производителей. На сегодняшний день многоканальные системы воспроизведения негласно считаются профессиональным стандартом, особенно в сфере кинематографа, но работа по освоению их возможностей продолжается, вырабатываются новые технологические подходы для решения конкретных художественных задач.

В прошлом остались проблемы создания эффекта пространственного звучания фонограммы через синтез панорамы мнимых источников звука между двумя громкоговорителями, когда стереопанорама получалась плоской и была ограничена углом между направлениями на громкоговорители [2]. Попытки получить трёхмерную картину без возможности воспроизведения звуков в их пространственном расположении (трёхмерное звуковое поле, «выходящее в зал») трансформировались в развитие многоканальных форматов воспроизведения звука. Одним из основных преимуществ данных форматов является не только более качественное звучание, но и меньшая зависимость пространственного слухового впечатления от местоположения слушателя в зале.

Характерная особенность пространственного звучания — это его способность увлекать зрителя/слушателя благодаря возможно-

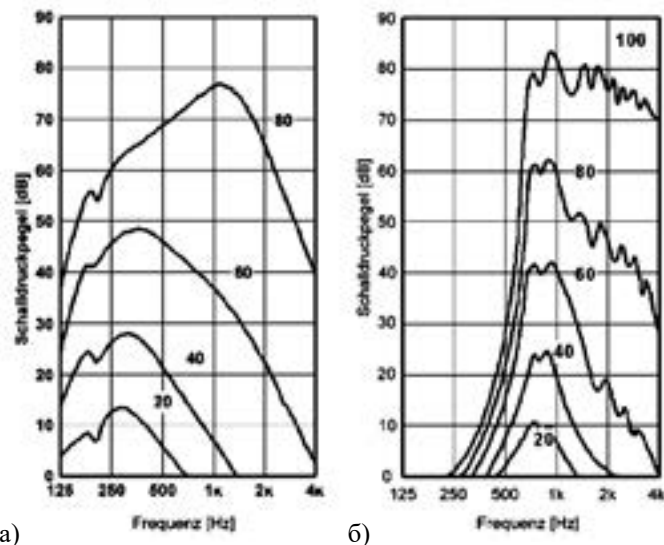


Рис. 1. Низкие частоты маскируют средние и высокие частоты: порог слуховой маскировки для различных значений напряжения возмущающего тона: а) при 200 Гц и б) при 800 Гц

сти «окружать» звуком, воздействуя эмоционально, создавать эффект вовлечённости. Однако при работе над фонограммой, воспроизведение которой предполагается в условиях зала со свободным расположением и перемещением реципиентов, и с источником, который может быть размещён в том числе в центре зала, возникают некоторые проблемы, требующие разрешения:

- при большой громкости звучания низкие частоты маскируют высокие и средние частоты (рис. 1) [5];
 - частоты ниже 80 Гц невозможно локализовать;
 - низкие частоты усиливаются резонансами помещения.
- Поэтому необходимо найти способ увеличения прозрачности* звука.

Звуковой образ источников звука служит в основном для того, чтобы сделать несколько фантомных источников, расположенных рядом и звучащих одновременно, различимыми на слух. Если сигналы из нескольких источников воспроизводятся в одном и том же направлении от слушателя, они могут маскировать друг друга, что приводит к уменьшению прозрачности. Если два идентичных источника воспроизводятся одновременно, то для слушателя они сливаются в один источник. Источники звука с высокочастотным компонентом локализуются легче и точнее, чем источники с низкими и средними частотами** [8, 9].

При работе с пространственной акустической системой Auro 3D прозрачность остаётся неизменной, когда громко-

* Под прозрачностью понимается ясность передачи фактур фонограммы, в случае присутствия семантического вокала/голоса — разборчивость текста слов (однако при работе с хоровыми записями рекомендуется избегать различимости голосов в партиях).

** При работе с музыкальной фонограммой следует иметь в виду, что фоновый звук и пэды гораздо труднее локализовать, чем фактуры с высокой долей прямого звука и высокочастотные фактуры. В этой связи пэды могут легко воспроизводиться через верхние громкоговорители без негативного влияния на другие сигналы.

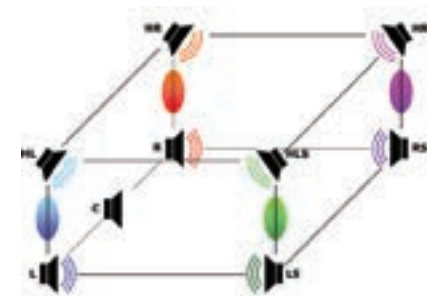


Рис. 2. Стереопары громкоговорителей размещаются в четырёх углах помещения

ворители стереопар размещаются в четырёх углах зала и звук может отображаться по вертикали — снизу-вверх и наоборот (рис. 2).

Из музыкальной практики, в качестве примера, можно предложить следующее расположение разных групп ударной секции между каналами акустической системы Auro 3D. Основу ударной группы — бас-барабан и малый барабан — рекомендуем воспроизводить из нижнего фронтального громкоговорителя, чтобы обеспечить звуковое давление. Другие инструменты группы — хай-хэт, крэш и том-том — также фронтально, поскольку их тембры, как правило, доминируют. Инструменты, тембры которых занимают высокочастотный спектр диапазона, такие как райд (подвесные тарелки), — через верхние громкоговорители. В результате, структурируя фонограмму, можно избежать эффекта маскирования и повысить прозрачность.

Все качественные параметры фонограммы находятся в тесной зависимости друг от друга, и, изменяя один из них, нельзя не изменить остальные. На прозрачности звучания негативно отражается увеличение пространственных характеристик фонограммы, положительно — наличие ярких и ясных тембров. Плановость компонентов фонограммы зависит от их баланса, а прозрачность — от их количества и тембра*.

Создание многоканальных объёмных аудиозаписей без опоры на экран является предметом субъективного выбора звукорежиссёра. Однако при записи «звуковых событий», в которых есть привязка к мизансцене, основные звуки фонограммы располагаются во фронтальной части зала, а в тыловых каналах воссоздаётся акустика помещения и атмосфера события (в том числе передаётся сигнал с общих микрофонов зала и возвраты с эффектов приборов обработки сигнала). В иных случаях все основные каналы системы Auro 3D рассматриваются как равные, и приёмами звукорежиссуры слушатель «помещается среди исполнителей», при необходимости «перемещается» внутри акустического пространства. Уже в работе XIX века «Учение о слуховых ощущениях как физиологическая

* На пространственность в записи оказывают влияние ранние отражения сигнала и реверберация, её время и уровень. Пространственность формирует ощущение расстояния до источника звука или группы источников звуков.

основа для теории музыки» Г. Гельмгольц отмечал, что, находясь в разных частях спектра звукового (частотного) диапазона, голоса воспринимаются как самостоятельные, не мешающие друг другу, подобно физическим телам, расположенным в разных местах пространства [1].

Как было отмечено выше, пространственное восприятие зависит от параметров реверберации. Вместе с тем, некоторые синтезированные шумомызыкальные фактуры, имеющие ударный характер (пэды), придают фонограмме реверберационный эффект (рис. 3). При воспроизведении таких фактур через акустическую систему Auro 3D, обычно усиливается сигнал каналов окружения. Другими словами, между соседними громкоговорителями устанавливается слышимая взаимосвязь, которая влияет на локализацию [11].

Система Auro 3D весьма чувствительна к помехам от цифрового ревербератора или плагина. Поэтому рекомендуется записывать акустические инструменты в реальных помещениях и добиваться высокой дифференциации между прямым и фоновым звуком [7]. В большинстве случаев такие фоновые сигналы от акустически оборудованного помещения имеют более высокое качество, чем сравнимые с ними сигналы от плагинов.

В зависимости от инструмента и музыкального контента при воспроизведении синтезированных звуков несколькими громкоговорителями допустима задержка между сигналами до 150 мс, что не влияет на эффект окружения. При больших задержках появляется раздражающее эхо [7]. Такой подход может быть использован для создания многоканальной 3D-фонограммы из соответствующих стереопэдов, что делается относительно легко. Для этой цели используются 4 стереопары с задержкой примерно 50 мс между каждой (рис. 4).

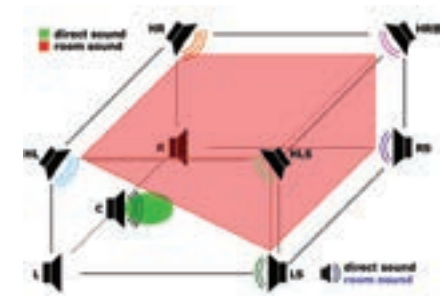


Рис. 3. Уровень фонового звука верхних и нижних громкоговорителей может варьироваться, что может использоваться для увеличения слышимости других звуков. В данном случае уровни пэдов уменьшены в нижних передних громкоговорителях, чтобы увеличить прозрачность основного вокала со сцены

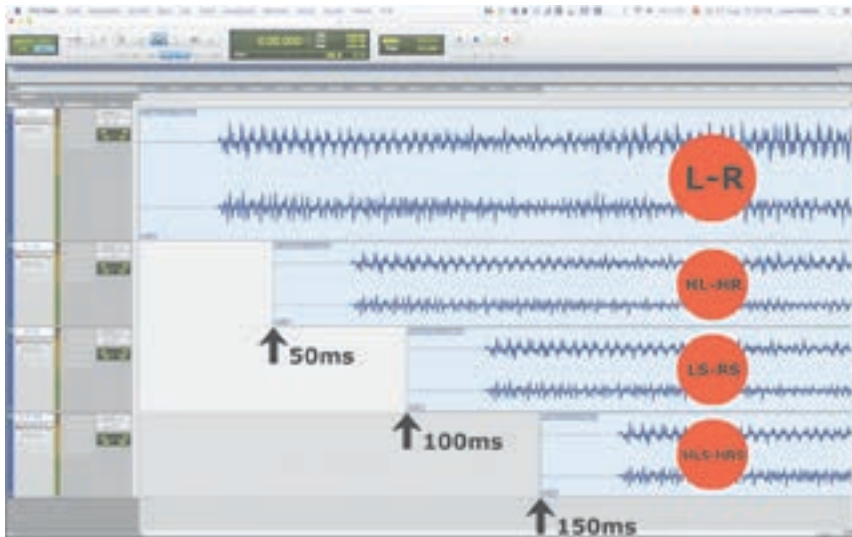


Рис. 4. Пример задержки в 50 мс между стереосигналами для достижения значительного эффекта окружения

При воспроизведении одинаковых (идентичных) стереопэдов без импульсного компонента несколькими громкоговорителями задержка в 50 мс между стереосигналами может использоваться для достижения значительного эффекта окружения. Сигналы с самой долгой задержкой следует использовать в тыловых громкоговорителях для избежания эффекта Хааса.

Пэды способны создавать эффект маскирования, причём чем плотнее фактура пэда, тем сильнее маскирующий эффект. Поэтому не рекомендуется использовать в саундтреке пэды постоянно, а только как особый элемент аранжировки.

Фактуры, имеющие характер «фоновых» (например, звуки атмосферы), не требующие локализации, в Аудио 3D рекомендуется располагать в каналах верхних громкоговорителей, освобождая для увеличения прозрачности фонограммы пространство для солирующих голосов.

В подавляющем большинстве случаев в кино основные звуки, голоса, несущие семантическую нагрузку, имеют привязку к изображению и поэтому позиционируются в центральном канале. В музыке же кажется логичным распределить звуковую информацию между центральным и фронтальными каналами, выбирая ширину

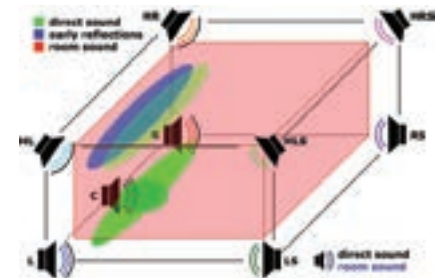


Рис. 5. Особенно важно, чтобы баланс между передними и задними громкоговорителями был равным

стереобазы. При этом рекомендуется избегать пространственного наложения прямого и фонового звука в одной и той же плоскости [7].
Особое внимание в Аудио 3D рекомендуется уделять равномерности звучания фронтальной плоскости зала. В эстрадной и танцевальной музыке, например, с вокалом, при возрастании дивергенции, возникает ощущение увеличивающегося расстояния до голоса (рис. 5). При воспроизведении вокала из центрального канала с использованием режима реверберации без ранних отражений, необходимый эффект также будет пролучен [4, 6].

Для максимизации эффекта окружения фонового звука уровень фронтальных и тыловых громкоговорителей должен быть

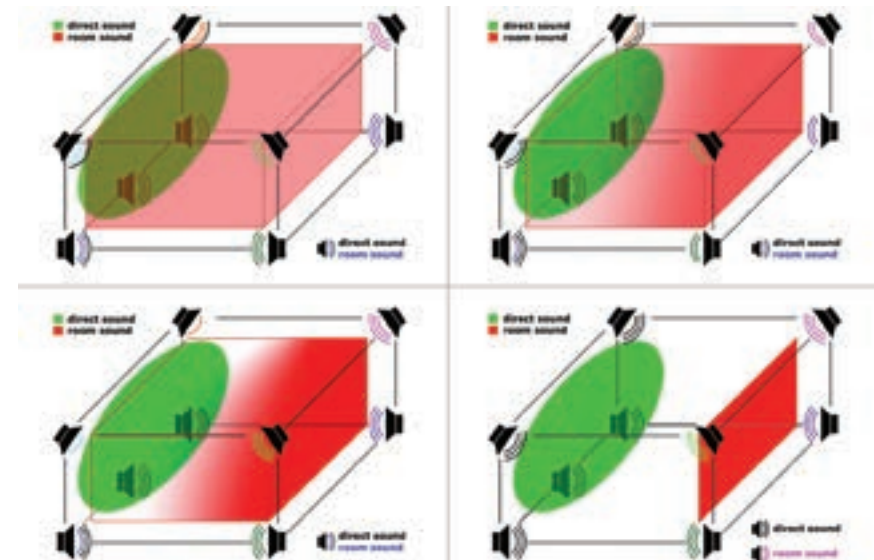


Рис. 6. Зависимость слышимой связи между фронтальными и тыловыми громкоговорителями от громкости фонового звука тыловых громкоговорителей



Рис. 7. Система микрофонов для певца. Микрофоны установлены так же, как и соответствующие им каналы системы Augo 3D

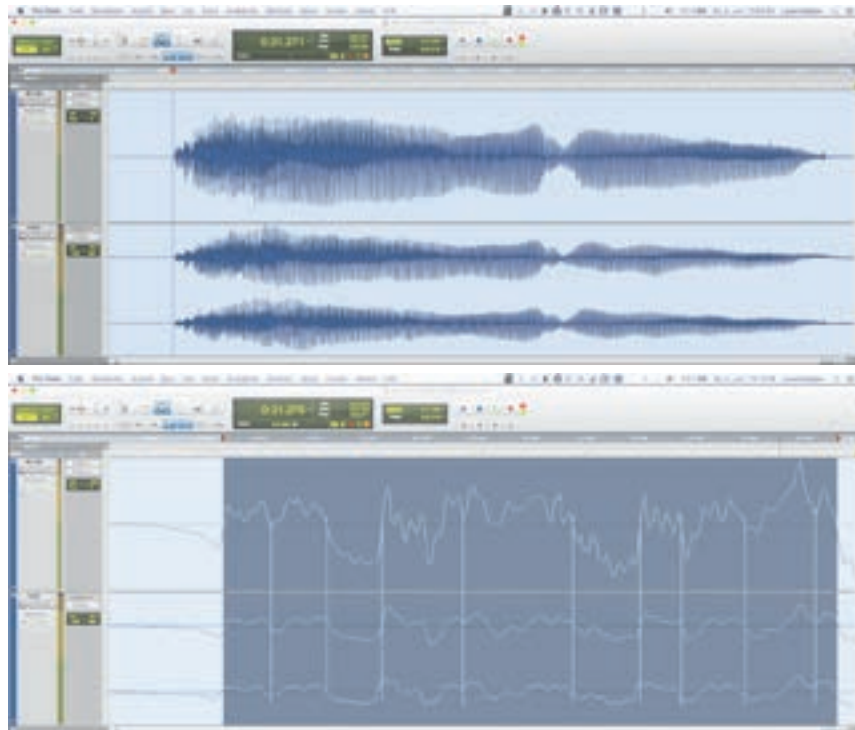


Рис. 8. Сигналы трёх нижних микрофонов. Верхний график — кривые огибающих. На нижнем графике кривая «главного» микрофона сильно отличается от остальных, так как содержит больше высоких частот

одинаковым. При этом чем громче звук тыловых громкоговорителей, тем меньше будет слышимая связь между фронтальными и тыловыми громкоговорителями (рис. 6).

При классическом расположении вокалиста во фронтальной части зала особенно важно, чтобы звуковой образ вокалиста локализовался там, где находится центральный громкоговоритель, и не создавалось ощущение его удалённости. Впечатление «прямого звука» может быть достигнуто при записи вокала микрофонами, установленными в непосредственной близости к певцу. В таком случае проникновение будет слабым, в частности, за счёт различий в спектре.

Если дополнительные микрофоны установлены рядом с «главным» микрофоном или над ним так, что они находятся вне главной оси певца, то они способны улавливать нужные сигналы (рис. 7). Корреляция между C и L, как и между C и R, составляет примерно 0,5–0,9 при частотах выше 2 кГц и изменяется в пределах 0–0,8 при частотах выше 4 кГц.

Высокие частоты источника звука гораздо менее выражены вне главной оси. Сигналы очень похожи, поскольку микрофоны расположены близко к исполнителю, но не идентичны из-за спектральных различий (рис. 8). Кроме того, сигналы микрофонов почти лишены ранних отражений. Чтобы образ вокала исходил из центрального громкоговорителя, сигналы с дивергенцией L, R, HL, и HR должны иметь задержку примерно 5–10 мс [3].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Пространственная система воспроизведения фонограммы Augo 3D предлагает широкий набор возможностей для звукорежиссуры, она спроектирована с учётом прикладной психоакустики. Даже несмотря на то, что приходится принимать во внимание ряд особенностей звучания, при соблюдении приведённых в статье рекомендаций, можно достичь впечатляющего результата. Главным условием является грамотный дизайн различных 3D-слоёв фонограммы.

Также следует учитывать, что отклики от цифрового ревербератора или плагина хорошо заметны как помехи. Поэтому рекомендуется не применять ревербератор, а записывать акустические инструменты в реальных помещениях и добиваться оптимального взаимодействия между прямым и отражённым звуком с помощью соответствующих систем записи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гельмгольц Г. Учение о слуховых ощущениях как физиологическая основа для теории музыки / пер. с нем. СПб.: Либроком, 2013.
2. Семаненков Д. Объёмный звук // Компьютерра. 1998. № 7 (235).
3. Flückiger B. Sound Design // Die virtuelle Klangwelt des Films. Schüren, 2002.
4. Friesecke A. Die Audio-Enzyklopädie: Ein Nach — schlagewerk für Tontechniker, Ausgabe 2. Berlin: Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 2014.
5. Fuchs H.V. Funktionelle Raumakustik im erweiterten Frequenzbereich // Bauphysik Kalender 2014. Wilhelm Ernst & Sohn, 2014. P. 457–496.
6. Griesinger D. General overview of spatial impression, envelopment, localization, and externalization // 15th International AES Conference. Copenhagen, 1998. Proceedings. P. 136–149.
7. Nipkow L. Eigenschaften von mikrofonierten Raumsignalen bei 3D Audio / Auro 3D // Tonmeistertagung. Cologne, 2012. Proceedings.
8. Nipkow L. The transparency of sound in Stereo- und 3D 9.1 recordings // ICSA. Graz, 2015. Proceedings.
9. Nipkow L. Tiefenstaffelung in 3D für Popmusik. 29 Tonmeistertagung. Cologne, 2016. Proceedings.
10. Nipkow L. Tiefenstaffelung in Stereo und 3D // 28. Tonmeistertagung. Cologne, 2014. Proceedings.
11. Nipkow L. Room signals — properties and influence on Auro 3D recordings // ICSA. Erlangen, 2014. Proceedings.

Lasse Nipkow, Elena A. Rusinova

SPATIAL DESIGN OF MUSIC SOUNDTRACKS

Lasse Nipkow
E-mail: lasse.nipkow@silentwork.com
Silent Work GmbH

Elena A. Rusinova, PhD (Art Criticism), associate professor
E-mail: vgik.science@gmail.com
All-Russian State University of Cinematography
named after S. Gerasimov

The spatial systems of sound reproduction can enhance considerably the emotional effect of a soundtrack for the audience due the improvement of quality of the sounding, based on the culture of perception introduced by experience of cinema. The authors examine some aspects of soundtrack recording and spatial design taking into account the psychology of acoustical perception and opportunities of the Auro 3D 9.0 speaker system.

Key words: spatial systems of sound reproduction, 3D audio, sound mixing, Auro 3D.

REFERENCES

1. Gel'mgol'ts G. Uchenie o slukhovyykh oshchushcheniyakh kak fiziologicheskaya osnova dlya teorii muzyki / per. s nem. SPb.: Librokom, 2013.
2. Semanenkov D. Ob»emnyi zvuk // Komp'yuterra. 1998. No 7 (235).
3. Flückiger B. Sound Design // Die virtuelle Klangwelt des Films. Schüren, 2002.
4. Friesecke A. Die Audio-Enzyklopädie: Ein Nach — schlagewerk für Tontechniker, Ausgabe 2. Berlin: Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 2014.
5. Fuchs H.V. Funktionelle Raumakustik im erweiterten Frequenzbereich // Bauphysik Kalender 2014. Wilhelm Ernst & Sohn, 2014. P. 457–496.
6. Griesinger D. General overview of spatial impression, envelopment, localization, and externalization // 15th International AES Conference. Copenhagen, 1998. Proceedings. P. 136–149.
7. Nipkow L. Eigenschaften von mikrofonierten Raumsignalen bei 3D Audio / Auro 3D // Tonmeistertagung. Cologne, 2012. Proceedings.
8. Nipkow L. The transparency of sound in Stereo- und 3D 9.1 recordings // ICSA. Graz, 2015. Proceedings.
9. Nipkow L. Tiefenstaffelung in 3D für Popmusik. 29 Tonmeistertagung. Cologne, 2016. Proceedings.
10. Nipkow L. Tiefenstaffelung in Stereo und 3D // 28. Tonmeistertagung. Cologne, 2014. Proceedings.
11. Nipkow L. Room signals — properties and influence on Auro 3D recordings // ICSA. Erlangen, 2014. Proceedings.

УДК 778.5.01.067.2: 15
ББК 85.37

Раев О.Н., Сологубов А.Н.

ПОРОГИ РАССОГЛАСОВАНИЯ СЛУХОВОГО И ЗРИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВ В КИНОФИЛЬМЕ

Раев Олег Николаевич, кандидат технических наук, доцент
E-mail: ncenter@list.ru
Всероссийский государственный институт кинематографии
им. С.А. Герасимова

Сологубов Андрей Николаевич
E-mail: koluchy@mail.ru
Всероссийский государственный институт кинематографии
им. С.А. Герасимова

Приведены результаты экспериментального исследования определения зрителем направления на виртуальный источник звука, создаваемый двумя громкоговорителями в малом кинозале.

Ключевые слова: пространственный слух, локализации источника звука, разрешающая способность слуховой системы.

Известно, что при оптимальных условиях восприятия пространственное разрешение стационарных источников звука составляет приблизительно 1° в горизонтальной плоскости [2, 3] и около $3,6^\circ$ в вертикальной плоскости [2].

Иногда эти пороговые значения берут за основу при определении требований к пространственному воспроизведению виртуальных источников звука, создаваемые в залах (например, см. [4]). Но это не совсем верно, поскольку величина в 1° получена

в специальных условиях эксперимента и соответствует величине углового сдвига источника звукового сигнала относительно контрольного положения источника звука, который размещается в медианной плоскости головы слушателя. В условиях реального зала наименьший ощутимый угол отклонения источника звука в горизонтальной плоскости при восприятии звуковых импульсов возрастает и составляет около 3° [1], при этом чем больше направление на источник звука развёрнуто относительно медианной плоскости головы человека, тем меньше точность определения направления на источник звука. В музыкальной акустике обычно величину в 3° принято считать угловой, или бинауральной, разрешающей способностью слуха.

Однако, несмотря на то что слух замечает угловые смещения источников звука на 3 угловых градуса, при определении направления, по данным И.А. Алдошиной и Р. Приттса, на источник звука в передней полуплоскости человек совершает ошибку в среднем в 12° [1].

Цель данной работы — экспериментально проверить применимость известных порогов определения зрителем направления на виртуальный источник звука в условиях просмотра зрителями кинофильмов в малых конозалах.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Исследования выполнены в одной из аудиторий ВГИКа, в которой проводятся кинопоказы для небольших групп студентов в процессе их обучения.

Воспроизведение тестовых фильмов производилось с помощью LG-телевизора марки LG55M760T с LED-подсветкой и диагональю экрана 55 дюймов (ширина экрана 1,22 м).

Звуковой сигнал подавался через два внешних громкоговорителя, излучавших когерентные звуковые сигналы. В исследовании были применены два контрольных монитора KRK модели V8. Применённые мониторы являются двухполосными с частотой раздела 1,96 кГц между низкочастотными и высокочастотными головками и фильтрами 12 дБ/октаву.

Во всех тестах формировался только один виртуальный источник звука, но изменялось положение виртуального источника звука относительно телевизионного экрана. Положение виртуального

источника звука формировалось разницей амплитуд звукового сигнала, одновременно подаваемого на правый и левый громкоговорители.

Громкоговорители были установлены симметрично по краям телевизора на расстоянии 1,2 м друг от друга и задрапированы чёрной тканью (не были видны испытуемым).

Под экраном телевизора между центрами громкоговорителей была размещена линейка с нанесёнными на неё и пронумерованными штрихами с шагом в 1 дециметр. Испытуемые уверенно видели эти штрихи. Нулевой штрих линейки соответствовал середине левого громкоговорителя (со стороны зрителей), а двенадцатый штрих — середине правого громкоговорителя.

Испытуемые сидели на стульях, расположенных в три параллельных ряда, лицом к экрану. Нумерация рядов начиналась от телевизора. Нумерация мест в каждом ряду выполнена от центрального места (обозначенного буквой «Ц»), расположенного напротив центра экрана телевизора. Места, смещённые от центра, обозначены буквами «Л» или «П» с номером места относительно центрального места в ряду. Например, «Л2» означает, что это второе место слева (со стороны телевизора) от центрального.

Расстояние от головы испытуемого, сидевшего на центральном месте первого ряда, до центра экрана телевизора составляло 2 м. Остальные испытуемые находились на расстояниях от 2 до 4 м от центра экрана.

Положение испытуемого на стуле не фиксировалось, испытуемым разрешалось свободно поворачивать глаза и голову, но не наклонять тело.

В качестве объекта, связанного с появлением звука, в киноизображении был выбран хлопок актёра, положение которого в кадре в течение всего теста не изменялось (рис. 1). В этом случае местонахождение изображения источника звука в киноизображении — ладоней актёра зрительно легко локализуется, а сам хлопок характеризуется широким спектром акустического сигнала, что позволяет слушателю наиболее точно локализовать в пространстве источник звука.

Тест длится 18 секунд, в течение которых актёр хлопает четыре раза. Тест повторялся пять раз с расположением виртуального источника звука в положениях: 1,4; 3,2; 4,4; 5,7 и 7,1 дециметров от левого края линейки.

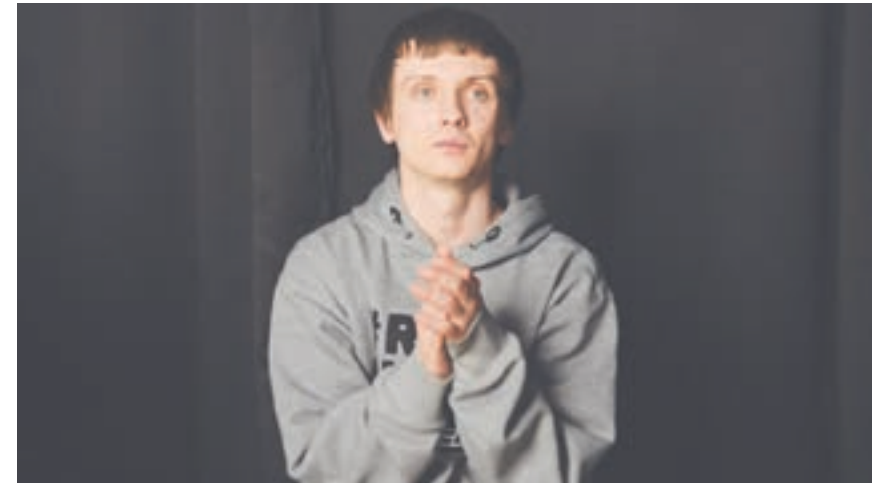


Рис. 1. Кадр из первого теста

Положение виртуального источника звука в каждой серии теста было не регулярным, как приведено выше, а случайным.

Во время первого хлопка испытуемые, реагируя на услышанный звук, приблизительно определяют местонахождение виртуального источника хлопка, произвольно поворачивая голову в направлении источника звука, а во время остальных хлопков стараются максимально точно определить, откуда по их ощущениям раздаётся звук хлопка. Воспринятое ими местонахождение виртуального источника звука испытуемые фиксировали с помощью горизонтальной линейки, расположенной ниже экрана телевизора. В случае, если за время прохождения теста испытуемые затруднялись определить нахождение виртуального источника звука, тест повторялся. Для большинства испытуемых четырёх хлопков обычно было достаточно, чтобы определить направление на их источник.

Для того чтобы усложнить объединение в сознании человека визуально определяемого в киноизображении источника звука с виртуальным источником звука, место нахождения которого определяет слух, был подготовлен второй тест, в котором в кадре присутствуют три синхронно хлопающих актёра (рис. 2), т. е. одновременно видимых зрителем в киноизображении источников звука три, а слышимый виртуальный источник звука по-прежнему оставался только один.



Рис. 2. Кадр из второго теста

Второй тест длится 11 секунд, в течение которых три актёра четыре раза синхронно хлопают в ладоши. Тест повторялся три раза с переносом от серии к серии места нахождения виртуального источника звука по линейке в положения: 1,7; 4,4 и 6,9.

Третий тест содержал изображение уже пяти синхронно хлопающих актёров (рис. 3) и всё так же формировал только один виртуальный источник звука.

Третий тест длился 15 секунд, в течение которых пять актёров пять раз синхронно хлопают в ладони. Тест повторялся пять раз с изменением положения виртуального источника звука: 1,7; 3,2; 4,4; 5,7 и 6,9.

Суть эксперимента в том, что испытуемым демонстрировалось киноизображение хлопающих актёров и при этом в каждой серии каждого теста формировался всего один виртуальный источник звука, синхронизированный во времени с изображением ладоней хлопающих актёров, но пространственно не связанный с изображением ладоней актёров.

Всем испытуемым давалось одно и то же задание: глядя на киноизображение и слушая сопровождающий киноизображение звук, как можно точнее определить направление на виртуальный источник звука в каждом тесте.



Рис. 3. Кадр из третьего теста

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании приняло участие случайно выбранных 30 студентов первого курса ВГИКа, и разбитых на три группы: 7 студентов кинооператорского факультета, 13 студентов режиссёрского факультета (кафедра звукорежиссуры) и 10 студентов факультета анимации и мультимедиа. У всех испытуемых слух был в норме. Каждый испытуемый в соответствии с заданием оценивал нахождение виртуального источника звука в каждой серии всех трёх тестов.

Результаты исследований представлены в таблицах 1–3. Прочерк в какой-либо ячейке таблицы означает, что данный испытуемый при демонстрации данной серии теста, соответствующего этой ячейке, за время теста и время дополнительного повтора теста так и не смог определить местонахождение виртуального источника звука.

Последовательность демонстрации серий тестов была случайной и не соответствовала упорядоченной последовательности, приведённой в таблицах 1–3.

Несоответствие восприятия направления на виртуальный источник звука с фактическим положением виртуального источника звука, при его дискретном перемещении слева направо (как системно представлено в таблицах 1–3), обнаружено у всех испы-

Таблица 1

**Восприятие положения виртуального источника звука
в тесте с одним актёром**

Тест с одним актёром				Фактическое положение виртуального источника звука				
				1,4	3,2	4,4	5,7	7,1
№ испытуемого	№ ряда	№ места	Расстояние испытуемого до центра экрана, м	Воспринимаемое положение виртуального источника звука				
Студенты кинооператорского факультета								
1	1	п3	2,5	3	6	7	8	8
2	2	л1	3,0	4	2	1	4	6
3	2	п1	3,0	6	6	6	7	8
4	2	п3	3,3	3	3	5	8	6
5	3	ц	3,9	8	6	6	2	0
6	3	л1	3,9	3,5	4,5	5	5,5	5
7	3	л2	4,0	5	4	3	5	7
Студенты факультета анимации и мультимедиа								
1	1	п1	2,3	0	8	7	8	8
2	1	п2	2,5	4	5	7	8	5
3	2	ц	3,0	4	3	5	7	8
4	2	л1	3,0	2	0	1	3	7
5	2	п1	3,0	0	2	7	4	5
6	2	п2	3,1	2	8	6	7	8
7	2	п3	3,3	5	7	6	7	8
8	3	ц	3,9	3	7	4	1	3
9	3	л1	3,9	3	6	5	2	4
10	3	п1	4,000	7	3	5	8	2
Студенты кафедры звукорежиссуры								
1	1	ц	2,2	1	3	5	6	8
2	1	л1	2,2	1	3	5	6	7
3	1	л2	2,3	1	3	4	5	7,5
4	1	п1	2,3	1	4	5	6	7
5	1	п2	2,5	3	6,5	8	8	8
6	2	ц	3,0	1,5	3	4,5	7	8
7	2	л1	3,0	2	3	4,5	5	6
8	2	л2	3,1	0	1	2	2	6
9	2	п1	3,0	6	6	6	6	6
10	2	п2	3,1	1	3	4	6	7
11	3	ц	3,9	2	5	5	6,5	7
12	3	л1	3,9	4	4	5	5	6
13	3	л2	4,0	2	4	4	5,5	6

Таблица 1

**Восприятие положения виртуального источника звука
в тесте с тремя актёрами**

Тест с одним актёром				Фактическое положение виртуального источника звука		
				1,7	4,4	6,9
№ испытуемого	№ ряда	№ места	Расстояние испытуемого до центра экрана, м	Воспринимаемое положение виртуального источника звука		
Студенты кинооператорского факультета						
1	1	п3	2,5	7	5	8
2	2	л1	3,0	1	1	7
3	2	п1	3,0	0	6	7
4	2	п3	3,3	1	5	6
5	3	ц	3,9	0	0	8
6	3	л1	3,9	1,5	1,5	7
7	3	л2	4,0	1	4	7
Студенты факультета анимации и мультимедиа						
1	1	п1	2,3	1	7	8
2	1	п2	2,5	3	6	8
3	2	ц	3,0	1	7	8
4	2	л1	3,0	0,5	1	3
5	2	п1	3,0	0	4	7
6	2	п2	3,1	2	8	8
7	2	п3	3,3	2	6	7
8	3	ц	3,9	6	0	3
9	3	л1	3,9	1	0	3
10	3	п1	4,0	6	2	9
Студенты кафедры звукорежиссуры						
1	1	ц	2,2	2	4	8
2	1	л1	2,2	2	5	7,5
3	1	л2	2,3	2	2	5
4	1	п1	2,3	4	3	7
5	1	п2	2,5	8	8	8
6	2	ц	3,0	2	5	7
7	2	л1	3,0	2	2	4
8	2	л2	3,1	0	1	—
9	2	п1	3,0	4	3	7
10	2	п2	3,1	2	4	5
11	3	ц	3,9	1	7	8
12	3	л1	3,9	2	2	4
13	3	л2	4,0	3	3	7

Таблица 3

Восприятие положения виртуального источника звука в тесте с пятью актёрами

Тест с одним актёром				Фактическое положение виртуального источника звука				
				1,4	3,2	4,4	5,7	7,1
№ испытуемого	№ ряда	№ места	Расстояние испытуемого до центра экрана, м	Воспринимаемое положение виртуального источника звука				
Студенты кинооператорского факультета								
1	1	п3	2,5	3	7	8	8	8
2	2	л1	3,0	2	0	3	5	7
3	2	п1	3,0	2	3	0	4	7
4	2	п3	3,3	—	4	6	6	6
5	3	ц	3,9	0	0	3	7	8
6	3	л1	3,9	3,5	1	5	6,5	8
7	3	л2	4,0	1	3	6	8	7
Студенты факультета анимации и мультимедиа								
1	1	п1	2,3	0	3	8	8	8
2	1	п2	2,5	1	6	7	6	7,5
3	2	ц	3,0	0	4	5	7	8
4	2	л1	3,0	2	1	2	5	5,5
5	2	п1	3,0	1	4,5	6	6,5	8
6	2	п2	3,1	1	5,5	7,5	8	8
7	2	п3	3,3	3	4	8	8	6
8	3	ц	3,9	2	0	3	3	3
9	3	л1	3,9	2	1	4	4,5	6
10	3	п1	4,0	3	10	8	10	7
Студенты кафедры звукорежиссуры								
1	1	ц	2,2	1	3	6	8	7
2	1	л1	2,2	1	1,5	4	6,5	8
3	1	л2	2,3	1	1	3	6,5	8
4	1	п1	2,3	2	1	7	6	8
5	1	п2	2,5	2	8	8	8	8
6	2	ц	3,0	0	3	5	5	6
7	2	л1	3,0	1	3	5	7	8
8	2	л2	3,1	—	—	—	—	—
9	2	п1	3,0	2	7	8	7	7
10	2	п2	3,1	1	2,5	3,5	5	6,5
11	3	ц	3,9	2	3	6	8	8
12	3	л1	3,9	1	3	—	3	6
13	3	л2	4,0	3	3	3	6	7

туемых кинооператорского факультета и факультета анимации и мультимедиа и только у первого и четвёртого испытуемых (из 13) кафедры звукорежиссуры. Девятый испытуемый, студент кафедры звукорежиссуры, не смог определить положение виртуального источника звука в пространстве в первом тесте, а пятый и восьмой испытуемые — во втором тесте (см. таблицу 2) и в третьем тесте (см. таблицу 3).

В первом тесте, когда изображение источника звука было одно (см. рис. 1), испытуемые из кафедры звукорежиссуры продемонстрировали точность определения положения виртуального источника звука в среднем почти в 2 раза более высокую, чем студенты кинооператорского и анимации и мультимедиа факультетов, т. е. можно предположить, что студенты кафедры звукорежиссуры более профессионально слышат звук. Однако, когда количество визуальных источников звука увеличилось (см. рис. 2 и 3), все три группы испытуемых продемонстрировали примерно одинаковую среднюю точность определения положения виртуального источника звука относительно киноизображения. Этот факт можно объяснить либо профессиональной подготовленностью студентов кафедры звукорежиссуры, либо обучаемостью остальных испытуемых в процессе проведения их тестирования.

Выявлена тенденция непроизвольного приближения воспринимаемого испытуемым положения виртуального источника звука к центру экрана при удалении испытуемого от телевизора.

Несмотря на значительный разброс (до 20°) определения положения виртуального источника звука испытуемыми, при пересчёте данных таблиц 1–3 получаем, что среднее расхождение восприятия положения виртуального источника звука относительно его фактического положения в данных экспериментах в угловой мере составило ±6°. И только группа студентов из кафедры звукорежиссуры в первом тесте продемонстрировала более высокую точность определения направления на виртуальный источник звука — ±4°.

Аналогичное значение возможного разброса в 12° получаем, если исключить из рассмотрения явные ошибки испытуемых. В этом случае стандартное отклонение не превышает 4,5°, а разброс медианы доходит до 8°. Полученные в экспериментах данные согласуются с данными, приведёнными И.А. Алдошиной и Р. Приттсом [1].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В исследованиях получен значительный разброс в определении испытуемыми положения виртуального источника звука. Зафиксированный разброс может быть объяснён как индивидуальными различиями испытуемых, так и особенностями формируемого акустического поля в аудитории, где проводились исследования, а также различиями в расстоянии испытуемых от громкоговорителей. Поэтому планируется продолжить исследования в следующих направлениях:

— исследовать точность определения направления на виртуальный источник звука испытуемыми, когда они индивидуально просматривают тесты в одном и том же месте пространства малого кинозала;

— исследовать точность определения направления на виртуальный источник звука в больших кинозалах.

В условиях, идентичных условиям проведённого эксперимента, за приблизительное значение точности определения зрителями направления на виртуальный источник звука, если зритель станет фиксировать своё внимание не на киноизображении, а на пространственном звуке, можно принимать 6 угловых градусов.

Авторы выражают благодарность М.С. Онипенко за помощь в подготовке тестов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алдошина И.А., Приттс Р. Музыкальная акустика. Учебник. СПб.: Композитор, 2006. 720 с.
2. Андреева И.Г. Виртуальная акустическая реальность: психоакустические исследования // Сенсорные системы. 2004. Том 18. № 3. С. 251–264.
3. Блауэрт Й. Пространственный слух / пер с нем. М.: Энергия, 1979. 224 с.
4. Нипков Л. Прозрачность звука при записи в формате стерео и 3D 9.1 // Инновационные технологии в кинематографе и образовании: III Международная научно-практическая конференция, Москва, 28–30 сентября 2016 г.: Материалы и доклады / под общей редакцией О.Н. Раева. М.: ВГИК, 2016. С. 106–123.

Oleg N. Raev, Andrey N. Sologubov

THRESHOLDS OF AUDIO AND VIDEO UNBALANCE IN A FILM

Oleg N. Raev, PhD (Engineering), assistant professor
E-mail: ncenter@list.ru
Russian Federation State Institute of Cinematography
named after S.A. Gerasimov

Andrey N. Sologubov
E-mail: koluchy@mail.ru
Russian Federation State Institute of Cinematography
named after S.A. Gerasimov

The article accounts for the results of the experimental research into the way the viewer locates the direction on the virtual sound source created by two loudspeakers in a small screening room.

Key words: spatial hearing, sound source localization, spatial resolution of human auditory system.

REFERENCES

1. Aldoshina I.A., Pritts R. *Muzykal'naya akustika*. Uchebnik. SPb.: Kompozitor, 2006. 720 p.
2. Andreeva I.G. *Virtual'naya akusticheskaya real'nost': psikhokusticheskie issledovaniya* // *Sensornye sistemy*. 2004. Vol 18. No 3. P. 251–264.
3. Blauert I. *Prostranstvennyi slukh / per s nem*. M.: Energiya, 1979. 224 p.
4. Nipkov L. *Prozrachnost' zvuka pri zapisi v formate stereo i 3D 9.1* // *Innovatsionnye tekhnologii v kinematografe i obrazovanii: III Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya*, Moskva, 28–30 sentyabrya 2016 g.: *Materialy i doklady / pod obshchei redaktsiei O.N. Raeva*. M.: VGIK, 2016. P. 106–123.

ИЗ ИСТОРИИ СИСТЕМ ОБЪЁМНОГО ЗВУЧАНИЯ

Уже к середине 1960-х годов двухканальная стереофония получила широкое распространение. Последующие эксперименты с многоканальными стереофоническими системами были убедительными и обнадеживающими, а главное — сулили новые рынки сбыта. Наиболее перспективной тогда представлялась система с четырьмя равноценными каналами, однако чрезмерная поспешность разработки коммерческих систем привела к тому, что все проекты оказались «сырыми». Камнем преткновения стала совместимость с существующими двухканальными системами радиовещания и механической звукозаписи, плюс техническая сложность кодирования и декодирования информации дополнительных каналов. Единственной успешной разработкой на короткое время стал четырёхканальный магнитофон.

Однако в ходе выполненных экспериментов было обнаружено, что можно добиться значительного расширения зоны стереоэффекта и даже «эффекта присутствия» более простым способом. Необходимо лишь подать на отдельные тыловые АС разность сигналов двух стереоканалов. Причём тыловые каналы не должны быть равноценны фронтальным — мощность порядка 10–15% от фронтальных, а полоса частот примерно от 200 Гц до 6 кГц. В простейшем варианте (схема Хаффлера) не требуется даже дополнительный усилитель — тыловые акустические системы (АС) противофазно включаются между выходами усилителей левого и правого каналов, и это устраняет их локализацию (рис. 1).

Такие псевдоквадрафонические системы пришли в середине 1970-х годов на смену квадрафоническим и имели определённый успех. В более сложных вариантах стали использовать не только разность сигналов, но и их сумму, а также частотную коррекцию. Как пример удачных решений отметим систему 4D Quadrasound, запатентованную западногерманской фирмой Elac, и отечественную ABC, не получившую широкого распространения. Однако интерес к таким акустическим системам

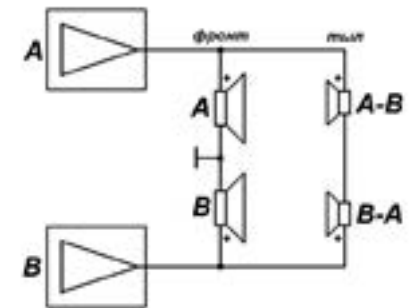


Рис. 1. Схема Хаффлера

УДК 681.84/85
ББК 22.32

Шихатов А.И.

МЕТОД ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ТЫЛОВЫХ КАНАЛОВ СИСТЕМ ОБЪЁМНОГО ЗВУЧАНИЯ ИЗ ДВУХКАНАЛЬНОГО СТЕРЕОСИГНАЛА

Шихатов Анатолий Иванович
E-mail: iron.shikhman@yandex.ru

Московский технический университет связи и информатики

Предложен метод обработки двухканальных стереофонических фонограмм, приближающий их звучание к дискретным многоканальным. Метод можно применить как для обработки сигнала в режиме реального времени, так и при ремастеринге двухканальных фонограмм в многоканальные.

Ключевые слова: система объёмного звучания, тыловой канал.

Дискретная многоканальная цифровая запись звука похоронила все другие системы объёмного звучания. Тем не менее, звучанию двухканальных стереофонических фонограмм можно придать «третье измерение», воспользовавшись сравнительно несложным способом обработки.

В авторском варианте использовались аналоговые методы, но алгоритм применим и к цифровым методам. А отправной точкой проведённых автором исследований послужила одна давняя книга Л. Кононовича [2].

быстро угас, а звучание, поначалу вызывавшее восторг, стало предметом критики.

Для понимания дальнейшего отметим, что студийные записи музыкальных произведений, исполнявшиеся на электронных инструментах, в 1960-е годы проводились с использованием микрофонов и, как правило, за одну сессию. Это объясняет «живой» характер звучания: в фонограмме было естественное соотношение между всеми сигналами — суммарным и разностным, прямым и реверберационным. Широкое распространение в 1970-е годы многоканальной прямой записи электронных инструментов с последующим сведением хотя и упростило работу музыкантов и звукорежиссёра, но «убило» атмосферу зала. Исчез диффузный звук, и даже технически безупречные записи стали звучать плоско и невыразительно, а после обработки упомянутыми системами объёмного звучания — и вовсе неестественно.

Причина этого явления — фиксированное соотношение суммарных и разностных составляющих в студийной записи, не зависящее ни от уровня громкости, ни от характера фонограммы, т. е. соотношение, заданное звукорежиссёром в соответствии с его эстетическими критериями применительно к двухканальной стереозаписи. Поэтому для большинства студийных записей того времени характерна прямая зависимость уровня разностного сигнала от уровня громкости. В реальной же звуковой картине соотношение между суммарным и разностным сигналами непрерывно изменяется, причём относительный уровень разностного сигнала максимален именно при малых уровнях громкости и уменьшается с её ростом. При больших уровнях громкости содержание разностной информации снижается на 30–40% [2, с. 87–92].

Это обстоятельство стали учитывать много позже, а именно в нём заключается причина провала простейших систем объёмного звучания: в первоначальном виде они были пригодны лишь для обработки записей, имеющих естественное распределение суммарных и разностных составляющих, т. е. созданных в микрофонной технике. Обеспечить совместимость студийной стереозаписи с такими системами объёмного звучания было бы проще всего именно в процессе сведения записи (об этом упоминали и создатели системы ABC [1, с. 44–48]), но это требовало от звукорежиссёров соблюдения некоторых правил, и процесс «не пошёл».

Попытки автоматически регулировать уровень сигнала тыловых каналов оказались неудачными, реализованные на дискретных элементах системы оказались сложными и дорогими, поэтому успеха не имели.

Короткий ренессанс аналоговых систем объёмного звучания наступил в конце 1980-х годов, и причина этого, как ни удивительно, — компакт-диски. Низкий уровень собственных шумов цифровой фонограммы позволил проводить аналоговую обработку разностного сигнала без заметного ухудшения качества звучания. Изменилась и элементная база, что позволило сделать систему массовой. Чтобы не вспоминать неудачные квадрафонические системы, маркетологи придумали новый термин «окружающее звучание» (surround sound). Яркие представители таких систем — Dolby Surround и Circle Surround. Но и они для безупречной работы требовали фонограмм, сведённых определённым образом, и, хотя большинство звукорежиссёров старалось соблюдать эти требования, системы surround всё же приказали долго жить...

ПРЕДПОСЫЛКИ

Вернёмся к уже упомянутой зависимости уровня разностного сигнала от уровня громкости. Графики, показанные на рис. 2, дают представление о том, какова может быть вероятная доля разностного сигнала U_s при различных уровнях суммарных сигналов U_m для систем микрофонной записи АВ, XY и смешанной. Результаты были получены в 1968 году при введении стереофонического радиовещания в СССР на основе статистического анализа микрофонных записей симфонической, оперной и эстрадной музыки [2, с. 87–92]:

1. При записи по системе XY уровень разностного сигнала су-

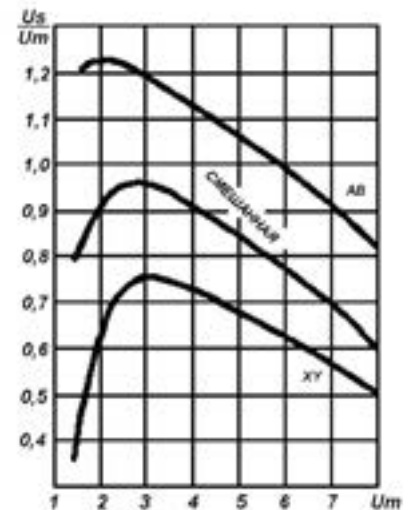


Рис. 2. Вероятная доля разностного сигнала U_s при различных уровнях суммарных сигналов U_m для систем микрофонной записи АВ, XY и смешанной [2, с. 87]

щественно ниже, поскольку теряется стереоинформация, связанная с разностью фаз сигналов, поступающих с левой и правой половин сцены.

2. Вероятная доля разностного сигнала существенно зависит от общей громкости, или, иначе говоря, от уровня суммарного (монофонического) сигнала. Если отбросить начальный участок графиков, соответствующий весьма малым уровням громкости, то с увеличением уровня громкости доля разностного сигнала заметно уменьшается. При больших уровнях содержание разностной информации падает на 30–40% в любых системах записи.

Поскольку авторы исследования представляли интересы радиовещания, им важно было знать максимальный возможный уровень разностного сигнала, а начальный участок кривых не представлял для них интереса. Но именно в нём ключ к решению рассматриваемой проблемы. Высокие относительные уровни разностного сигнала при малой громкости, как и вид графика, можно объяснить только реверберационным откликом помещения, когда прямой звук уже затихает, а отражённый ещё достаточно силён. Очевидно, что звучание студийных записей можно приблизить к «живым», если имитировать аналогичное изменение уровня разностного сигнала.

Для проверки идеи было собрано устройство, компрессирующее разностный сигнал. В ходе экспериментов выяснилось следующее:

- порог срабатывания автоматической регулировки усиления (АРУ) должен быть переменным и зависеть от уровня сигнала на входе, т. е. АРУ должна быть следящей;
- длительность послезвучания (эхо) зависит от исходного усиления в управляемом канале (чем больше глубина компрессии, тем дольше длится поддержка затухающего разностного сигнала);
- при малом времени восстановления детектора АРУ выражен эффект «виртуальное эхо»;
- при большом времени восстановления сигнал в тыловом канале затухает с той же скоростью, что и на фронте, поэтому «эха» не будет;
- регулировка спектра сигнала в тыловом канале оказывает значительное влияние на акустические свойства «виртуального зала»;



Рис. 3. Фазы работы АРУ

— для исключения влияния атаки сигнала на работу АРУ сигнал на детектор АРУ необходимо подавать через фильтр низких частот (ФНЧ);

— найдено опытным путём оптимальное время восстановления АРУ 100...200 мс; при его уменьшении начинает искажаться огибающая сигнала.

Различные фазы работы АРУ и положение кажущегося источника звука (КИЗ) в зависимости от усиления N иллюстрирует рис. 3.

ПРИНЦИП РАБОТЫ

Блок-схема адаптивного тылового канала приведена на рис. 4.

На вход суммарно-разностного преобразователя подаются сигналы левого и правого стереоканалов. Суммарный сигнал управляет порогом срабатывания следящей АРУ, охватывающей канал разностного сигнала. Помимо следящей АРУ, поддерживающей постоянный уровень разностного сигнала относительно суммарного, разностный сигнал подвергается также частотной коррекции. После обработки разностный сигнал подаётся на усилитель мощности и АС тылового канала.

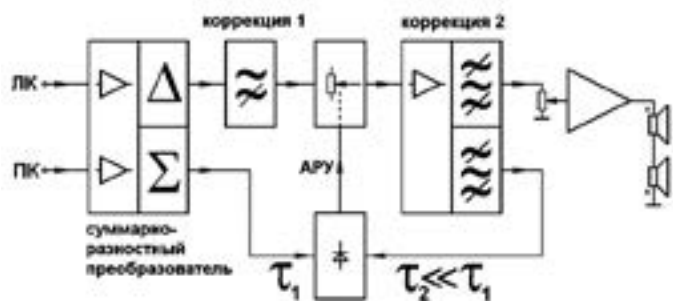


Рис. 4. Схема детектора с управляемым порогом срабатывания

Фильтр высоких частот (ФВЧ) на входе каскада регулирования уровня устраняет возможность перегрузки регулятора мощными низкочастотными сигналами только в одном канале. Полосовой фильтр на выходе канала обработки завершает формирование амплитудо-частотной характеристики (АЧХ) и ограничивает уровень шумов разностного сигнала. Сформированная АЧХ соответствует спектру диффузного эхо-сигнала — уровень низких частот составляющих ограничен, подчеркнуты средние частоты. Сигнал, подаваемый на вход детектора АРУ, формируется отдельным фильтром. Раздельная фильтрация сигналов, подаваемых на усилитель мощности звуковой частоты (УМЗЧ) и в цепь АРУ, позволяет независимо устанавливать их оптимальный спектр.

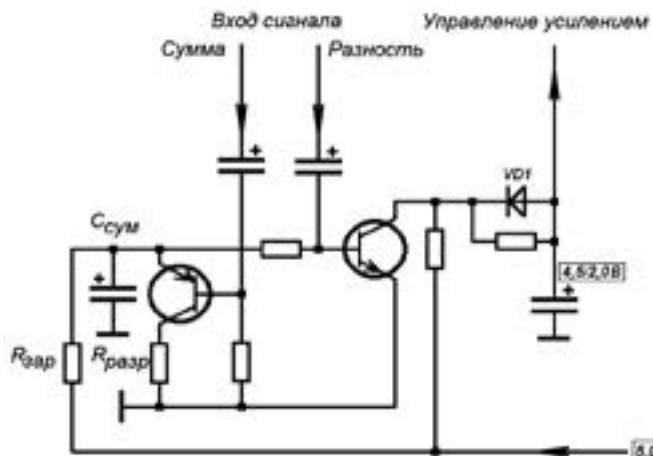


Рис. 5. Схема усовершенствованного пикового детектора [3, с. 8]

В процессе исследования предлагаемого метода обработки сигнала было разработано несколько вариантов схемной реализации устройства, отличающихся построением, элементной базой и дополнительными функциями. Во всех вариантах применён усовершенствованный пиковый детектор [3, с. 8] (рис. 5). Средний уровень суммарного сигнала служит пороговым напряжением АРУ — с ростом суммарного сигнала порог срабатывания АРУ увеличивается от 0,1 до 0,7 В и далее не растёт. Фиксация максимального уровня разностного сигнала (0,7 В) обеспечивает уменьшение его доли при росте суммарного сигнала, а задержка порога срабатывания по суммарному сигналу (0,1 В) формирует относительный рост при малых уровнях — что и требовалось осуществить. Окончательное соотношение уровней фронтальных и тыловых каналов устанавливается регулятором усиления в тыловом канале.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для оценки эффективности метода звучание концертных и студийных записей электронных музыкальных инструментов сравнивалось при включённом и выключенном тыловом канале. Практически во всех случаях эксперты отдавали предпочтение звучанию с включённым тыловым каналом. По сравнению с первоначальным вариантом заметно улучшилось звучание пультавых студийных записей, они приобрели объёмность и глубину, несмотря на незначительную фазоразностную информацию, хотя в данном случае имело место не восстановление пространственной информации, а лишь достаточно правдоподобная её имитация.

Наиболее интересным оказался эффект послезвучания, подчеркнутый работой АРУ. На концертных записях аплодисменты и другие второстепенные звуки локализовывались по бокам и сзади, создавая ярко выраженный эффект присутствия в концертном зале.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный метод приближает звучание двухканальных фонограмм к дискретным многоканальным. Аналоговый способ обработки достаточно прост в реализации. Предложенный алгоритм легко адаптировать и к цифровым методам обработки. Кро-

ме того, при небольших изменениях метод можно использовать в двухканальных стереосистемах для динамического управления стереобазой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берендюков Ю., Ковалгин Ю. и др. Квадрафония или система ABC? // Радио. 1982. № 9. С. 44–48.
2. Кононович Л. Стерефоническое радиовещание. М.: Связь, 1974.
3. Шихатов А. Пороговый детектор с управляемым порогом срабатывания // Схемотехника. 2002. № 11. С. 8.

Anatoliy I. Shikhatov

METHOD OF OBTAINING SPATIAL INFORMATION FOR THE REAR SURROUND SOUND CHANNELS FROM A TWO-CHANNEL STEREO SIGNAL

Anatoliy I. Shikhatov

E-mail: iron.shikhman@yandex.ru

Moscow Technical University of Communications and Informatics

A method of processing two-channel stereo phonograms is proposed, which approximates their sound to discrete multichannel ones. The method can be used both for signal processing online and for remastering two-channel phonograms into multichannel ones.

Key words: surround sound system, rear channel.

REFERENCES

1. Berendyukov Yu., Kovalgin Yu. i dr. Kvadrafoniya ili sistema ABC? // Radio. 1982. No 9. P. 44–48.
2. Kononovich L. Stereofonicheskoe radioveshchanie. M.: Svyaz', 1974.
3. Shikhatov A. Porogovyi detektor s upravlyaemym porogom sbratyvaniya // Skhemotekhnika. 2002. No 11. P. 8.

Часть IV. СТЕРЕОТЕХНОЛОГИИ

УДК 778.53

ББК 32.94

Раев О.Н.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАТРИЦЫ ЦИФРОВОГО КИНОСЪЁМОЧНОГО АППАРАТА

Раев Олег Николаевич, кандидат технических наук, доцент

E-mail: ncenter@list.ru

Всероссийский государственный институт кинематографии
им. С.А. Герасимова

В статье представлена методика расчёта пространственной частотной характеристики матриц цифровых фото- и киноаппаратов. Введена в рассмотрение апертура дискретного элемента светочувствительной матрицы, преобразование Фурье которой позволяет определить пространственную частотную характеристику матрицы.

Приведён алгоритм определения разрешающей способности матрицы, определяемой как пространственная частота, при которой коэффициент передачи контраста равен минимально различимому значению. Показано, что таких пространственных частот у матрицы много, это может привести, в случае недостаточной оптической фильтрации сигнала изображения до его дискретизации, к неоднозначности значения разрешающей способности изображения и к появлению муара.

Рассмотрены искажения изображения, возникающие в результате пространственной дискретизации.

Ключевые слова: цифровой киноаппарат, цифровой фотоаппарат, пространственная частотная характеристика, светочувствительная матрица, дискретизация, пространственные искажения, муар, разрешающая способность.

В теории преобразования изображений в кинематографе [3, 4] пространственные частотные характеристики элементов кинематографического процесса являются одними из основных характеристик, описывающими влияние этих элементов на записываемое, преобразуемое или воспроизводимое киноизображение.

В литературе наряду с термином «пространственная частотная характеристика» часто в оптике (см., например, [1]) используется термин «функция передачи модуляции», а в ранних публикациях на эту тему — «частотно-контрастная характеристика» или «контрастно-частотная характеристика». В рамках теории преобразования сигналов киноизображений корректным является термин «пространственная частотная характеристика», что позволяет отличать её от частотных характеристик преобразования сигналов изображения по времени.

Пространственная частотная характеристика это зависимость коэффициента передачи контраста от пространственной частоты [3, 4]. Коэффициент передачи контраста представляет собой отношение контраста изображения до его преобразования (в данном случае контраст в оптическом изображении, сформированном объективом на поверхности матрицы) к контрасту изображения после преобразования (в данном случае контраст дискретного изображения, формируемого светочувствительной матрицей), а под пространственной частотой понимается количество периодов гармонического распределения освещённости в киноизображении, приходящихся на 1 мм в направлении координатной оси на поверхности светочувствительного слоя матрицы.

Пространственная частотная характеристика определяется двумерным преобразованием Фурье импульсной реакции рассматриваемого элемента кинематографического процесса, т. е. представляет собой отклик элемента кинематографической системы или совокупности элементов на бесконечно малый в пространстве входной импульс изображения [3].

Одним из достоинств частотных характеристик является предоставляемая ими возможность разбиения процесса преобразования киноизображений на отдельные элементы с любой степенью детализации и рассматривать каждый из этих элементов как самостоятельный, описываемый собственной пространственной частотной характеристикой. При этом пространственная частотная харак-

теристика всего киносъёмочного процесса определяется простым перемножением пространственных частотных характеристик всех элементов.

В зависимости от степени детализации процесса преобразования изображений в кинематографе киносъёмочный аппарат может рассматриваться как самостоятельный элемент, характеризующийся пространственной частотной характеристикой киносъёмочного аппарата. Но киносъёмочный аппарат, в свою очередь, тоже может быть разбит на составные элементы (например, объектив, матрица, рассеяние света до объектива, продольный сдвиг оптического изображения относительно светочувствительного слоя, поперечный сдвиг оптического изображения относительно светочувствительного слоя), каждый из которых описывается собственной пространственной частотной характеристикой.

Рассмотрим светочувствительную матрицу как самостоятельный элемент киносъёмочного процесса.

СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ МАТРИЦА

Светочувствительная матрица предназначена для записи киноизображения, одновременно она выполняет дискретизацию сигналов изображения не только по времени, но и по пространственным координатам.

Для этого светочувствительный слой матрицы разбит на отдельные элементы — субпиксели, т. е. отдельные участки светочувствительного слоя, каждый из которых, поглощая фотоны, попадающие на него во время экспонирования, выпускает свободные электроны, собираемые под действием внешнего электрического поля в потенциальной яме под каждым субпикселем.

Архитектура светочувствительных элементов в разных типах матриц разная, но у всех типов матриц пространственная картина расположения светочувствительных участков в матрице всегда имеет регулярный характер. Светочувствительные субпиксели сгруппированы в фиксированные массивы прямых строк и столбцов (рис. 1).

В одноматричных фото- и кинокамерах перед каждым субпикселем расположен индивидуальный светофильтр, необходимый для дискретизации изображения по спектральному составу. В этом случае минимальный элемент светочувствительного слоя матрицы, на-

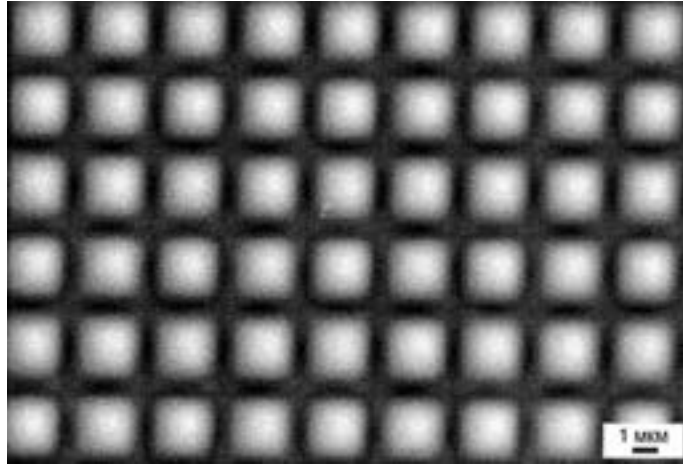


Рис. 1. Микрофотография светочувствительного слоя матрицы [2]

зываемый пикселем, состоит из группы субпикселей, часто из 4-х или 6-ти субпикселей.

Таким образом, при записи изображения в кадре зафиксировано положение каждого пикселя, которое не изменяется от кадра к кадру и строго в том же соответствии выводится на киноэкран при демонстрации кинофильма. При этом все светочувствительные участки на матрице имеют одинаковые размеры и форму, обычно квадратную, в некоторых случаях — прямоугольную.

Из рис. 1 видно, что перед каждым субпикселем имеется квадратное (в общем случае прямоугольное) окно, через которое фотоны, направляемые объективом, проходят к светочувствительному слою. Это окно со всех сторон обрамляют светонепроницаемые электроды. Поэтому ширина $l_x^{ап}$ светочувствительного слоя субпикселя всегда меньше расстояния $l_x^{инп}$ между центрами двух соседних субпикселей. Назовём это окно апертурой субпикселя. Очевидно, что если фотоны попадут в апертуру субпикселя, то они дойдут до светочувствительного слоя данного субпикселя. Если же фотоны попадут на участки матрицы за пределами апертуры рассматриваемого пикселя, то они будут поглощены другими субпикселями либо другими участками матрицы, не вызывающими фотоэффект, или отразятся от матрицы.

Применим систему пространственных координат, лежащую в плоскости светочувствительного слоя матрицы, с центром координат в центре какого-либо рассматриваемого субпикселя и со

следующим направлением осей координат: ось x направим через центры горизонтально расположенных субпикселей, ось y — через центры вертикально расположенных субпикселей.

Введём в рассмотрение характеристику пропускания света отдельным субпикселем к его участку светочувствительного слоя или, иными словами, апертурную характеристику субпикселя, которую в первом приближении допустимо представить как прямоугольную функцию (рис. 2):

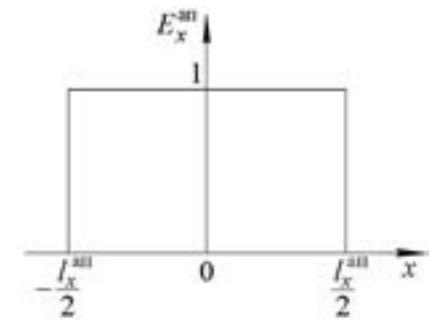


Рис. 2. Апертурная характеристика субпикселя по пространственной координате x

$$\text{rect}(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{при } x < \frac{l_x^{ап}}{2}, y < \frac{l_y^{ап}}{2} \\ \frac{1}{2} & \text{при } x = \frac{l_x^{ап}}{2}, y = \frac{l_y^{ап}}{2} \\ 0 & \text{при } x > \frac{l_x^{ап}}{2}, y > \frac{l_y^{ап}}{2} \end{cases} \quad (1)$$

Наличием перед каждым субпикселем микролинзы, собирающей свет, в данном приближении можно пренебречь, поскольку микролинза перераспределяет направления движения фотонов ближе к центру субпикселя, увеличивая тем самым вероятность их поглощения светочувствительным слоем, но не добавляет фотонов из областей других субпикселей. А наличие светофильтра перед субпикселем изменяет спектральный состав света, но не влияет на процесс дискретизации изображения.

Таким образом, каждый субпиксель участвует в дискретизации сигналов изображения по пространственным координатам за счёт ограничения апертуры субпикселя и преобразования фотонов, поглощённых светочувствительным слоем субпикселя, в пропорциональное количество свободных электронов, собираемых в течение времени экспонирования в электрической потенциальной яме субпикселя.

Применив преобразование Фурье к апертурной характеристике субпикселя, получаем пространственную частотную характеристику субпикселя по пространственной координате x :

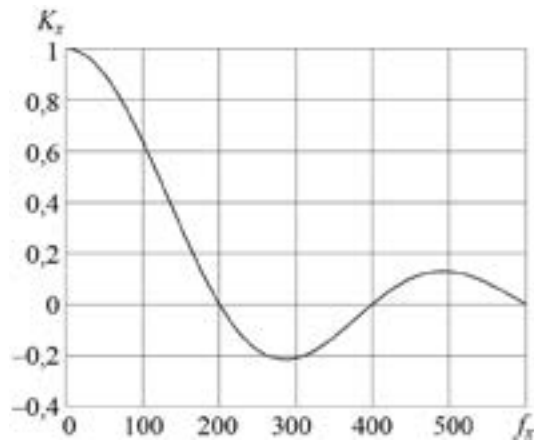


Рис. 3. Пространственная частотная характеристика субпикселя с прямоугольной площадью и шириной субпикселя 5 микрон

$$K_x^{\text{сп}}(f_x) = \int_{-\infty}^{\infty} \text{rect}(x) \exp(-i2\pi f_x x) dx = \frac{\sin(\pi f_x l_x^{\text{ап}})}{\pi f_x l_x^{\text{ап}}}, \quad (2)$$

где $K_x^{\text{сп}}$ — коэффициент передачи контраста; f_x — пространственная частота вдоль оси x ; i — мнимая единица ($i = \sqrt{-1}$).

Пространственные частоты измеряются в линиях/мм или мм^{-1} .

На рис. 3 приведён пример рассчитанной с помощью формулы (2) пространственной частотной характеристики субпикселя с шириной апертуры в 5 микрон.

Если форма апертуры субпикселя квадратная, то ширина и высота окна субпикселя будут одинаковыми: $l_x^{\text{ап}} = l_y^{\text{ап}}$, и, соответственно, одинаковыми будут пространственные частотные характеристики в горизонтальном и вертикальном направлениях.

Поскольку в пределах одной матрицы размеры и форма всех субпикселей одинаковы, то пространственные частотные характеристики у всех субпикселей одинаковы, и можно считать, что они соответствуют пространственной частотной характеристике светочувствительной матрицы.

РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ МАТРИЦЫ

Приведём определение разрешающей способности: «разрешающая способность фотографической системы характеризует её способность разделять воспроизводить мелкие детали объекта;

определяется наибольшим значением частоты штрихов регулярной одномерной решётки — миры, при которых в фотоизображении эти штрихи ещё могут быть различимы (не сливаются)» [9]. Иными словами, под разрешающей способностью принято понимать способность различать отдельно «изображения мелких соседних деталей объектов съёмки» [5]. На практике разрешающая способность «определяется максимальным числом отдельно передаваемых... параллельных штрихов (линий) стандартной... миры, приходящихся на 1 мм изображения» [5].

Из теории преобразования сигналов известно [3, с. 69, 95], что разрешающая способность — это значение пространственной частоты, при которой коэффициент передачи контраста равен предельно различимому значению. А из формулы (2) следует, что при пространственных частотах, равных

$$f_x^0 = \frac{n}{l_x^{\text{ап}}} \quad (3)$$

(где n — целое число: 1, 2, 3, ...), пространственная частотная характеристика матрицы равна нулю, т. е. эти пространственные частоты отфильтровываются светочувствительной матрицей при записи изображения.

В примере, приведённом на рис. 3, коэффициент передачи контраста равен нулю при пространственных частотах 200, 400 мм^{-1} и т. д.

Вводя предельно различимое значение контраста $K_{\text{пред}}$, получаем возможность расчёта разрешающей способности матрицы из пространственной частотной характеристики.

Так, если $K_{\text{пред}} = 0,01$, то разрешающая способность данной матрицы равна 196 мм^{-1} . Однако это не единственное значение разрешающей способности, поскольку данное значение $K_{\text{пред}}$ соответствует и другим значениям пространственных частот (например, 363 мм^{-1} в примере, изображённом на рис. 3). В этом существенное отличие матрицы от киноплёнки.

ОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

В рассматриваемом примере при пространственных частотах в диапазоне от 200 мм^{-1} до 400 мм^{-1} коэффициент передачи контраста имеет отрицательные значения. Это означает, что в результате дис-

кретизации изображения по пространственным координатам фаза гармоник скачком изменяется на 180° , в результате в дискретном изображении гармонического изменения яркостей светлые и тёмные участки меняются местами относительно распределения освещённости во входном изображении.

ИСКАЖЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ, ВЫЗЫВАЕМЫЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ДИСКРЕТИЗАЦИЕЙ

Частота пространственной дискретизации f_d сигнала киноизображения, измеряемая количеством замеров освещённости изображения, выполненных на 1 мм светочувствительного слоя матрицы, определяется расстоянием $l_x^{\text{шп}}$ между центрами субпикселей в матрице, т. е. шагом пространственного расположения субпикселей:

$$f_d = \frac{1}{l_x^{\text{шп}}}. \quad (4)$$

Поскольку расстояние $l_x^{\text{шп}}$ всегда больше апертуры субпикселя $l_x^{\text{ап}}$, то частота пространственной дискретизации не связана с разрешающей способностью светочувствительной матрицы.

Пусть в рассматриваемом примере расстояние $l_x^{\text{шп}} = 0,006$ мм. Тогда частота пространственной дискретизации сигнала изображения матрицей составит $f_d = \frac{1}{0,006} = 167 \frac{\text{замеров}}{\text{мм}}$.

Согласно теореме В.А. Котельникова (в зарубежной и переводной отечественной литературе теорему В.А. Котельникова называют теоремой Найквиста, теоремой Шеннона, теоремой Шеннона—Найквиста, теоремой отсчётов), для того, чтобы не возникло искажений изображения при его дискретизации, частота дискретизации должна быть как минимум в два раза больше максимальной частоты спектра исходного сигнала. Таким образом, в рассматриваемом примере изображение может быть восстановлено после дискретизации без искажений, если в нём не будет пространственных частот, превышающих в рассматриваемом примере 83 мм^{-1} . В противном случае возникнут искажения первого рода, порождённые наложением ложных спектров на исходный спектр в дискретном сигнале изображения. Эти искажения проявляются в виде муара на периодических пространственных структурах.

Таким образом, спектр пространственных частот сигнала изображения до его дискретизации в рассматриваемом примере дол-

жен быть ограничен значительно больше, чем величиной разрешающей способности или количеством пикселей, приходящихся на 1 мм светочувствительного слоя матрицы.

Высокие пространственные частоты входного сигнала киноизображения фильтруются объективом, выполняющим не только функцию формирования оптического изображения, но и функцию оптического фильтра по причине присутствующих у него оптических аберраций и дифракции света на апертурной диафрагме объектива. Однако в цифровой киносъёмочной аппаратуре для устранения возможности появления пространственных искажений первого рода фильтрующего действия объектива недостаточно. Поэтому в цифровых фото- и киноаппаратах перед матрицей устанавливают дополнительный оптический фильтр, так называемый OLPF-фильтр, который не только выполняет пространственную фильтрацию сигнала изображения, но и корректирует сигнал изображения по спектру, в том числе отсекает инфракрасное излучение (современные матрицы чувствительны к инфракрасному излучению). Одновременно OLPF-фильтр выполняет функцию защитного фильтра, предохраняющего светочувствительный слой матрицы от внешнего воздействия и от пыли.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ДИСКРЕТИЗАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПЕРИОДИЧЕСКИМ ИЗМЕНЕНИЕМ ОСВЕЩЁННОСТИ

Пусть освещённость $E'_{\text{оп}}(x, y)$ в оптическом изображении, формируемом объективом в плоскости светочувствительного слоя матрицы, не зависит от времени и пространственной координаты y и изменяется только вдоль пространственной координаты x по гармоническому закону:

$$E'_{\text{оп}}(x) = 0,5 \cos(2\pi f_x x + \varphi) + 0,5, \quad (5)$$

где φ — фаза колебаний освещённости.

В уравнении (5) учтено [7], что, во-первых, величина освещённости не может быть отрицательной и, во-вторых, освещённость $E'_{\text{оп}}(x)$ следует нормировать таким образом, чтобы все её возможные значения попадали в диапазон от 0 до 1. Именно поэтому в уравнении (5) амплитуда колебаний гармонического сигнала принята равной 0,5 и в уравнение добавлена постоянная составляющая, также равная 0,5.

Каждый субпиксель может воспринять только те фотоны сигнала изображения, которые пройдут к светочувствительному слою через апертуру данного субпикселя [8]. Поэтому реальное распределение освещённости по поверхности апертуры рассматриваемого субпикселя, расположенного в центре принятой системы координат, может быть представлено дискретным значением освещённости E^* :

$$E^* = \int_{\frac{l_x^{\text{ап}}}{2}}^{\frac{l_x^{\text{ап}}}{2}} (0,5 \cos(2\pi f_x x + \varphi) + 0,5) dx. \quad (6)$$

На рис. 4 приведён пример оптического изображения, описываемого уравнением (5) с пространственной частотой $f_x = 10 \text{ мм}^{-1}$ и фазой $\varphi = 0$, и дискретные значения освещённости E^* этого изображения, получаемые при его записи светочувствительной матрицей с шириной апертуры субпикселя $l_x^{\text{ап}} = 0,008 \text{ мм}$ и расстоянием между центрами соседних субпикселей $l_x^{\text{шп}} = 0,01 \text{ мм}$, а на рис. 5 — расчётный фрагмент записанного изображения.

Анализ интеграла (5) позволяет сделать следующие выводы.

1. Чем больше $f_x l_x^{\text{шп}}$, т. е. чем больше субпикселей на 1 мм матрицы при одной и той же пространственной частоте изменения освещённости в оптическом изображении, тем менее заметна дискретность записанного изображения.

2. Увеличение апертуры субпикселей приводит к снижению контраста в записанном изображении и, соответственно, если

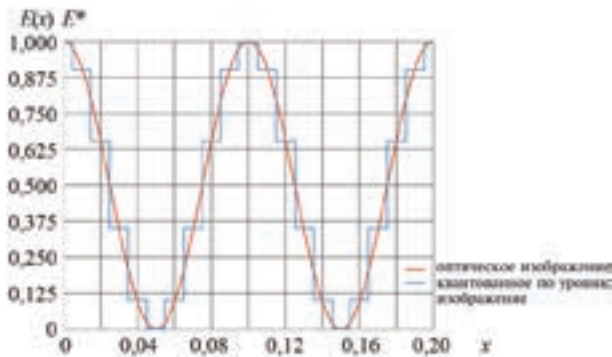


Рис. 4. Оптическое изображение $E'_{\text{оп}}(x)$ с гармоническим изменением освещённости, пространственной частотой $f_x = 10 \text{ мм}^{-1}$ и фазой $\varphi = 0$; дискретное изображение E^*

$l_x^{\text{ап}} > l_x^{\text{шп}}$ (что может быть реализовано не физически, а математически при обработке цифровых изображений), — к снижению видимой дискретности записанного изображения.

3. При $f_x l_x^{\text{шп}} < 0,5$ фаза φ освещённости в оптическом изображении вызывает соответствующий сдвиг в дискретном изображении вдоль оси x с одновременным изменением дискретных значений освещённости. На рис. 6 показан расчётный фрагмент записанного дискретного изображения, когда ширина апертуры субпикселя $l_x^{\text{ап}} = 0,008 \text{ мм}$, расстояние между центрами соседних субпикселей $l_x^{\text{шп}} = 0,01 \text{ мм}$, освещённость оптического изображения $E'_{\text{оп}}(x)$ изменяется с пространственной частотой $f_x = 25 \text{ мм}^{-1}$ при двух значениях фазы: $\varphi = 0$ и $\varphi = \frac{\pi}{4}$.

4. Если $f_x l_x^{\text{шп}} < 0,5$, то минимальная пространственная частота освещённости в дискретном изображении равна пространственной частоте освещённости в оптическом изображении. Однако, если $f_x l_x^{\text{шп}} > 0,5$, то в дискретном изображении появится ложная пространственная частота изменения освещённости, которая будет меньше пространственной частоты освещённости в оптическом изображении.

5. Для определения периода полного повторения дискретного сигнала, измеряемого в количестве пикселей, необходимо расчи-



Рис. 5. Расчётный фрагмент записанного дискретного изображения, соответствующего параметрам рис. 4

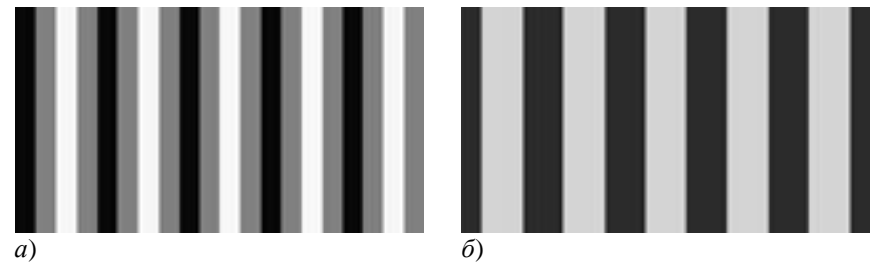


Рис. 6. Дискретное изображение E^* , когда пространственная частота освещённости в оптическом изображении $f_x = 25 \text{ мм}^{-1}$ и фаза оптического изображения: а — $\varphi = 0$; б — $\varphi = \frac{\pi}{4}$

тать пространственную частоту дискретизации $f_d = \frac{1}{l_x^{\text{шп}}}$, затем за-

писать в виде дроби отношение пространственной частоты дискретизации к пространственной частоте освещённости в оптическом изображении и сократить значения числителя и знаменателя дроби до минимальных целых значений. Полученное значение числителя дроби и будет искомым периодом полного повторения дискретного сигнала, измеряемым в количестве пикселей.

**СПЕЦИФИКА ЗАПИСИ ИЗОБРАЖЕНИЯ,
ОСВЕЩЁННОСТЬ В КОТОРОМ ИЗМЕНЯЕТСЯ
С ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЧАСТОТОЙ $f_x = \frac{1}{2l_x^{\text{шп}}}$**

Согласно теореме В.А. Котельникова, пространственная частота $f_x = \frac{1}{2l_x^{\text{шп}}}$ в спектре освещённости в оптическом изображении

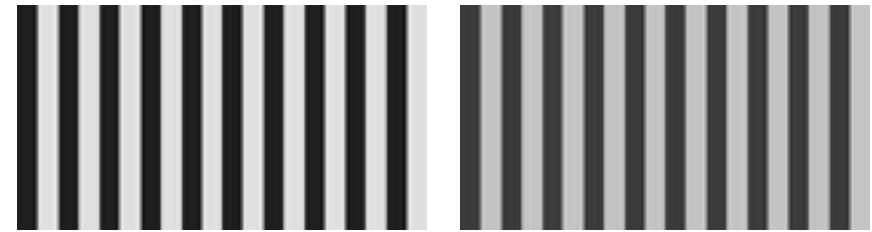
определяет допустимый диапазон пространственных частот $0 < f_x < \frac{1}{2l_x^{\text{шп}}}$ в оптическом изображении, которые не меняются при пространственной дискретизации изображения.

Если же пространственная частота освещённости в оптическом изображении $f_x = \frac{1}{2l_x^{\text{шп}}}$, то пространственная частота в дискретном изображении будет такой же, но при этом дискретные значения освещённости существенно зависят от фазы φ . А при $\varphi = \frac{\pi}{2}$ и $\varphi = \frac{3\pi}{2}$

информация о пространственном гармоническом изменении освещённости в изображении будет потеряна.

На рис. 7 показаны варианты дискретных изображений, когда освещённость в оптическом изображении изменяется с пространственной частотой $f_x = \frac{1}{2l_x^{\text{шп}}}$ при трёх значениях фазы: $0, \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2}$, а

ширина апертуры субпикселя $l_x^{\text{ап}} = 0,008$ мм и расстояние между центрами соседних субпикселей $l_x^{\text{шп}} = 0,01$ мм.



а) б)
Рис. 7. Дискретное изображение E^* , когда пространственная частота освещённости в оптическом изображении $f_x = 50 \text{ мм}^{-1}$ и фаза оптического изображения: а — $\varphi = 0$; б — $\varphi = \frac{\pi}{4}$; в — $\varphi = \frac{\pi}{2}$



в)

**СПЕЦИФИКА ЗАПИСИ ИЗОБРАЖЕНИЯ,
ОСВЕЩЁННОСТЬ В КОТОРОМ ИЗМЕНЯЕТСЯ
С ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЧАСТОТОЙ $f_x > \frac{1}{2l_x^{\text{шп}}}$**

Из теории преобразования сигналов изображения (например, [3, 4]) известно, что если не выполняются ограничения пространственных частот в оптическом изображении, сформулированные в теореме В.А. Котельникова, то в спектре освещённости в дискретном изображении появляются ложные низкие пространственные частоты, которых не было в спектре освещённости в исходном оптическом изображении, т. е. возникают искажения первого рода. Величины ложных частот f_x^* определяются следующим образом:

$$f_x^* = f_x - \frac{k}{l_x^{\text{шп}}}, \tag{7}$$

где k — целое число.

Например, если $\frac{1}{l_x^{\text{шп}}} = 100 \frac{\text{пикселей}}{\text{мм}}$, а пространственная частота освещённости в оптическом изображении $f_x = 90 \text{ мм}^{-1}$, то пространственная частота в дискретном изображении уменьшится в 9 раз: $f_x^* = -10 \text{ мм}^{-1}$ (рис. 8, рассчитанный при ширине апертуры субпикселя $l_x^{\text{ап}} = 0,008$ мм, расстоянии между центрами соседних субпикселей $l_x^{\text{шп}} = 0,01$ мм, пространственной частоте освещённо-



Рис. 8. Дискретное изображение E^* с ложной пространственной частотой $f_x^* = -10 \text{ мм}^{-1}$ в дискретном изображении это изменение не проявляется.

сти оптического изображения $f_x = 90 \text{ мм}^{-1}$ и его фазе $\varphi = 0$. Знак «минус» в f_x^* означает, что направление изменения освещённости в дискретном сигнале меняется на противоположное, однако при косинусоидальном законе изменения освещённости и фазе $\varphi = 0$ во входном изображении, в дискретном изображении

СПЕЦИФИКА ЗАПИСИ ИЗОБРАЖЕНИЯ, ОСВЕЩЁННОСТЬ В КОТОРОМ ИЗМЕНЯЕТСЯ

С ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЧАСТОТОЙ $f_x = \frac{1}{l_x^{\text{шп}}}$

Если пространственная частота в спектре освещённости в оптическом изображении равна или в целое число раз больше частоты $\frac{1}{l_x^{\text{шп}}}$, то в спектре освещённости в дискретном изображении, в соответствии с уравнением (7), появляется ложная пространственная частота, равная 0. Такое значение пространственной частоты означает, что дискретные значения освещённости на каждом субпикселе будут одинаковыми. При этом величина освещённости в дискретном изображении, одинаковая во всех субпикселях, зависит от ширины апертуры субпикселя и от фазы изменения освещённости в оптическом изображении. Так, например, при $l_x^{\text{шп}} = 0,01 \text{ мм}$, $l_x^{\text{ап}} = 0,008 \text{ мм}$ и $f_x = \frac{1}{l_x^{\text{шп}}}$ дискретные освещённости на апертурах субпикселей будут разные в диапазоне от 0,383 до 0,617 в зависимости от величины фазы φ , характеризующей величину сдвига гармонического сигнала оптического изображения относительно линии субпикселей.

ПОВОРОТ ОПТИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ РЯДОВ ПИКСЕЛЕЙ

Выше рассматривался вариант, когда изменения освещённости в оптическом изображении, формируемом объективом, были

направлены строго вдоль оси x , т. е. были ориентированы вдоль горизонтальных рядов пикселей. В реальной практике фото- и киносъёмки обеспечить выполнение этого условия невозможно, да и нет в этом необходимости. При фото- и киносъёмке в подавляющем большинстве случаев направления изменения освещённости в оптическом изображении наклонены относительно рядов пикселей.

Пусть направление изменения освещённости в оптическом изображении, происходящего по гармоническому закону с пространственной частотой $f_{\text{оп}}$, повернуто относительно пространственной оси x на угол α . Тогда в муаровом узоре, вызванном поворотом направления изменения освещённости в оптическом изображении относительно горизонтальных рядов пикселей, чередуются светлая, тёмная, светлая, тёмная полосы. В этом случае, измеряемое в пикселях расстояние n_m между полосами муара одинаковой яркости (например, светлыми) может быть рассчитано по формуле [7]:

$$n_m = \text{int} \left(\frac{1}{2f_{\text{оп}}l_x^{\text{шп}}\text{tg}\alpha} \right), \quad (8)$$

где int — функция выделения целого числа из аргумента $\frac{1}{2f_{\text{оп}}l_x^{\text{шп}}\text{tg}\alpha}$.

Очевидно, что муаровые полосы в дискретном изображении будут наиболее чёткие, когда аргумент $\frac{1}{2f_{\text{оп}}l_x^{\text{шп}}\text{tg}\alpha}$ равен чётному

числу при фазе $\varphi = 0$ или $\varphi = \pi$ и нечётному числу при фазе $\varphi = \frac{\pi}{2}$ и $\varphi = \frac{3\pi}{2}$.

В случае, когда изменение освещённости в оптическом изображении направлено не вдоль оси x , а вдоль оси y , в дискретном изображении могут появиться горизонтальные муаровые полосы.

При повороте направления изменения освещённости в оптическом изображении относительно рядов пикселей муаровые полосы в ортогональном направлении появятся даже тогда, когда частота пространственной дискретизации совпадает с пространственной частотой оптического изображения! Хотя, как показано выше, если поворота нет, то при такой пространственной частоте не только муара, но и информации об изменениях освещённости, присутствовавшей

в оптическом изображении, в дискретном изображении не будет — в дискретном изображении запишется равномерное серое поле.

Для примера рассчитаем дискретное изображение, записываемое матрицей с шириной апертуры субпикселя $l_x^{ап} = 0,008$ мм и расстоянием между центрами соседних субпикселей $l_x^{шп} = 0,01$ мм. Пусть освещённость в оптическом изображении изменяется по гармоническому закону с пространственной частотой 50 мм^{-1} , фазой $\varphi = 0$ и углом поворота направления изменения освещённости в оптическом изображении относительно горизонтальных рядов пикселей матрицы, равным $\alpha = 4,1^\circ$. Тогда из уравнения (7) получаем, что расстояние между муаровыми полосами в ортогональном направлении равно 14 пикселям.

Повторим, что если бы угол $\alpha = 0$, то дискретное изображение в этом случае имело бы вид, показанный на рис. 7.

Фрагмент дискретного изображения, при принятых исходных данных и угле поворота $\alpha = 4,1^\circ$, приведён на рис. 9, где хорошо видны вертикальные полосы муара.

Поскольку при фото- и киносъёмке в исходных оптических изображениях периодические пространственные элементы освещённости почти всегда искривлены, сдвинуты относительно рядов пикселей, изображены в разном масштабе (пример — платье или костюм в полоску, облегающие фигуру человека), то в дискретном изображении образуются разнообразные причудливые картины муарового узора.

При киносъёмке, когда записывают изменяющиеся в размерах или движущиеся относительно кинокамеры объекты съёмки, муаровые узоры будут изменяться во времени.



Рис. 9. Муар при повороте направления изменения освещённости в оптическом изображении относительно горизонтальных рядов пикселей матрицы [7]

На рис. 10 приведён пример муара, появившегося в дискретном изображении при киносъёмке актрисы, на которой платье в мелкую полоску. Этот пример подтверждает правильность выполненного в статье анализа процесса пространственной дискретизации изображения матрицей фото- и киноаппарата.



Рис. 10. Фрагмент кинокадра с муаром на платье в мелкую полоску [8]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана методика расчёта пространственной частотной характеристики светочувствительной матрицы фото- и киноаппарата. Анализ пространственной частотной характеристики матрицы позволяет сделать следующие выводы.

1. Разрешающая способность светочувствительной матрицы имеет несколько значений, кратных обратной величине апертуры субпикселя.
2. Если коэффициенты передачи контраста имеют отрицательные значения, то это означает, что соответствующие пространственные частоты при пространственной дискретизации изображения сдвигаются по фазе на 180° , в результате чего в изображении гармонического изменения яркостей с такими частотами светлые и тёмные участки меняются местами.

3. Частота пространственной дискретизации сигнала изображения определяется как обратная величина шага пикселей в матрице и не соответствует разрешающей способности матрицы. Частота пространственной дискретизации всегда меньше разрешающей способности матрицы.

4. Согласно теореме В.А. Котельникова, для предотвращения возможности появления пространственных искажений первого рода (муар) необходимо до процесса пространственной дискретизации изображения (до экспонирования матрицы) произвести оптическую фильтрацию изображения, в результате которой будут подавлены все пространственные частоты, превышающие половину частоты пространственной дискретизации. Для такой фильтрации перед матрицей устанавливают OLPF-фильтр. Однако в ре-

зультате такой фильтрации разрешающая способность фото- или киноаппарата уменьшится более чем в два раза.

5. Если пространственная частота в оптическом изображении превышает $\frac{1}{2l_{\text{шп}}}$, то в спектре дискретного изображения появляются

низкие пространственные частоты, которых не было в спектре исходного оптического изображения (пространственные искажения первого рода).

6. Пространственная дискретизация изображения разрушает непрерывность изменения освещённости, присутствующую в исходном оптическом изображении. При этом разница между значениями освещённости в соседних пикселях существенно зависит от пространственной частоты изменения освещённости в оптическом изображении, от шага пикселей, а также от фазы колебаний освещённости.

7. Показано, что муар возникает в результате поворота оптического изображения объектов с периодической структурой относительно горизонтальных или вертикальных рядов пикселей матрицы. Муар в дискретном изображении появляется даже при тех пространственных частотах, при которых в случае отсутствия поворота происходит полная потеря информации об изменениях освещённости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бирючинский С.Б., Тихомирова Г.В., Барский И.Д. Анализ критериев пригодности объективов для стереосъёмки // Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других областях: VIII Международная научно-практическая конференция, Москва, 25–26 апреля 2016 г.: Материалы и доклады / под общей редакцией О.Н. Раева. М.: ВГИК, 2016. С. 137–145.

2. Взгляд изнутри: матрицы цифровых камер. <http://habrahabr.ru/post/143169/>. Дата обращения 17.11.2013.

3. Гребенников О.Ф. Основы записи и воспроизведения изображений (в кинематографе): учебное пособие для вузов кинематографии. М.: Искусство, 1982. 239 с.

4. Гребенников О.Ф., Тихомирова Г.В. Основы записи и воспроизведения информации (в аудиовизуальной технике): учебное пособие. СПб.: СПбГУКиТ, 2002. 712 с.

5. Каценеленбоген Э.Д. Фотографическая способность // Фотокинетехника / гл. ред. Е.А. Иофис. М.: Советская энциклопедия, 1981. С. 267, 268.

6. Мудрёнов П.А. Методика определения фотографической разрешающей способности цифрового изображения // Инновационные технологии в кинематографе и образовании: IV Международная научно-практическая конференция, Москва, 26–29 сентября 2017 г.: Материалы и доклады / под общей редакцией О.Н. Раева. М.: ВГИК, 2017. С. 86–98.

7. Раев О.Н. Преобразование оптического изображения с периодическим изменением освещённости в кадре матрицей фото- и киноаппарата // Мир техники кино. 2018. № 3(12). С. 11–17.

8. Раев О.Н. Разрешающая способность матриц фото- и киноаппаратов // Мир техники кино. 2018. № 2(12). С. 3–8.

9. Шульман М.Я. Разрешающая способность фотографической системы // Большая советская энциклопедия. 1976. Том 21. С. 430, 431. Ст. 1278, 1279.

Oleg N. Raev

SPATIAL FREQUENCY CHARACTERISTICS OF DIGITAL CAMERA MATRIX

Oleg N. Raev, PhD (Engineering), assistant professor
E-mail: ncenter@list.ru
Russian Federation State Institute of Cinematography
named after S.A. Gerasimov

The article describes a method of calculating the frequency characteristics of digital photo and film camera matrices and considers the aperture of the discrete element of the photosensitive matrix whose Fourier transform makes it possible to estimate the matrix's spatial frequency characteristics. It also presents the algorithm of estimating the matrix's resolution capacity defined a spatial frequency where the contrast rendering quotient equals to the minimal detectable value. The matrix has a number of such spatial frequencies which, in the case of insufficient optical filtration of the video signal, can lead to its discretization and resolution value ambivalence as well as the emergence of moire effect. The image distortions due to spatial discretization are considered.

Key words: digital video camera, digital photo camera, spatial frequency characteristic, photosensitive matrix, discretization, spatial distortions, moire, resolution.

REFERENCES

1. Biryuchinskii S.B., Tikhomirova G.V., Barskii I.D. Analiz kriteriev prigodnosti ob'ektivov dlya stereos'emki // Zapis' i vosproizvedenie ob'emnykh izobrazhenii v kinematografe i drugikh oblastiakh: VIII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, Moskva, 25–26 aprelya 2016 g.: Materialy i doklady / pod obshchei redaktsiei O.N. Raeva. M.: VGIK, 2016. P. 137–145.
2. Vzglyad iznutri: matritsy tsifrovyykh kamer. <http://habrahabr.ru/post/143169/>. Data obrashcheniya 17.11.2013.
3. Grebennikov O.F. Osnovy zapisi i vosproizvedeniya izobrazhenii (v kinematografe): uchebnoe posobie dlya vuzov kinematografii. M.: Iskusstvo, 1982. 239 p.
4. Grebennikov O.F., Tikhomirova G.V. Osnovy zapisi i vosproizvedeniya informatsii (v audiovizual'noi tekhnike): uchebnoe posobie. SPb.: SPbGUKiT, 2002. 712 p.
5. Katsenelenbogen E.D. Fotograficheskaya sposobnost' // Fotokinotekhnika / gl. red. E.A. Iofis. M.: Sovetskaya entsiklopediya, 1981. P. 267, 268.
6. Mudrenov P.A. Metodika opredeleniya fotograficheskoi razreshayushchei sposobnosti tsifrovogo izobrazheniya // Innovatsionnye tekhnologii v kinematografe i obrazovanii: IV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, Moskva, 26–29 sentyabrya 2017 g.: Materialy i doklady / pod obshchei redaktsiei O.N. Raeva. M.: VGIK, 2017. P. 86–98.
7. Raev O.N. Preobrazovanie opticheskogo izobrazheniya s periodicheskim izmeneniem osveshchennosti v kadre matritsei foto- i kinoapparata // Mir tekhniki kino. 2018. No 3(12). P. 11–17.
8. Raev O.N. Razreshayushchaya sposobnost' matrits foto- i kinoapparatov // Mir tekhniki kino. 2018. No 2(12). P. 3–8.
9. Shul'man M.Ya. Razreshayushchaya sposobnost' fotograficheskoi sistemy // Bol'shaya sovetskaya entsiklopediya. 1976. Vol. 21. P. 430, 431. St. 1278, 1279.

УДК 77.0: 621.391
ББК 37.94

Мухин С.Н.

ПАРАЛЛАКС-МИРА ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЛЕНТИКУЛЯРНОЙ СТЕРЕОПЕЧАТИ

Мухин Сергей Николаевич
E-mail: fainprint@gmail.com
Компания «Файнпринт»

Предложен принцип создания тест-объекта для оценки качества лентиккулярной печати. Выполненные эксперименты подтверждают простоту и эффективность предложенного принципа. Особое внимание уделено преимущественности традиций изобразительного искусства и лентиккулярного стерео.

Ключевые слова: лентиккуляр, стерео, варио, линзовый растр, качество изображения, пикториализм, импрессионизм, стереофотография.

1. ОПИСАНИЕ ЗАДАЧИ

Лентиккулярные стереотехнологии хорошо известны. Линзовый растр (лентиккуляр), нанесённый на многокурсное закодированное изображение, заменяет стереочки. Эти технологии позволяют не только наблюдать глубину показываемой сцены без специальных стереочков, но и дают возможность «оглядывания», потому что изображений не 2, а гораздо больше.

Исходным материалом является набор ракурсов, снятых с небольшим смещением (или аналогичный набор, созданный в программах 3D-моделирования или 3D-конвертации), каждый ракурс которого «нарезан» на узкие вертикальные полосы, располагае-

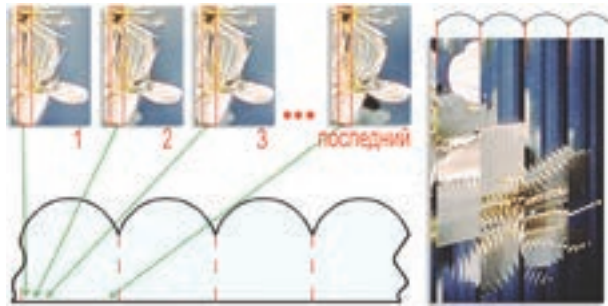


Рис. 1. Принцип кодирования лентичулярных стереоизображений

мые вдоль линз таким образом, чтобы под каждой линзой оказался полный набор полосок со всех исходных изображений. Этот процесс называется «кодирование». Нанесённый на кодированное изображение линзовый растр выполняет обратную функцию — декодирование. В результате с разных сторон (в пределах угла обзора) видны разные исходные ракурсы, каждая пара из которых является стереопарой (рис. 1).

Большое количество стереопар, создающих свободу оглядывания, является плюсом по сравнению с другими способами просмотра стереоизображений. Лентичулярное стереоизображение является автостереоскопическим, поэтому его часто сравнивают с голографией. Наиболее существенным недостатком лентичулярных стереоизображений является падение резкости изображения деталей, которые сильно «вынесены вперёд или назад» из плоскости печати. Причём «размытие» тем сильнее, чем больше параллаксы.

В данной статье под «параллаксом» понимается максимальное смещение детали изображения между первым и последним ракурсом исходного набора, т. е. максимальный параллакс. Его не следует путать с видимыми параллаксами, создающими диспаратность каждой видимой стереопары, которые гораздо меньше максимальных, так как угол обзора используемых линзовых растров в несколько раз больше угла конвергенции глаз зрителей, которые рассматривают стереоизображение. Видимые параллаксы (и диспаратность) зависят также от расстояния просмотра. В отличие от стереокино, просматриваемого с помощью стереочков, где видимая глубина сцены увеличивается при увеличении дистанции просмотра, диспаратность (и видимая глубина) лентичулярного стереоизображения уменьшается при удалении зрителя от картины.



Рис. 2. Примеры использования мягкого оптического рисунка. Фотографии А. Колосова, А. Ерина (пикторальная фотография), Й. Дуловича [1]

Данная статья посвящена одной из главных проблем лентичулярного стереоизображения: низкая чёткость деталей, имеющих большие параллаксы.

Прежде чем перейти к чёткости изображения в лентичулярных стереоизображениях, напомним о так называемом «мягком рисунке». Мягкий рисунок — это результат сложной фильтрации высоких пространственных частот в изображении. Смягчение изображения часто используется в кино. Венгерский фотограф Йено Дулович замечательно объяснил особенности мягкого рисунка в книге «Моя техника, мои снимки» [1], ещё в 1940-е годы он сформулировал четыре преимущества мягкого рисунка. Кроме прочего, Й. Дулович обосновывал исключительную важность сочетания мягкорисующей оптики с выравнивающим проявлением плёнки, т. е. предложил сочетание фильтров высоких и низких пространственных частот (рис. 2).



Рис. 3. Примеры картин художников-импрессионистов [3]

Лентикулярное стереоизображение очень похоже на пикториальную фотографию с малой глубиной резкости (см. рис. 2). С этим приходится мириться. Поэтому важно, чтобы лентикулярное стереоизображение было не столько информационным, сколько эмоциональным, чтобы глубина подчёркивала то впечатление, которое автор хочет создать у зрителя своим замыслом, чтобы низкое разрешение было не так заметно. Поэтому можно утверждать, что лентикулярное стереоискусство не только родственно пикториализму, но и является прямым творческим наследником французского импрессионизма. Известно, что творческие эксперименты Моне, Ренуара и других художников были направлены, в том числе, на усиление эффекта объёмности при передаче глубины пространства на плоскости (рис. 3). Известно также, что значительное влияние на творчество импрессионистов оказало зарождающееся искусство фотографии, а большинство несовершенных объективов того времени было именно мягкорисующими и с маленькой глубиной резкости.

С другой стороны, многочисленные исследования стереоприса доказывают важность хорошей детализации стереоизображений, потому что зрению проще «зацепиться» за чёткие и резкие детали, имеющие параллаксы. Поэтому требуются решения, позволяющие повысить чёткость лентикулярного изображения, а для их поиска необходимы надёжные способы измерения чёткости.

2. ОПИСАНИЕ ПРЕДЛАГАЕМОЙ МЕТОДИКИ

Методика разработана на основе материалов статьи А.В. Ельцова [2]. Проведено исследование изображений, полученных печатью на 5 принтерах файлов, подготовленных несколькими способами с применением нескольких типов линзовых растров. Всего было напечатано более 50 образцов лентикулярных стереоизображений.

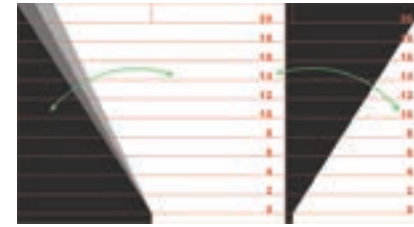


Рис. 4. Принцип создания параллаксов тест-объекта

В качестве тест-объекта взят файл с изображением границы чёрного и белого полей. Чёткая «ступенька» — это сигнал изображения с бесконечным спектром пространственных частот. Второе и третье изображения — это та же граница, но с размытием шириной в 1 и в 3

линзы лентикулярного растра, т. е. в изображении чёткую границы между чёрным и белым полями отфильтрованы высокие пространственные частоты. Затем в графическом редакторе эта «ступенька» была наклонена, обеспечив положительны параллаксы в стереопарах, и на полученный набор ракурсов была наложена шкала, позволяющая измерять максимальные параллаксы в сантиметрах. В результате получился набор исходных ракурсов для кодирования, достаточный по количеству кадров (рис. 4).

Большинством принято, что оптимальное количество ракурсов определяется делением разрешения печати (число пикселей на дюйм) на линейатуру растра (число линз на дюйм).

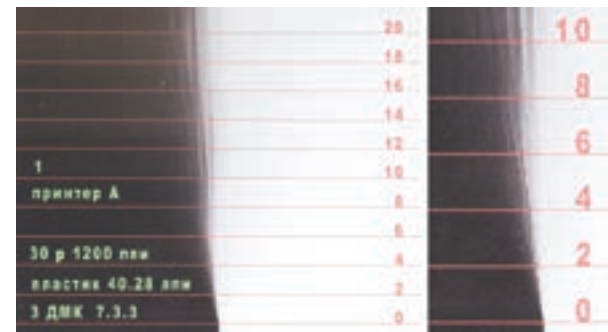


Рис. 5. Ghost-эффект, недостаточное количество исходных ракурсов

Первая серия экспериментов выполнена по этому принципу: взят растр 40 лин/дюйм, произведена печать изображений с разрешением 1200 ppi, т. е. с расчётом на 30 ракурсов.

На рис. 5 видны очевидные дефекты, особенно заметные в области больших параллаксов, более 6 сантиметров. При параллаксах, не превышающих 3–4 см, заметных дефектов не наблюдается. При параллаксах в диапазоне 4–6 см дефекты имеют приемлемую величину. Это тот самый ghost-эффект, описанный А.В. Ельцовым [2]. К сожалению, на фотографии не получается показать все нюансы, которые видны при непосредственном рассматривании изображения в динамике или на видео.

Для второй серии экспериментов были подготовлены следующие образцы:

- 60 ракурсов, без размытия резкой кромки;
- 150 ракурсов, без размытия резкой кромки;
- 150 ракурсов, без размытия резкой кромки, образец повернут на 90 градусов;



Рис. 6. Печать без поворота при разных настройках кодирования

— 150 ракурсов, размытие резкой кромки шириной в 3 линзы растра;

— другие виды образцов.

После внимательного рассматривания отпечатков (в том числе приведённых на рис. 6), были сделаны следующие выводы:

— при увеличении числа ракурсов заметность ghost-эффекта уменьшается;

— при размытии исходных ракурсов, заметность ghost-эффекта уменьшается;

— при 60 ракурсах без размытия ghost-эффект не заметен до параллаксов 50–60 мм;

— при 150 ракурсах с размытием шириной в 3 линзы ghost-эффект не заметен до параллаксов 80–100 мм, но становится заметной потеря чёткости на малых параллаксах 10–20 мм;

— при 150 ракурсах сохраняется чёткость малых параллаксов, при этом ghost-эффект не заметен до параллаксов 100–120 мм;

— при повороте на 90 градусов (печатающая головка двигается вдоль линз) происходит заметный рост чёткости, но возникают дефекты, связанные с неравномерностью подачи бумаги, так как вдоль подачи бумаги нет энкодера;

— во всех перечисленных вариантах при больших параллаксах (более 30 мм) размытие относительно велико; это ограничивает возможность использования больших (более 30–50 мм) параллаксов для деталей с высокой чёткостью;

В итоге сформулируем следующую рекомендацию: ракурсов должно быть больше, но при этом размытие должно быть «разумным». Сильно размывать рекомендуется лишь те детали, которые имеют большие параллаксы.

Можно ли улучшить качество стереоизображения при печати на струйном принтере, когда нет возможности изменить свойства драйвера печати?

Среди изготовителей лентикулярных изображений пользуется популярностью такой приём, как поворот изображения при кодировании. Некоторые программы-кодировщики позволяют это делать для подавления дефектов типа «муар». Некоторые программы, например, «Фотопроектор», позволяют кодировать с поворотом (рис. 7), при этом угол поворота вычисляется автоматически.



Рис. 7. Печать с поворотом при разных настройках кодирования файла

Для проверки справедливости этого мнения был взят образец с 30 ракурсами без размытия из первой серии. После печати получился результат без заметных улучшений. Ghost-эффект не исчез в результате поворота изображения. Вероятно, использованный набор ракурсов в сочетании с настройками программы оказался не оптимальным. Поэтому было закодировано 60 ракурсов с размытием шириной в 1 линзу растра. Кодированное изображение было повернуто на тот же угол. В результате ширина полосы размытия уменьшилась.

3. КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА

За границы области размытия были условно приняты оптические плотности $\pm 20\%$ от крайних значений. Эти области были выделены в изображениях контрастным цветом (рис. 8).

Известно, что линзовый растр обладает свойствами микроскопа с переменной кратностью увеличения. Эта «локальная крат-



Рис. 8. Граница полосы размытия разной ширины на разных образцах

ность увеличения» равна числу линз лентикюляра, которое приходится на величину параллакса.

Если параллакс составляет 100 мм, а ширина линзы растра (40 линз на дюйм) равна 0,635 мм ($25,4/40 = 0,635$), то кратность увеличения получается 157,5 крат. Если ширина размытия равна 18,5 мм, то разделив эту величину на кратность увеличения лентикюляра, получим реальную ширину полосы размытия границы (без лентикюляра) примерно 0,117 мм. Так как эта полоса состоит из перехода от видимых светлых элементов к тёмным, то её можно условно представить, как состоящую из 2 видов пикселей — чёрных и белых. На 1 дюйм ширины печати приходится примерно 217 таких полос. В сумме это соответствует качеству печати 434 полноцветных пикселей на дюйм. Аналогично при ширине видимого подрастром размытия 13 мм ширина этого размытия без растра получается 0,0825 мм, и качество печати может быть приблизительно оценено как 615 пикселей на дюйм.

Эти результаты нельзя считать результатом измерения качества печати, потому что они получены косвенным образом и содержат существенные погрешности. Однако можно сделать вывод, что предложенный принцип создания параллакс-мира, используемой в качестве тест-объекта для оценки качества печати, выполняет свою функцию. При печати файлов параллакс-мира на изображениях не только видны характерные дефекты (ghost-эффекты), но и ширина полосы размытия в целом, косвенно характеризующая разрешение печати. Меняя параметры тест-объекта (число ракурсов, степень размытия резкой кромки, максимальные параллаксы), режимы печати, сорта бумаги, виды лентикюляра и т. д., можно подобрать оптимальные параметры, для создания файлов реальных стереокартин, что повысит, в свою очередь, качество их печати.

Использование в основе предложенной методики единичного пространственного сигнала и фильтрации частот оказалось оправданным. Изложенная выше методика оценки качества лентикюлярной печати рекомендуется к применению в практических задачах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный тест-объект для оценки качества лентикюлярной стереопечати (параллакс-мира) подходит для задач тестирования и настройки оборудования, программного обеспечения, подбо-

ра оптимальных материалов и оптимизации приёмов допечатной подготовки файлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дулович И. Моя техника, мои снимки. М.: Искусство, 1957.
2. Ельцов А.В. Резкость и глубина растровых стереоизображений. www.stereogen.ru/Stat1.htm. Дата обращения: 03.04.2018.
3. Импрессионисты. Жизнь и творчество в 500 картинах. М.: ЭКСМО, 2015.

Sergey N. Mukhin

PARALLAX TEST FOR EVALUATING THE QUALITY OF LENTICULAR STEREO PRINTING

Sergey N. Mukhin
E-mail: fainprint@gmail.com
Fainprunt Ltd

The paper proposes the principle of creating a test object for assessing the quality of lenticular printing. A series of experiments proves the simplicity and effectiveness of the proposed principle. Particular attention is paid to the continuity of the traditions of fine art and lenticular stereo.

Key words: Lenticular, stereo, vario, lens raster, image quality, pictorialism, impressionism, stereo photography.

REFERENCES

1. Dulovich I. Moya tekhnika, moi snimki. M.: Iskusstvo, 1957.
2. El'tsov A.V. Rezkost' i glubina rastrovyykh stereoizobrazhenii. www.stereogen.ru/Stat1.htm. Data obrashcheniya: 03.04.2018.
3. Impressionisty. Zhizn' i tvorchestvo v 500 kartinakh. M.: EKSMO, 2015.

УДК 778.534.19
ББК 37.95

Мелкумов А.С.

ЭКРАНИЗАЦИЯ ТЕАТРАЛЬНЫХ ПОСТАНОВОК В СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОМ ФОРМАТЕ

Мелкумов Александр Сергеевич
E-mail: info@stereokino.ru
Научно-исследовательский кинофотоинститут

Длительное время принципиальным отличием экранизации от театральной постановки являлось условие наблюдения плоскостного двухмерного изображения на киноэкране в отличие от максимально реалистического восприятия трёхмерных персонажей в реальной пространственной среде. Данная статья рассматривает особенности экранизации театральных постановок в стереоскопическом формате.

Ключевые слова: экранизация, стереоскопия, стереопсис, пространственная композиция, рампа, коэффициент передачи пространства, кино-монтаж, фильм.

ВВЕДЕНИЕ

Экранизацией называется интерпретация средствами кинематографа произведения другого вида искусства. Чаще всего мы имеем дело с экранизацией произведений литературы. Встречаются случаи многоуровневой интерпретации, когда по литературному оригиналу пишется театральная пьеса, по которой ставится спектакль, а последний подвергается экранизации, результатом которой является фильм-спектакль. Театральный зритель, наблюдая спектакль, видит, выражаясь кинематографическим языком, не просто

общий план сцены, а занимается, условно говоря, интеллектуальным монтажом, выделяя и «укрупняя» тот или иной образ, переводя взгляд с одного персонажа на другой. Но и видеозапись сценического действия одной камерой отличается от того, что будет видеть зритель в фильме. Обычно съёмка ведётся несколькими камерами с разных точек, а полученный материал подвергается монтажу, и таким образом происходит процесс воссоздания «интеллектуального монтажа». Из многообразия точек съёмок возникает результирующий образ, который с экрана передаётся кинозрителю как результат восприятия «коллективным театральным зрителем».

По мере развития кинотехнических средств фильмы-спектакли оказывали различное эмоциональное воздействие на кинозрителя. В эпоху чёрно-белого кино фильмы отличались от театрального оригинала отсутствием цвета. С приходом цвета происходит не только цветовая конвергенция оригинала с экранным образом, но и рождение цветового контрапункта, когда можно подчеркнуть, дать в столкновении цветной и монохромный образы, показать рождение цвета или его угасание в той или иной сцене.

Длительное время принципиальным отличием экранизации от театральной постановки являлось условие наблюдения плоскостного изображения на киноэкране, в отличие от максимально реалистического восприятия трёхмерных персонажей в реальной пространственной среде. Данная статья рассматривает особенности экранизации театральных постановок в стереоскопическом формате на примере стереофильма «Стена» по театральной постановке Приморского академического драматического театра им. М. Горького, поставленного по одноимённому роману Владимира Мединского.

СТЕРЕОСЪЁМКА: ПОДБОР И РАССТАНОВКА СТЕРЕОКАМЕР, ВЫБОР ТОЧЕК СЪЁМОК

Для полноты отображения сценографии театральной постановки съёмка, как правило, ведётся несколькими камерами. Такая съёмка является многокамерной, но возможна и многократная, если есть возможность повторной записи спектакля. В таком случае при одном и том же количестве камер, удваивается количество съёмочных точек, что значительно обогащает отснятый материал. Но необходимо, чтобы спектакль игрался на одной и той же сцене,

в одинаковых световых и акустических условиях. Это условие относится и к традиционной съёмке. К сожалению, в случае с фильмом «Стена» съёмки проходили на двух сценических площадках разной конфигурации, с разными осветительными приборами и разными по мощности экранами фонового изображения.

При выборе расположения камер принципиально важно учитывать фактор пространственной передачи объекта. Трёхмерное изображение оценивается перспективной характеристикой передачи пространства, так называемым коэффициентом передачи глубины Θ , который описывает степень стереоскопической выраженности (подобно цветовой насыщенности) изображения. Величина Θ при постоянном положении зрителя в кинозале $L_{зр}$ зависит от дистанции камеры до объекта съёмки L_c :

$$\Theta = \frac{L_{зр}}{L_c}. \quad (1)$$

Один и тот же масштаб изображения сценического действия можно получить при различном фокусном расстоянии объектива, меняя дистанцию съёмки до объекта L_c . Согласно формуле (1), глубина характеризуется определённой степенью сжатия ($L_c > L_{зр}$) или растяжения ($L_c < L_{зр}$). Поэтому к подбору дистанции съёмки следует относиться с учётом его влияния на пространственную передачу объекта. Чем ближе мы находимся к объекту съёмки, тем выше стереоскопическая выраженность данного объекта [2, с. 31] (рис. 1 и 2).

При стереосъёмке камеры следует располагать максимально близко к театральной рампе. Для этого рекомендуется использо-



Рис. 1. Сцена снята с дальней дистанции



Рис. 2. Сцена снята с ближней дистанции



Рис. 3. Низкая степень «выхода» руки со свитком



Рис. 4. Высокая степень «выхода» руки со свитком

вать дистанционно управляемые кран-стрелки и операторские тележки. В случае отсутствия данных технических средств проводится дополнительная съёмка без зрителей с расположением камеры непосредственно на сцене. Степень «выхода» частей объекта

в предэкранное (предрамповое) пространство пропорциональна дистанции съёмки. Так, например, на поясном плане актёра, снятого с дистанции двух метров, протянутая рука «выйдет» на 50% дистанции зрителя до экрана, при той же крупности, но снятой с дистанции десяти метров, «выход» составит 10% (рис. 3 и 4).

Величина базиса съёмки также влияет на стереоскопическую выраженность пространственной композиции [2, с. 29]:

$$L_{\text{рамп}} = \frac{B \cdot f}{p_{\infty}}, \quad (2)$$

где $L_{\text{рамп}}$ — дистанция рампы, B — базис стереосъёмки, f — фокусное расстояние съёмочной оптики, p_{∞} — параллакс бесконечности.

Как видно из формулы (2), с увеличением базиса съёмки увеличивается дистанция до рампы — виртуальной плоскости нулевых параллаксов, расположенной перпендикулярно оптической оси объектива (не путать с театральной рампой). Это означает, что две стереокамеры, расположенные на разных дистанциях от рампы, можно привести к схожему коэффициенту пространственной передачи глубины Θ , если у них будут разные базисы съёмок. Чем больше величина съёмочного базиса, тем больше диспаратность изображений между левым и правым ракурсами, тем эффективнее задействованы бинокулярные факторы на общих планах, передающих сценографию постановки. При стереосъёмке спектакля «Стена» использовалась камера «Sony HXR-NX3D1E» со съёмочной базой 31 мм и камера «Panasonic AG-1» с базой 60 мм.

Первая располагалась непосредственно перед театральной рампой, когда съёмка велась при зрителях, или на сцене при съёмке в отсутствие зрителей. Вторая камера находилась в партере и в первый день вела запись адресного плана всей сценографии. На второй день оператору этой камеры была поставлена задача вести съёмку с внутрикадровым монтажом посредством зуммирования.

В традиционном кинематографе мы обычно выстраиваем композицию по «картинной плоскости». Это так называемая виртуальная плоскость, перпендикулярная оптической оси съёмки и ограниченная границами кадра. Поэтому для полноты передачи сценографии фронтальная точка съёмки является генеральной, так как она успешно передаёт мизансцену передвижения персонажей вдоль сцены. Центральное расположение камеры позволяет рав-

но масштабнo снимать сцены, проигрываемые актёрами в левой или правой части декорации. Панорамируя, следя за актёром, в отдельных случаях приближаясь к нему через зуммирование, можно вести непрерывную съёмку всего спектакля даже одной камерой.

В стереокино слежение за передвижением актёра вдоль сцены путём горизонтального панорамирования даёт маловыразительный по стереопсису результат. Необходима такая точка съёмки, чтобы перемещение актёров происходило вдоль оптической оси камеры при неизменных границах кадра. В этом случае будет более ярко выражено композиционное пространство по глубине кадра. Это позволит ограничить сменяемость точек съёмки и одновременно оживить статуарность кадра, так как композиция будет насыщена внутрикадровым движением. Достигается это не фронтальным, а диагональным расположением камер относительно рампы сцены (рис. 5 и 6).



Рис. 5. Фронтальная композиция



Рис. 6. Диагональная композиция

Сценография передаётся более протяжёнными и многоплановыми композициями. С таких точек съёмки перемещение актёров вдоль сцены переходит во внутрикадровое мизансценирование с переменным изменением крупности персонажей, выходом их на передний план к камере. Но, в отличие от фронтального расположения камеры, диагональное не позволяет иметь симметричные по масштабности композиции левых и правых участков сцены. Разную масштабность можно компенсировать зуммированием, укрупнением участка сцены, расположенного в противоположной части рампы, но тогда из-за разности дистанций съёмки формируется разный стереопсис изображения. Это как монтировать два плана разной цветовой насыщенности. Поэтому при многокамерной съёмке камеры следует размещать на симметричных диагональных точках относительно рампы сцены, а при многократной, как это было при съёмке спектакля «Стена», — последовательно в два дня снимать с левой и правой позиции.

Симметричное диагональное расположение камер позволяет свести к минимуму панорамирование, которое маловыразительно в стереокино. Каждая камера снимает свой участок сцены, не следит за актёром, а «выпускает» его в соседнее пространство, где его «принимает» фронтальная камера и «передает» третьей камере, расположенной в противоположном участке театральной рампы. При таком расположении камер выстраиваются три композиционных пространства. Два, протяжённых по глубине всей сцены независимо от её ширины, с глубинным внутрикадровым мизансценированием в левой и правой стороне сцены, и третье, фронтальное пространство, ограниченное границами кадра. На центральной точке рекомендуется располагать две камеры, одна, снимающая общий план всей сценографии, а вторая — на значительно более близкой дистанции, чтобы снимать центральный участок средним планом, в котором также может происходить внутрикадровое мизансценирование по глубине сценического пространства. Эти четыре точки съёмки позволяют иметь многоплановый материал для монтажа сцены, общий адресный план, три плана с внутрикадровыми мизансценированием, два из которых диагональной композиции и один — фронтальной (рис. 7). В итоге кинозритель воспринимает зрительный образ сценического действия, рождённый «коллективным» театральным зрителем.

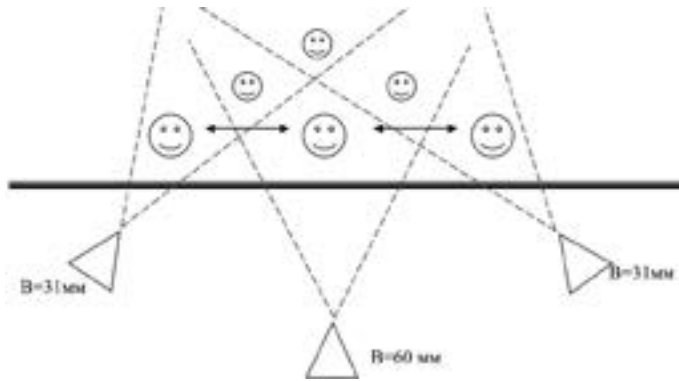


Рис. 7. Расположение камер при стереосъёмке

При многокамерной стереосъёмке следует учитывать, что в основе требований к монтажно-композиционному построению стереофильма лежат отличия в восприятии трёхмерного изображения от двухмерного. Так, например, если при традиционной съёмке мы следим за единством светового, тонального и цветового решения в пределах одного куска смонтированной сцены, то в стереокино возникает дополнительное требование к единству пространственного восприятия от плана к плану в пределах одной сцены. Для этого желательно вести съёмку в единых параметрах, избегать немотивированных изменений съёмочного базиса и ракурса съёмки. Как, например, снимать с одинаковой дистанции камерами с разными съёмочными базисами, с осторожностью использовать верхний ракурс при съёмке актёров, помнить, что в большинстве случаев зритель сидит ниже театральной рампы.

КИНОМОНТАЖ: СОЗДАНИЕ ЭКРАННОЙ ФОРМЫ ТЕАТРАЛЬНОЙ ПЬЕСЫ

Экранизация спектакля начинается с монтажной киносъёмки. И только на стадии монтажа видеозаписей происходит окончательная интерпретация театрального произведения в кинематографическое. Кадр с границами театрального действия преобразуется в структурную временную единицу монтажа. Единое театральное пространство дробится на разномасштабные подпространства (общие, средние и крупные планы) с соблюдением иллюзии единства места и действия [1, с. 89]. Из многообразия ракурсов и крупно-

стей возникает изложение спектакля в новой, экранной форме. В стереокино это уже не статично очерченная площадка театрального действия, а динамическое окно с насыщенным потусторонним пространством. Рекомендуется найти некое изобразительное решение по введению зрителя в это пространство. Так, например, фильм «Стена» начинается с медленной панорамы по пространству театрального зала для появления у кинозрителей эффекта присутствия в этом зале, постепенно погружаемого в темноту, в которой возникает экран плоского чёрно-белого изображения стены, из которой формируется заглавный титр фильма. Титр отрывается от экрана и движется на зрителя. Далее сквозь стену кинозрители видят рождение нового чёрно-белого пространства с театральным занавесом, перед которым на авансцену выходят исторические персонажи, постепенно материализуясь и проявляясь в цвете. В композиционном построении стереофильма титры фильма занимают важное положение. С их появлением у зрителя возникают первые стереоскопические ощущения, по ним он получает установку на положение плоскости рампы в зрительном зале.

В теории монтажа существует такое понятие, как «цветовой удар». В стереокино мы наблюдаем явление «стереоскопического удара», которое возникает при соседстве планов с разными по масштабу и пространственному расположению объектами относительно плоскости экрана [2, с. 130].

«Стереоскопический удар» может стать как причиной дискомфорта в восприятии (что бывает чаще), так и причиной эмоционального скачка. Ощущение дискомфорта возникает при последовательности двух композиций, в одной из которых объект расположен в заэкранном пространстве, а в другой — сразу в зальном. Поэтому следует вести монтаж кадров с последовательным изменением положения центрального объекта относительно рампы. От композиции заэкранного изображения через околорамповое положение объекта можно переходить к расположению объекта в зале. Избежать дискомфорта от «стереоскопического удара» можно, если следующий в монтаже план начинается с горизонтального проезда или панорамы и последующего «выхода» камеры с общего плана на переднеплановую композицию, но не наоборот.

Выразительно воспринимается монтажный переход между планами, именуемый наплывом. Он часто вырывает, если невоз-

можно избежать дискомфорта от «стереоскопического удара». Чем больше разница в пространственном расположении объектов в соседних планах, чем бóльшая разница в ракурсах съёмки, тем выразительнее данный художественный приём. В фильме «Стена» часто прибегали к длинным двойным экспозициям. Это позволяло, с одной стороны, как бы соединять несколько композиций одного сценического действия, снятого с разных ракурсов, а с другой стороны, более полно насыщать пространственный кадр композиционными элементами фоновых изображений, которые возникали на экране сценической площадки. Так двойными экспозициями накладывались взрывы, всполохи огня, пожар при штурме крепости польским войском. Двойной экспозицией накладывался дождь, изображение которого также было взято из материалов фоновой рирпроекции. Правильно рассчитанные по параллаксам, даже пло-



Рис. 8. Соединение нескольких композиций в одну пространственную



Рис. 9. Совмещение моноизображений с пространственными композициями

ские изображения, интегрированные в трёхмерные, создают у зрителя ощущение пространственной многоплановости композиции (рис. 8 и 9).

Такое интегрирование фоновых изображений могло кардинально изменить театральную композицию, как это произошло в эпизоде с подсолнухами, которые вначале являются не фоном, как это было на сцене, а средой, из которой появляются персонажи. То же самое можно сказать о сцене с поджогом флага польского короля. Но следует заметить, что в фильме были использованы только те изобразительные элементы, которые были задействованы в спектакле. Никаких сторонних CG-элементов не было интегрировано в изображение фильма, не считая титров с фамилиями создателей и актёров спектакля (рис. 10 и 11).

В процессе монтажа претерпевает изменение и звуковое оформление фильма. Подобно изображению, звук также подвергается монтажу, чередованию «крупностей плана» через усиление или уменьшения силы звучания, «перекидыванию» голоса одного персонажа на изображение другого. Звук на сцене и в фильме имеет разный характер звучания. В спектакле соединение речи с музыкальной фонограммой, её звучание зависит от акустических особенностей как зрительного зала, так и декораций, к тому же, музыкальное сопровождение растворяется в шумах массовки. В фильме, если в сцене нет актёрского диалога, используется не фонограмма спектакля, а звуковой файл музыкального произведения. При наличии в сцене речи и музыкального сопровождения следует совмещать музыкальный файл с фонограммой спектакля. Это по-



Рис. 10. Интегрирование персонажей в новую среду



Рис. 11. Трёхслойное совмещение моноизображений с трёхмерным

зволит не только держать одинаковый уровень звучания при монтаже планов, снятых с разноудалённых точек съёмки, но и отдельно от речи регулировать силу музыкального звучания сообразно драматургии сцены, например, если надо подчеркнуть тот или иной монолог. Сепарация речи и музыки необходима для создания пространственного звучания, важного условия для стереоскопического фильма. Без этого невозможно развести фонограмму по разным каналам, интегрировать звуковые файлы отдельно записанных игровых шумов, как-то шум сверчка, выстрела и т. п. Часто по монтажу требуется более раннее вхождение музыкальной темы, когда предыдущий эпизод ещё не завершился, или, наоборот, продолжение предыдущей музыкальной темы.

Порой настроение той или иной сцены требует в фильме включения музыкального сопровождения, даже если он не был предусмотрен в спектакле. Так, например, в финале фильма «Стена» на поклонах и аплодисментах рефреном вновь возникает печальная музыкальная тема из самого спектакля. Такое решение позволило переадресовать аплодисменты от исполнителей к их персонажам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Особенности экранизации театральных постановок в стереоскопическом формате заключаются в различиях восприятия с киноэкрана обычного и стереоскопического изображений. С ними связаны особенности композиционного построения кадра и монтажно-композиционного построения всего фильма, расположение камер на более близких дистанциях к театральной рампе, исполь-

зование диагональных точек съёмки для создания многопланового внутрикадрового мизансценирования.

Экранизация театральных постановок в стереоскопическом формате позволяет создавать произведение экранной формы, более близкой к живой театральной постановке, а значит, более эмоционально воспринимаемой кинозрителем. Пространственное трёхмерное киноизображение воспроизводит на экране более полную и верную картину сценографии, вне зависимости от жанра театрального произведения, будь-то драматический спектакль, балет или опера, а потому является более совершенным форматом сохранения театрального произведения для будущих поколений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Головня А.Д. Мастерство кинооператора. М.: Искусство, 1995.
2. Мелкумов А.С. Стереоскопический кинематограф: учебное пособие. М.: ВГИК, 2013.

Alexander S. Melkumov

SCREEN ADAPTATION OF STAGE PRODUCTIONS IN 3D FORMAT

Alexander S. Melkumov

E-mail: info@stereokino.ru

Russian Federation State Institute of Cinematography

For a long time the principal difference between the screen version and theatrical production was the condition for observing a planar two-dimensional image on a cinema screen, in contrast to the most realistic perception of three-dimensional characters in a real spatial environment. This article examines the features of the adaptation of theatrical productions in the 3D format.

Key words: screening, stereoscopy, three-dimensional image, stereopsis, ramp, space transfer quotient, film.

REFERENCES

1. Golovnya A.D. Masterstvo kinooperatora. M.: Iskusstvo, 1995.
2. Melkumov A.S. Stereoskopicheskiy kinematograf: uchebnoe posobie. M.: VGIK, 2013.

УДК 004.9+778.534.7
ББК 32.973.26-04

Войнаровский А.Е., Тихонов С.Г., Хрущёв А.С.

СОЗДАНИЕ ТРЁХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЕКОРАЦИЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ТРЁХМЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ И ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ СЪЁМКИ ДЛЯ ФИЛЬМА «САЛЮТ-7»

Войнаровский Александр Евгеньевич, кандидат технических наук,
доцент

E-mail: aw@photogrammetria.ru

Санкт-Петербургский государственный университет

Тихонов Сергей Геннадьевич

E-mail: tikhonov@photogrammetria.ru

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

Хрущёв Александр Сергеевич

E-mail: hrushev@photogrammetria.ru

ООО «НПП «Фотограмметрия»

Обобщён практический опыт создания трёхмерных моделей декораций и съёмочного инвентаря с помощью различных методов сканирования.

Для съёмок фильма «Салют-7» была поставлена задача создать пространственные модели декораций космической орбитальной станции и отдельных предметов инвентаря различного размера (от нескольких сантиметров до полуметра). На начальном этапе были проведены исследо-

вания, на основании которых определены методы и комбинации методов, оптимально подходящих для съёмки тех или иных объектов. Работы были выполнены в два этапа — непосредственно съёмка объекта и дальнейшая обработка полученных данных с использованием различного программного обеспечения.

В результате были получены пространственные модели декораций космической станции, переходного отсека и спускаемого модуля, а также более 30 моделей предметов съёмочного инвентаря, которые использовались при съёмках фильма «Салют-7».

Ключевые слова: лазерное сканирование, фотограмметрия, трёхмерная модель, кинематограф, ScanIMAGER.

Сегодня трёхмерное моделирование является неотъемлемой частью современного кинематографа. Благодаря развитию технологий можно создать виртуальный мир, восстановить исторические события, воплотить самые невероятные идеи режиссёра и оператора. Многие сцены с участием актёров снимаются на хромакее — фоне однородного цвета, который легко удаляется при монтаже и позволяет поместить актёров в виртуальную сцену. В большинстве случаев окружающее пространство, фон, отдельные элементы создают специалисты трёхмерной компьютерной графики напрямую, руководствуясь собственной фантазией и описанием режиссёра той или иной сцены, того или иного персонажа.

В кинематографе распространённой задачей является также перенос в виртуальное пространство реальных объектов, т. е. получение их трёхмерных моделей [6]. И это могут быть как небольшие объекты, так и целые районы города. Для решения таких задач используются следующие современные геодезические и фотограмметрические методы съёмки:

1) Наземное лазерное сканирование [5].

Лазерный сканер — это геодезический прибор, широко применяемый при съёмке крупных объектов. Это могут быть здания, дороги, карьеры и пр. Точность измерений лазерным сканером составляет около 2–3 мм. Данный метод хорошо подходит для создания моделей съёмочных павильонов и декораций отдельных помещений.

2) Ручное 3D-сканирование [1, 3].

Ручные сканеры позволяют получить очень высокую детализацию обмеряемых объектов. Разрешение таких моделей может до-

стигать сотых долей миллиметра. Этот метод подходит для съёмки отдельных небольших предметов съёмочного инвентаря.

3) Стереοфотограмметрический метод [2].

Данный метод позволяет получить модели объектов практически любых размеров и форм. Это может быть как целое здание, так и небольшой объект, размер которого не превышает нескольких миллиметров. А используя фотографии, по которым строится модель, можно получить высококачественные текстуры моделируемого объекта.

Художественный фильм «Салют-7» основан на реальных событиях, произошедших в 1985 году. Космическая станция, находящаяся на орбите в непилотируемом режиме, полностью выходит из строя и теряет связь с центром управления полётами. Для её спасения была отправлена экспедиция в составе двух космонавтов — Владимира Джанибекова и Виктора Савиных [4].

Для съёмок фильма была поставлена задача: создать трёхмерные модели декораций интерьеров станции «Салют-7», переходного отсека и космического корабля «Союз», модели предметов съёмочного инвентаря, начиная от чайной ложки и заканчивая элементом космического скафандра (всего около 30 предметов) и лиц главных героев фильма — Владимира Вдовиченкова и Павла Деревянко.

ДЕКОРАЦИИ ИНТЕРЬЕРОВ

Съёмка декораций интерьеров выполнялась методом лазерного сканирования в трёх состояниях космической станции:

— замороженная станция — температура на станции опустилась до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, что вывело из строя систему фильтрации воды и привело к образованию наледи на всех поверхностях станции;

— оттаявшая станция — после подключения станции к системам обеспечения космического корабля «Союз» начался постепенный нагрев станции, что привело к таянию наледи и образованию капель воды;

— станция в состоянии просушки и ремонта — после сбора основной массы жидкости были открыты все приборные панели, для их просушки и ремонта, в это время основные поверхности станции были чистыми и сухими.

Для каждого состояния выполнялось сканирование с нескольких направлений, чтобы убрать мёртвые зоны и обеспечить полноту полученной информации. Затем отдельные сканы сводились в единую систему координат в программе ScanIMAGER. Одновременно выполнялась дополнительная фильтрация облаков точек с целью убрать так называемые «краевые эффекты», которые создают множество проблем при построении полигональной модели. Дальнейшая обработка выполнялась в программе MeshLab, где по объединённым облакам точек были построены трёхмерные модели, а затем выполнена их доработка — убиралась пустота, достраивались скрытые элементы, рассчитывались текстуры поверхностей. С помощью полученных моделей создавались отдельные сцены невесомости.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕДМЕТОВ СЪЁМОЧНОГО ИНВЕНТАРЯ

Для получения трёхмерных моделей отдельных предметов инвентаря использовались два основных метода — ручное 3D-сканирование и фотограмметрический метод. Причём в зависимости от размера, формы, физических свойств объекта, таких как жёсткость, гибкость, прозрачность, фактура поверхности, применялся один из этих методов либо оба метода совместно.

Трёхмерное сканирование выполнялось ручным сканером Artec Spider, а последующая обработка и построение полигональных моделей в программе Artec Studio 9. Фотограмметрическая съёмка выполнялась обычной зеркальной фотокамерой Canon 600D, а полученные снимки обрабатывались в программе Agisoft Photoscan. Сегодня аналогичные возможности доступны также в стереοфотограмметрическом модуле ScanIMAGER Photo. Комбинирование методов трёхмерного сканирования и фотограмметрии часто даёт наилучший результат. Это обусловлено тем, что ручное 3D-сканирование позволяет очень быстро получить полигональную модель объекта с высокой степенью детализации. Но, несмотря на встроенную камеру, достаточно сложно получить хорошую текстуру объекта, да и сам процесс создания текстурного атласа занимает длительное время.

В случае с фотограмметрической съёмкой — для получения полигональной модели высокого разрешения необходимо боль-

шое количество фотографий, а их последующая обработка (определение параметров камеры, построение плотного облака точек и создание модели) предъявляет высокие требования к аппаратным ресурсам компьютера, и, как следствие, на обработку затрачивается много времени. С другой стороны, для получения текстуры в Photoscan или ScanIMAGER Photo нет необходимости в большом количестве фотографий, и если использовать в качестве основы модель, полученную путём ручного 3D-сканирования, то вся обработка сводится к трём процессам: выравнивание фотографий, привязка блока фотографий к существующей модели, создание текстурного атласа.

Для привязки фотографий необходимо указать опорные точки на полученной в Artex Studio модели и экспортировать измеренные координаты. Затем указать соответствующие маркеры на фотографиях и выполнить привязку блока фотографий. После чего загрузить в Photoscan или ScanIMAGER Photo 3D модель объекта и создать текстурный атлас. Таким образом можно получить модели с точной геометрией полигональной сетки и фотореалистической передачей цвета объекта.

Но, безусловно, есть отдельные случаи, в которых разумнее использовать только один из методов. К примеру, небольшие объекты с матовой поверхностью не нуждаются в текстурировании по набору дополнительных фотографий, в таких случаях достаточно снимков, полученных в процессе ручного сканирования. Или объект может быть одного цвета, в этом случае достаточно самой модели, которой можно задать тот или иной цвет. С другой стороны, есть объекты, получить модель которых при помощи ручного 3D-сканирования невозможно. Это обусловлено физическими свойствами материалов и фактурой объекта, например, объекты с прозрачными и полупрозрачными поверхностями (стекло, полиэтилен, жидкости), мех, шерсть, вата и пр. В таких случаях получение полигональной модели полностью основывается на стереофотограмметрическом методе съёмки. Модели таких объектов получаются не идеальными и требуют дополнительной ручной доработки — удаление выбросов, сглаживание модели, снижение шума, но, тем не менее, они сохраняют общую геометрию объекта, что позволяет выполнить корректное текстурирование поверхности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках проекта по созданию цифровых трёхмерных моделей для съёмок фильма «Салют-7» применялись три метода сканирования и стереофотограмметрической съёмки, как отдельно, так и в различных комбинациях: наземное лазерное сканирование, ручное 3D-сканирование, стереофотограмметрия. В результате были получены модели объектов, различных по размеру, геометрии, фактуре, пластике. Используемые методы съёмки в полной мере соответствуют требованиям современного кинематографа для получения цифровых моделей реальных объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. 3D-сканирование в интересах 3D-моделирования. <http://www.comprice.ru/articles/detail.php?ID=40134>. Дата обращения: 02.04.2018.
2. Лобанов А.Н. Фотограмметрия: Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1984. 552 с.
3. Лысыч М. Н., Шабанов М. Л., Жадобкина В. В. Современные системы 3D сканирования // Молодой ученый. 2014. № 20. С. 167–171. <https://moluch.ru/archive/79/12581/>. Дата обращения: 16.04.2018.
4. Салют-7. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Салют-7>. Дата обращения: 02.04.2018.
5. Середович В.А., Комиссаров А.В., Комиссаров Д.В., Широкова Т.А. Наземное лазерное сканирование. Новосибирск: СГГА, 2009. 261 с.
6. Тихонов С.Г., Хрущёв А.С. Создание 3D-моделей декораций космической станции по результатам трёхмерного сканирования и фотограмметрической съёмки для фильма «Салют-7» // Геодезия, картография, геоинформатика и кадастры. От идеи до внедрения. Сборник материалов II международной научно-практической конференции. 8–10 ноября 2017 г., Санкт-Петербург. СПб., 2017. С. 166–167.

*Alexander E. Wojnarowski, Sergei G. Tikhonov,
Alexander S. Khrushchev*

**CREATION OF 3D SET MODELS OF A SPACE STATION
BASED ON THREE-DIMENSIONAL SCANNING
AND PHOTOGRAMMETRIC SURVEY FOR «SALYUT-7»**

Alexander E. Wojnarowski, PhD (Engineering), assistant professor
E-mail: aw@photogrammetria.ru
Saint-Petersburg State University

Sergei G. Tikhonov
E-mail: tikhonov@photogrammetria.ru
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

Alexander S. Khrushchev
E-mail: hrushev@photogrammetria.ru
«Photogrammetria» Ltd.

The article summarizes the experience of creating three-dimensional models of film sets and props based on results of different scanning techniques. For the film «Salyut-7» there was a task to create 3D models of the space orbital station sets and props of various sizes (from several centimeters to half a meter). At the initial stage, research was performed which let to define the methods and combinations of methods suitable for modeling certain objects. The work can be divided into two main stages: directly shooting of the object, and further data processing using various software. As a result, 3D models of the sets of the space station, transfer compartment, descent module and over 30 models of props used during the shooting of the film «Salyut-7» were obtained.

Key words: laser scanning, photogrammetry, 3D model, cinema, ScanIMAGER.

REFERENCES

1. 3D-skanirovanie v interesakh 3D-modelirovaniya. <http://www.comprice.ru/articles/detail.php?ID=40134>. Data obrashcheniya: 02.04.2018.
2. Lobanov A.N. Fotogrammetriya: Uchebnik dlya vuzov. 2-e izd., pererab. i dop. M.: Nedra, 1984. 552 p.
3. Lysych M. N., Shabanov M. L., Zhadobkina V. V. Sovremennyye sistemy 3D skanirovaniya // Molodoi uchenyi. 2014. No 20. P. 167–171. <https://moluch.ru/archive/79/12581/>. Data obrashcheniya: 16.04.2018.

4. Salyut-7. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Salyut-7>. Data obrashcheniya: 02.04.2018.

5. Sereдович V.A., Komissarov A.V., Komissarov D.V., Shirokova T.A. Nazemnoe lazernoe skanirovanie. Novosibirsk: SGGA, 2009. 261 p.

6. Tikhonov S.G., Khrushchev A.S. Sozdanie 3D modelei dekoratsii kosmicheskoi stantsii po rezul'tatam trekhmernogo skanirovaniya i fotogrammetricheskoi ssemki dlya fil'ma «Salyut-7» // Geodeziya, kartografiya, geoinformatika i kadastry. Ot idei do vnedreniya. Sbornik materialov II mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. 8–10 noyabrya 2017 g., Sankt-Peterburg. SPb., 2017. P. 166–167.

УДК 792.8: 621.391
ББК 32.940.2

Смагин М.С.

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ОБЛИК ГОЛОГРАФИЧЕСКОГО ТЕЛЕВИЗОРА

Смагин Михаил Сергеевич, кандидат технических наук, доцент
E-mail: smagin@mniti.ru
Московский научно-исследовательский телевизионный институт

В докладе рассматриваются наиболее популярные в настоящее время концепции телевизора будущего, обладающего такими свойствами, как многокурсорность, безочковость, наличие голографического эффекта «оглядывания» наблюдаемых объектов и т. д. Приведён обзор перспективных подходов к созданию подобных телевизоров и технических проблем, лежащих на пути их решения. Сформулированы наиболее перспективные и реализуемые уже при современном уровне техники направления научных исследований и практических разработок.

Ключевые слова: голографическое телевидение, многокурсорное телевидение, автостереоскопическое телевидение, эффект оглядывания, перспективные концепции.

Современный этап развития телевизионной техники характеризуется экстенсивным развитием технических характеристик телевизионной техники. Растут длины диагоналей и разрешение телеэкранов, снижается стоимость и увеличивается время эксплуатации телевизионных приёмников. Однако многие специалисты характеризуют текущее состояние телевизионной техники как «стагнацию» и «кризис идей».

Телевидению понадобилось около 30 лет с момента начала массового телевидения, чтобы совершить первую технологическую революцию в области выразительных средств и перейти от демонстрации чёрно-белого изображения к цветному изображению. После этого прошло уже около 50 лет. Телевидение стало цифровым, повысилась чёткость, стабильность, улучшилась цветопередача отображаемых изображений, однако эти изменения никак нельзя назвать принципиальными и революционными.

Вместе с тем, стараниями фантастов от литературы и киноиндустрии в общественном сознании сформировался образ телевидения будущего, обладающего качественно более широким набором выразительных средств по сравнению с современным телевидением.

Любой человек, знакомый с произведениями научно-фантастической литературы и кинематографа, может утверждать — телевизоры будущего должны быть такими, как в фильмах «Вспомнить всё», «Звёздные войны» или каком-нибудь ещё из популярных фантастических блокбастеров. И если во многих других технических сферах учёные и инженеры передают пользователям разработанные ими технологии и учат ими пользоваться, то в области кино и телевидения сами зрители требуют от учёных и инженеров технологии, облик которых уже придуман ранее.

Поэтому решение задачи определения перспективного облика голографического телевизора следует начинать с анализа существующих представлений о нём.

Автором был проведён анализ литературных и кинематографических произведений последнего времени, показывающих ближайшее будущее. Если выразить результат анализа в одной фразе, то эта фраза будет следующей — телевидение будущего должно быть более реалистичным и интерактивным.

При этом под реалистичностью во всех источниках понимается приблизительно одно и то же — полная имитация объёмного восприятия демонстрируемого изображения с реализацией различных зрительных эффектов, свойственных наблюдению за реально существующими физическими объектами.

Что касается интерактивности, то здесь спектр решений несколько шире. Чаще всего фантасты видят в будущем возможность зрителя непосредственно влиять на развитие сюжета видеопове-

ствования, возможность физического взаимодействия с демонстрируемыми образами, а также возможность произвольного выбора точки наблюдения за демонстрируемой сценой.

На основе описаний телевидения будущего можно, условно, выделить три основные концепции:

— трёхмерное воспроизведение на плоском устройстве отображений (условно назовём эту концепцию «телевизор — окно»);

— трёхмерное воспроизведение в малом объёме (как, например, видеопослание принцессы Леи в первой части «Звёздных войн»);

— полноразмерное трёхмерное воспроизведение, при котором предметы наблюдаемой сцены воспроизводятся в натуральную величину (например, как в сцене занятий с виртуальным тренером по теннису из фильма «Вспомнить всё»).

Рассмотрим подробнее каждую из концепций.

КОНЦЕПЦИЯ «ТЕЛЕВИЗОР — ОКНО»

В чём особенности окна и отличие его от обычного телевизора? Изображение в окне меняется в зависимости от положения зрителя относительно телевизора — меняется угол обзора, направление наблюдения, наконец, количество наблюдаемых объектов, ведь чем ближе зритель к окну, тем больше заоконного пространства он увидит.

Чем такой телевизор будет отличаться от традиционного и многим хорошо знакомого стереотелевизора? Отличие не столь велико, но значимо. Оно заключается в реализации так называемого эффекта оглядывания.

С технической точки зрения традиционный стереоэффект заключается в смещении объектов переднего плана относительно объектов заднего плана при смене точки наблюдения. Т. е. если зритель, в процессе просмотра фильма, изменил своё положение в кресле, то фигура главного героя на переднем плане должна соответствующим образом сместиться относительно, к примеру, здания на заднем плане так, чтобы зритель увидел элементы этого здания, ранее скрытые фигурой главного героя. При этом и сама фигура главного героя, и здание на заднем плане остаются плоскими и как бы меняют свою пространственную ориентацию, сохраняя положение, перпендикулярное линии наблюдения.

Эффект же оглядывания заключается в том, чтобы в случае смещения зрителя, ему открывались не только элементы объектов заднего плана, скрытые ранее объектами плана переднего, но и новые элементы самих объектов, как переднего, так и заднего планов.

С технической точки зрения суть данного эффекта состоит в предоставлении зрителю изображения наблюдаемой сцены в ракурсе, соответствующем положению зрителя относительно сцены. В традиционных стереосистемах этих ракурсов два (для левого глаза и правого глаза зрителя соответственно). Для реализации эффекта оглядывания таких ракурсных изображений понадобится гораздо больше.

При оптимальном расстоянии зрителя от экрана (четыре высоты экрана) комфортное восприятие составляет порядка 12–14 градусов [4]. В этом случае количество ракурсов составляет около полутора десятков. В исследовании [5], к примеру, рассматривается случай с 14 ракурсами.

Одним из способов, позволяющих реализовать эффект оглядывания, является голография, поэтому остановимся на ней более подробно.

Согласно формальному определению из учебника физики, голография — это способ получения объёмных изображений предметов, основанный на взаимном наложении световых волн. Налагаются друг на друга, соответственно, две световых волны — идущая от источника света, называемая опорной, и волна, отражённая от снимаемого объекта, называемая объектной. Характеристики объектной волны при отражении от объекта меняются. Поэтому в точке пересечения объектной и опорной волн получается оптическая картина, отражающая разность характеристик объектной и опорной волн. Для регистрации изображений в месте пересечения объектной и опорной волн в классической голографии использовались (и используются до сих пор) стеклянные пластинки, покрытые фотоэмульсией. Однако сейчас всё чаще применяются обычные цифровые камеры, на выходе которых можно получить, соответственно, цифровые голограммы.

Механизм воспроизведения аналогичен съёмочному. Голограмма подсвечивается пучком света, имеющим такие же характеристики, как опорная волна, а свет, отражённый голограммой или прошедший сквозь неё, если используется так называемая «про-

светная голограмма», будет иметь характеристики объектной волны, т. е. волны, отражённой от объекта.

Такая «псевдообъектная» волна, воспринимаемая наблюдателем, порождает у него иллюзию наблюдения за самим объектом. А поскольку каждая подсвеченная точка объекта отражает свет во все стороны, то наблюдатель воспринимает те части «псевдообъектной» волны, которые соответствуют его положению относительно наблюдаемого мнимого объекта, что и позволяет реализовать эффект оглядывания.

Основная проблема, возникающая при реализации подобного эффекта, это необходимость использования лазерных источников света. А значит, съёмка при естественном солнечном освещении превращается в проблему. Такая же проблема возникает, если сам объект съёмки светится.

Кроме того, лазер нужен при воспроизведении голограммы, чтобы сгенерировать копию опорной волны. И, к сожалению, мощность лазера, необходимого для работы домашнего голографического телевизора, существенно превышает существующие ограничения для бытовых лазерных излучателей. Эта проблема в своё время стала одной из причин, «похоронившей» технологию голографических HVD-дисков, которая, как предполагалось, должна была прийти на смену технологии Blu-ray Disk.

Можно ли реализовать эффект оглядывания другим способом? Можно. Наиболее проработанной технологией такого рода в настоящее время является технология автостереоскопических дисплеев.

Суть технологии заключается в том, что на экран обычного жидкокристаллического монитора или телевизора накладывается линзовый растр — пластина с большим количеством миниатюрных сферических или цилиндрических линз. Каждая из таких линз закрывает несколько участков изображения, в идеальном случае пикселей, каждый из которых отображает соответствующий фрагмент одного из ракурсов. Каждая из линз фокусирует световые потоки от них так, чтобы в каждом направлении относительно экрана отражался соответствующий ракурс наблюдаемой сцены.

Аналогичный механизм, пусть и работающий «в обратную сторону», может быть использован при съёмки многоракурсных изображений. Если поставить линзовый растр перед обычной кино- или фотокамерой, то можно получить многоракурсное изо-

бражение, организованное таким образом, что каждый из чувствительных элементов фотоприёмной матрицы кино- или фотокамеры будет записывать яркость соответствующего ему участка одного из ракурсов наблюдаемой сцены. Такой механизм реализован в современных камерах светового поля, таких как, например камера ILLUM, разработанная фирмой Lytro.

Другое, более дорогое техническое решение, — система типа «матрица камер». Идея та же, но разрешение такой многокамерной системы съёмки, а значит, и чёткость снимаемого изображения гораздо выше. Одним из наиболее известных разработчиков подобных систем также является фирма Lytro, примером разработок которой в этой области является многокамерная система Lytro Immerge.

Вопрос сжатия и передачи многоракурсных изображений также можно считать решённым. По крайней мере, подходы к его решению уже есть и описаны в стандартах. Так, в стандарте H-264 начиная с версии 11 (введённой в ноябре 2009 года) и в стандарте H-265 начиная с версии 2 (введённой в октябре 2014 года) предусмотрено расширение MVC (Multiview Video Coding), предусматривающее так называемый Multiview High Profile — профиль сжатия на основе как межкадрового, так межканального сжатия.

Тогда почему использование автостереоскопических дисплеев не приобрело массовый характер, если все технические проблемы решены?

Первая причина техническая. Очевидно, что нужное количество ракурсов потребует соответствующего количества пикселей телеэкрана. А поскольку число пикселей на каждом телеэкране есть величина постоянная, то пригодность экрана к демонстрации многоракурсных изображений можно оценить, поделив число пикселей на число ракурсов.

Несложный расчёт показывает, что самая современная 8K UHD-панель при демонстрации даже 6 ракурсов покажет разрешение лишь порядка 720×1280, сопоставимое с DVD-качеством стандарта HD-ready. Так что для многоракурсных автостереоскопических телевизоров будущего понадобятся разрешения 16K и 24K.

Вторая причина финансовая. Дело в том, что профессиональное оборудование для многоракурсной съёмки стоит немалых денег, обработка многоракурсного контента также требует допол-

нительных затрат. Всё это дополнительные деньги, которые, очевидно, никто не хочет платить без гарантии коммерческого эффекта. Т. е. автостереоскопическое видео не снимают потому, что его не на чем смотреть, а, с другой стороны, автостереоскопические мониторы не пользуются спросом, поскольку смотреть на них нечего.

Получается классическая ситуация взаимной блокировки, решить которую можно либо директивно, либо путём привлечения дополнительных ресурсов, в данном случае денег, чтобы ослабить условия конкуренции. В этом контексте особый интерес представляет недавняя новость о покупке фирмы Lytro корпорацией Google [1]. Так что, скорее всего, в этой области следует в ближайшее время ждать интересные новости.

КОНЦЕПЦИЯ ТРЁХМЕРНОГО ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ В МАЛОМ ОБЪЁМЕ

Очевидных проблем здесь две — во-первых, изображение надо как-то «подвесить» в воздухе, во-вторых, отображение такого изображения потребует передачи гораздо большего числа ракурсов. Рассмотрим каждую из этих проблем.

Мысль о том, чтобы отобразить телевизионное изображение «висящим» в воздухе появилась не вчера, её уже неоднократно пытались воплотить в жизнь. К сожалению, для того, чтобы напрямую заставить молекулы воздуха светиться, нужны огромные (для бытовой техники) затраты энергии. Кроме того, большинство способов заставить воздух светиться сопряжены с его разогревом до экстремально высоких температур, что недопустимо для бытовых устройств по соображениям пожарной безопасности.

Почти все практически используемые в настоящее время технологии создания подобного эффекта так или иначе связаны с проецированием изображений на полупрозрачные экраны, один либо несколько, в зависимости от того, может ли зритель менять своё положение или нет. Излишне говорить, что изображение на таких экранах остаётся плоским и никакими свойствами объёмности вроде эффекта оглядывания не обладает, но иллюзия подвешенности изображения в воздухе создаётся.

Среди технологий с использованием одного экрана упомянем технологию «туманного экрана», которая предполагает создание

полупрозрачного экрана в форме плоского потока пара или мелких частиц, на который с помощью проектора проецируется изображение. Такое решение выгодно тем, что относительно легко позволяет добиться иллюзии «висения» изображения в воздухе, а также тем, что (при наличии соответствующих технических устройств) даёт зрителю возможность непосредственного контакта и даже простейших физических операций с изображением, например, перемещения отображаемых объектов.

Наиболее известным устройством подобного рода является система отображения, получившая своё имя в честь упоминавшейся выше принцессы Леи Органы из «Звёздных войн» и называемая Leia Display System или сокращённо LDS.

LDS состоит из специальной установки, формирующей экран из плоского потока водяного пара. Изображение на экране создаётся при помощи проектора. В состав системы входит набор датчиков, отслеживающих движения рук зрителя в плоскости экрана, что позволяет реализовать управление отображаемыми жестами зрителя.

Что же касается многоэкранных конструкций, то среди них безусловным лидером по популярности является так называемая технология голографической пирамиды, к голографии, впрочем, никакого отношения не имеющая.

Суть технологии в том, что четыре полупрозрачных экрана собраны вместе в единую конструкцию в форме пирамиды. На каждую из сторон пирамиды проецируется изображение объекта с одной из четырёх сторон. В результате создаётся не только иллюзия висения изображения в воздухе, но и, пусть и примитивный, эффект оглядывания. Понятно, что ракурсов при этом будет отражаться всего четыре — по количеству граней пирамиды.

Такую систему не сложно воспроизвести в домашних условиях. Достаточно специальной программы и небольшого количества полупрозрачного пластика. На YouTube приведены видео в стиле «как превратить свой смартфон в голографический телевизор с помощью коробочки от компакт-диска».

Очевидно, что количество передаваемых ракурсов изображения должно быть больше, чем это необходимо для реализации концепции «телевизор — окно». Но главная проблема будет заключаться в другом.

Если предположить, что сцена снимается с разных сторон большим количеством камер, то каждая камера транслирует одно двумерное изображение, прямоугольное или квадратное. Проблема состоит в том, что согласно стереометрическим расчётам, сферическая или близкая к сферической поверхность не может быть сформирована с помощью плоских четырёхугольных фигур, таких как квадраты или прямоугольники, т. е. из плоских картинок нельзя построить такое объёмное малоразмерное изображение, которое в некоторых местах не имело бы дыр и не двоилось бы.

В этом контексте большой интерес представляет, например, разработка компании 4DReplay [3]. Их система представляет собой набор из большого количества фото- или видеокамер, размещённых вокруг наблюдаемой сцены, и мощного сервера, собирающего с них данные и формирующего трёхмерную фотореалистически точную модель, позволяющую зрителю при просмотре произвольно выбирать точку наблюдения и расстояние до наблюдаемой сцены.

Получается как бы видео-360 наоборот. Если в видео-360 зритель смотрит из статичной точки обзора в центре сцены в разные стороны вокруг себя, то в в разработке компании 4DReplay зритель, перемещаясь, смотрит на статичную наблюдаемую сцену с разных сторон. Такая концепция даже получила собственное название — Free Viewpoint Video, или видео со свободной точкой обзора.

В этой концепции примечательно ещё и то, что она может быть реализована в том числе и для современных телевизоров. В этом случае решается обратная задача — по трёхмерной модели вновь строится плоское изображение на основе заданного пользователем угла зрения и приближения к наблюдаемой сцене.

О разработках в области FVP заявляли не только специализированные фирмы, но и крупные «киты» рынка, например, фирма Canon [2].

КОНЦЕПЦИЯ ПОЛНОРАЗМЕРНОГО ТРЁХМЕРНОГО ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ

Как и в предыдущих случаях, конечный пользовательский облик системы уже известен и показан, например, в таких фильмах, как «Звёздные войны» или «Бегущий человек».

От концепции малоразмерного воспроизведения эту концепцию отличает повышенное разрешение передаваемых изображе-

ний, а также возможность взаимодействия с окружающей обстановкой, пусть и одностороннего, когда особенности отображения передаваемой сцены зависят от обстановки в демонстрационном помещении, но сама обстановка никак не поддается воздействию наблюдаемых объектов или субъектов.

С технической точки зрения это означает, что система отображения должна использовать в качестве входных данных не только информацию об отображаемой сцене, но и точную и оперативно обновляемую модель окружающей обстановки.

Фактически, такая система отображения будет представлять собой систему FVP-съёмки, снимающую демонстрационное помещение и сопрягающую трёхмерную модель помещения с трёхмерной моделью, полученной от удалённой системы FVP-съёмки. Это потребует не только значительных вычислительных мощностей, но и размещения большого количества камер в разных местах помещения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные концепции телевизоров будущего можно условно разделить на три вида — телевизор с расширенным набором стереоскопических эффектов, устройство объёмного воспроизведения малоразмерных изображений и устройство объёмного воспроизведения изображений в большом размере. Физическая реализация телевизионных систем с расширенным набором стереоскопических эффектов возможна уже сейчас, однако её останавливает дороговизна таких систем и отсутствие и дороговизна создания контента для них.

Основным препятствием для реализации остальных концепций является отсутствие современных научных подходов к решению задачи свободного воспроизведения объёмных изображений в произвольной точке пространства, «подвешивания» изображений в воздухе.

Шагом к телевидению будущего в настоящее время является разработка технологии Free Viewpoint Video, позволяющей строить трёхмерные модели снимаемых сцен с фотореалистической точностью, предоставляющей зрителю возможность произвольного выбора точки наблюдения за снимаемой сценой.

подавляющее большинство задач, которые необходимо решить в процессе создания FVP-технологии, относятся к математике и программированию, а в этих областях отечественные специалисты до сих пор являются одними из самых сильных в мире. В настоящее время наработки в этой области имеются в таких организациях, как Научно-исследовательский кинофотоинститут, Московский научно-исследовательский телевизионный институт, Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН. На их основе возможна разработка новой телевизионной технологии в течение 2–3 лет. Поддержка этих разработок государством или заинтересованными частными инвесторами обеспечит вклад России (и, что немаловажно, долю от прибылей) в формирование телевизионной индустрии будущего.

Кроме того, данные технологии могут быть использованы не только в индустрии развлечений, но и для разработки тренажеров и учебных средств различного назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Уласович К. Google поглотит разработчика камер светового поля Lytro. <https://nplus1.ru/news/2018/03/21/google-lytro>. Дата обращения: 03.04.2018.
2. Canon announces development of the Free Viewpoint Video System virtual camera system that creates an immersive viewing experience. <https://www.canon-europe.com/press-centre/press-releases/2017/09/free-viewpoint-video-system/>. Дата обращения: 28.03.2018.
3. <http://4dreplay.com>. Дата обращения: 28.03.2018.
4. Malik A.S. Depth map and 3D imaging applications: algorithms and technologies: algorithms and technologies. IGI Global, 2011.
5. Salmimaa M. et al. Effect of number of views to the viewing experience with autostereoscopic 3-D displays // Journal of the Society for Information Display. 2009. Vol. 17. No 5. P. 449–458.

Michail S. Smagin

PROSPECTED CONCEPT OF A HOLOGRAPHIC TV SET

Michail S. Smagin, PhD (Engineering), assistant professor
 E-mail: smagin@mniti.ru
 Moscow research television institute

The presented paper is dedicated to the most popular concepts of the TV-set of the future, that will possess such features as a multiview spectacle-free display, the holographic declipse effect, etc. It also presents the review of some known approaches to the design of display systems with such properties, as well as technical difficulties to be solved on the way. In conclusion, a set of most promising and presently implementable technologies and research projects is surveyed

Key words: holographic television, multiview television, autostereoscopic television, declipse effect, promising concepts.

REFERENCES

1. Ulasovich K. Google poglotit razrabotchika kamer svetovogo polya Lytro. <https://nplus1.ru/news/2018/03/21/google-lytro>. Data obrashcheniya: 03.04.2018.
2. Canon announces development of the Free Viewpoint Video System virtual camera system that creates an immersive viewing experience. <https://www.canon-europe.com/press-centre/press-releases/2017/09/free-viewpoint-video-system/>. Data obrashcheniya: 28.03.2018.
3. <http://4dreplay.com>. Data obrashcheniya: 28.03.2018.
4. Malik A.S. Depth map and 3D imaging applications: algorithms and technologies: algorithms and technologies. IGI Global, 2011.
5. Salmimaa M. et al. Effect of number of views to the viewing experience with autostereoscopic 3-D displays // Journal of the Society for Information Display. 2009. Vol. 17. No 5. P. 449–458.

УДК: 004.5+004.9+778

ББК: 32.81

Чекалин Д.Г.

ТЕХНОЛОГИИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Чекалин Дмитрий Геннадьевич

E-mail: chekalinnikfi@mail.ru

Научно-исследовательский кинофотоинститут

В статье рассмотрены существующие виды технологий «дополненной реальности» (Augmented reality, AR) и применяемые в них технические способы и методы формирования изображения. Проанализированы технологические особенности и возможности практического применения различных видов устройств «дополненной реальности», приведена их классификация.

Ключевые слова: объёмное изображение, стереоскопия, дисплей объёмного изображения, виртуальная реальность, дополненная реальность, смешанная реальность, ретинальный дисплей, очки дополненной реальности, шлем виртуальной реальности, индикатор на лобовом стекле (ИЛС), пространственно дополненная реальность.

ВВЕДЕНИЕ

Дополненная реальность представляет собой технологию, позволяющую добавлять к воспринимаемым элементам реального мира дополнительные мнимые (виртуальные) объекты и ощущения. Система дополненной реальности предусматривает воздействие не только на зрение, но и на все другие органы чувств. Есть принципиальное отличие дополненной реальности от виртуаль-

ной — виртуальная реальность (virtual reality, VR) полностью подменяет для человека реальный физический мир, позволяя изменять даже физические законы взаимодействия и причинно-следственные связи, а дополненная реальность (augmented reality, AR) только дополняет и обогащает реальный мир, взаимодействие с которым остаётся основополагающим для пользователя системы. В русском языке наибольшее распространение получил вариант перевода английского термина augmented reality «дополненная реальность», хотя иногда применяются и синонимические термины: «расширенная реальность», «обогащённая реальность». Отметим, что термин «смешанная реальность» не может считаться синонимом, так как является переводом совсем другого английского термина — Mixed reality (MR), имеющего другое, более широкое, чем augmented reality толкование [5].

Технические системы дополненной реальности в зависимости от назначения и используемой технологии состоят из разнообразных технологических компонент: устройство отображения информации, различные датчики (положения, слежения и т. д.), видеокамеры, контроллеры, разнообразные компьютерные компоненты, программное обеспечение. В данной статье рассматриваются только системы отображения изображения и технологии визуализации.

Первые устройства, которые можно однозначно классифицировать как «дополненную реальность», появились задолго до электронной эпохи, ещё в XIX веке и применялись в различного рода аттракционах и театральных постановках, а к середине XIX века получили широкое распространение в Европе. В то время в основном использовалась проекция на различные полупрозрачные экраны или отражение полупрозрачными (частично отражающими) поверхностями реальных предметов или рисунков с целью создания оптических эффектов и иллюзий, например, призраков или привидений. Лучшие образцы устройств позволяли совмещать на одной сцене полноразмерные призрачные изображения и живых актёров. В театральной практике в 1960-х годах успешно применялась технология, разработанная профессором Джоном Генри Пеппером и английским инженером Генри Дирксом и получившая название Pepper's Ghost, а позже называемая «скрытый экран» [2]. Значительный вклад в развитие дополненной реальности, начиная с 1970-х годов, внесли военные разработки для пилотирования ави-

ационной техники. А начиная с двухтысячных, в связи с широкой доступностью разнообразной компьютерной техники, технологии дополненной реальности получили широкое распространение в самых разных областях человеческой деятельности.

КЛАССИФИКАЦИЯ

Устройства дополненной реальности представляют собой системы для формирования дополнительного виртуального изображения между реальными физическими объектами и глазами наблюдателя, они состоят из комплекса оптических, электронных и механических компонентов для создания изображений. Системы дополненной реальности включают очень широкий спектр самых разнообразных устройств, различающихся как по применяемым технологиям, так и по функциональному назначению. Поэтому их классификация возможна по различным существенным признакам, функциональным и эксплуатационным характеристикам, способу применения и т. д.

В первую очередь все устройства делятся в зависимости от условий наблюдения на две общие большие группы: устройства для индивидуального применения и системы для коллективного пользования, когда одно и то же изображение одновременно могут наблюдать несколько человек.

Другим вариантом классификации является классификация по способу оптического совмещения реального и дополнительного виртуального изображения:

1) Совмещение путём преобразования реального изображения в электронное и его видеомикширование с виртуальным изображением в единую картину.

Объединение виртуального и реального изображений происходит полностью в электронной форме. Реальное изображение захватывается камерой и преобразуется в цифровой вид, виртуальное изображение генерируется в цифровом виде на основе анализа захваченного изображения, после чего два цифровых видеопотока микшируются и итоговое изображение выводится на экран. Недостатком способа является отсутствие возможности непосредственного наблюдения реального пространства. Для получения изображения необходим специальный электронный экран и средства захвата изображения. При наблюдении существует задержка

по времени, вызванная временем, необходимым на захват изображения, его обработку и вывод на экран. К достоинствам можно отнести широкие возможности внедрения виртуальных объектов в изображение пространства реального мира и возможность создания систем синтезированного зрения. Возможно создание систем для коллективного просмотра одновременно большим количеством наблюдателей.

2) Смешивание и оптическое совмещение двух световых потоков с помощью специальных оптических устройств (светоделительные и/или фокусирующие элементы, прозрачные электронные экраны и т. д.).

Существенным недостатком способа, не решённым на текущий момент, является невозможность точного совмещения виртуальных объектов с реальным пространством по всей его глубине, при бинокулярном зрении происходит нарушение связи аккомодации и конвергенции. Предложенные автостереоскопические и коллиматорные системы позволяют частично решить эту задачу, но с ограничениями по условиям наблюдения и пространственным размерам.

3) Внедрение виртуальных изображений в реальное пространство для прямого наблюдения (проекция на элементы среды, размещение прозрачных экранов, лазерная генерация изображения в пространстве).

Реальное и виртуальное изображения наблюдаются непосредственно глазами в реальном пространстве без промежуточных оптикоэлектронных устройств. Возможно создание систем для коллективного пользования одновременно большим количеством наблюдателей. Достигается наибольшая степень достоверности наблюдаемого изображения, обеспечиваются комфортные условия для бинокулярного зрения, но для реализации требуется стационарное оборудование.

Наиболее распространённой и функциональной является классификация по месту расположения устройства относительно наблюдателя и реального объекта и технологии создания изображения [4], схема вариантов расположения приведена на рис. 1. В различных видах устройств изображение «дополненной реальности» может проецироваться непосредственно на сетчатку глаза, может проецироваться на сами объекты реального мира или де-

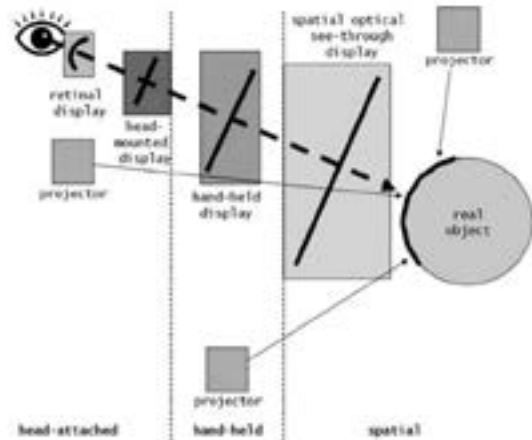


Рис. 1. Формирование изображений в устройствах дополненной реальности

Таблица 1

Классификация дисплеев дополненной реальности

№	Дисплеи дополненной реальности
1	Дисплей, прикрепляемый к голове (наголовный дисплей). Head-Attached Display
1.1	Ретинальный дисплей. Virtual retinal display (VRD)
1.2	Контактные линзы. Contact lenses
1.3	Очки дополненной реальности. Eyeglasses
1.4	Нашлемный дисплей (нашлемная система индикации (НСИ)). Helmet mounted display
1.5	Шлем виртуальной реальности с видеокамерами. A head-mounted display (HMD)
2	Дисплей с фиксированным положением (индикатор на лобовом стекле (ИЛС)). Head-up display (HUD)
3	Ручной дисплей (мобильный дисплей). Hand-Held Display
4	Пространственно дополненная реальность. Spatial augmented reality (SAR)
4.1	Экранные дисплеи с электронным микшированием
4.2	Экранные прозрачные дисплеи
4.3	Проекция на элементы среды
4.4	Пространственные оптические дисплеи

монстрироваться на различного рода прозрачных экранах, расположенных в пространстве между наблюдателем и реальными объектами.

Виды устройств в соответствие с рассмотренным методом классификации представлены в таблице 1.

ВИДЫ «ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ» И СПОСОБЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ

1. Дисплей, прикрепляемый к голове (наголовный дисплей). Head-Attached Display

Данный вид устройств предполагает размещение всех элементов системы непосредственно на голове пользователя и является устройством индивидуального пользования. Такие устройства компактны и обладают высокой мобильностью, однако имеют и характерные недостатки: только индивидуальное применение, эргономические ограничения и дополнительный дискомфорт для пользователя — «симуляторная болезнь» при быстрых движениях головы вследствие задержки отображаемого синтезируемого видеосигнала, ограничения по углу обзора и разрешению и пр. Разрабатываются устройства с монокулярным и бинокулярным способом отображения информации.

Ретинальный дисплей. Virtual retinal display (VRD)

В этом виде устройств изображение формируется непосредственно на сетчатке глаза методом сканирования (построчной развёртки) маломощным модулированным лазерным лучом сквозь хрусталик. Разработки ведутся с конца 1990-х годов. Большой интерес к устройствам этого типа проявляет военно-аэрокосмический комплекс США. В 1999 г. фирмой Microvision был представлен действующий монохромный прототип.

Контактные линзы. Contact lenses

Устройства в виде контактных линз находятся в стадии начальной разработки, так как их создание требует решения многих технических вопросов, связанных с созданием полностью прозрачных электронных компонент, беспроводной передачей данных и электропитанием.

Очки дополненной реальности. Eyeglasses

В отличие от контактных линз, очки дополненной реальности с полупрозрачными стёклами, сквозь которые хорошо видно окру-

жающее пространство и одновременно можно видеть синтезированное цифровое изображение, уже выпускаются серийно в виде компактного устройства. На сегодняшний день существующие образцы имеют много недостатков, связанных с быстродействием, качеством изображения и т. д. С развитием технологии большинство проблем может быть устранено, но наиболее сложной является задача совмещения в пространстве виртуального изображения с реальным на разных расстояниях от наблюдателя. Для этого требуется создать систему, позволяющую фокусировать виртуальное изображение на разных дистанциях.

Нашлемный дисплей (нашлемная система индикации (НСИ)). Helmet mounted display

Отечественным аналогом нашлемного дисплея является нашлемная система индикации (НСИ) или нашлемная система целеуказания и индикации (НСЦИ). Первая в мире серийно выпускаемая нашлемная система целеуказания «Щель» появилась на советских истребителях МиГ-29 и Су-27 в начале 1980-х годов [1]. Устройство называется нашлемным дисплеем, так как встраивается в качестве дополнительного устройства отображения информации в специализированные шлемы с определённым функциональным назначением, при этом часть элементов системы в некоторых случаях может монтироваться отдельно от собственно шлема и подсоединяться к нему кабелями или по беспроводной связи. Система подразумевает установку перед глазами пользователя специального прозрачного или частично прозрачного экрана (защитного козырька), на котором отображается видеoinформация в монокулярном или бинокулярном варианте и который позволяет свободно видеть окружающее пространство. Отображаемое изображение специальной оптической системой коллимируется в бесконечность. Устройство снабжено специальными датчиками, определяющими положение устройства в пространстве, поэтому при повороте или наклоне головы отображаемое нашлемной системой изображение перестраивается в соответствии с положением глаз.

Последние модификации устройств оснащают системой синтезированного зрения, которая позволяет пилоту видеть в ночное время или «сквозь» стены летательного аппарата реальное окружающее пространство, что очень важно при ведении боя или сложном маневрировании и посадке. Для этого используется информация,



Рис. 2. Нашлемные системы целеуказания и индикации F-35 HMDS для самолёта-истребителя Lockheed Martin F-35 («Локхид-Мартин» F-35 «Молния II») и российская бинокулярная система «Охотник» для боевых вертолётов

получаемая от внешних датчиков изображения (в том числе и не оптического диапазона), обрабатываемая специальным вычислительным комплексом и отображаемая нашлемным дисплеем. Эти принципы реализованы в новейших разработках (рис. 2). В качестве внешних датчиков информации могут применяться: телевизионные видеодатчики различного разрешения, инфракрасные видеодатчики различных диапазонов, радары, лазерные локаторы. Такие возможности принципиально и качественно расширяют функционал устройств дополненной реальности, позволяя синтезировать и реконструировать реальность, которую человек иначе не мог бы увидеть, например изображение в инфракрасном и радиодиапазоне.

Шлем виртуальной реальности с видеокамерами. Head-mounted display (HMD)

Шлем виртуальной реальности с видеокамерами и нашлемный дисплей — это разные устройства, хотя англоязычная аббревиатура у них одинакова — HMD.

Данный тип устройств отличается от рассмотренных нашлемных дисплеев тем, что выполнен не в виде функционального дополнения к какому-либо профилированному профессиональному

защитному шлему, а изначально спроектирован только как автономное самостоятельное устройство, единственной задачей которого является создание изображения дополненной реальности, и он не выполняет никаких дополнительных функций (например, шлем лётчика выполняет защитную функцию, имеет устройство подачи кислорода, системы связи и т. д.). Этот шлем может быть сделан на базе шлема виртуальной реальности, дополнительно оснащённого одной или несколькими видеокамерами.

2. Дисплей с фиксированным положением (индикатор на лобовом стекле (ИЛС)). Head-up display (HUD)

Дисплей с фиксированным положением представляет собой прозрачный дисплей, который формирует изображение для пользователя, находящегося в стационарном неподвижном положении с фиксированной точкой зрения. Название дисплея отражает функциональное назначение устройства — видеть всю необходимую информацию, не отрывая взгляда от наблюдаемого объекта и не переводя каждый раз взгляд на панель с приборами и обратно. Первоначально такой дисплей был разработан для военной авиации, сейчас используется также в гражданской авиации и автотранспорте. Дисплей с фиксированным положением может отображать приборную панель, карту местности и другую необходимую информацию. В дисплее реализовано в направлении взгляда оптическое совмещение реальных объектов с видимой дополнительной информацией. Обычно дисплей снабжён оптической системой, фокусирующей создаваемое изображение в бесконечности. Это значительно снижает утомляемость зрительной системы пилота, которому в этом случае не нужно перефокусировать взгляд, глядя на приборы.

3. Ручной дисплей (мобильный дисплей). Hand-Held Display

Ручными дисплеями являются электронные устройства, которые могут воспроизводить на собственном экране видеоизображение и снабжены мощным процессором, видеокамерой и набором необходимых сенсоров. Пользователь может держать дисплей в руках. К таким устройствам относятся планшетные персональные компьютеры, некоторые смартфоны и карманные персональные компьютеры. При наличии специального программного обеспечения изображение, получаемое от собственной камеры устройства, может дополняться сгенерированным по определённой программе.

Возможно создание оптически прозрачных жидкокристаллических устройств.

4. Пространственно дополненная реальность. Spatial augmented reality (SAR)

Устройства пространственно дополненной реальности располагаются непосредственно в окружающем наблюдаемом пространстве, становясь его частью. Применяются два основных способа создания изображения: это прозрачные устройства, на которых изображение отображается как на экранах, и проекция изображения на реальные объекты в пространстве с целью их визуальной трансформации.

Экранные дисплеи с электронным микшированием

К этой группе устройств относятся светоизлучающие непрозрачные видеоскрены, которые демонстрируют в реальном режиме времени изображение, переданное видеокамерой, с подмешанным к нему дополнительным виртуальным изображением.

Экранные прозрачные дисплеи

Прозрачные экраны располагаются в пространстве, зрители могут свободно видеть всё находящееся за экраном. Желательно, чтобы зрители вообще не замечали факт их наличия. На экранах формируется дополнительное изображение, воспринимаемое зрителями как реальное. Технологии создания изображения могут быть самыми разными: проекция на прозрачные материалы и среды (дым, воду, сетку и т. д.), использование техники «скрытого» экрана с полупрозрачным зеркалом, использование прозрачных жидкокристаллических видеопанелей, вращающихся светодиодных элементов и т. д. [2, 3].

Проекция на элементы среды

Для создания изображений дополненной реальности применяется видеопроекция на элементы реальной среды или ландшафта. Проекция осуществляется не на плоский белый экран, а на трёхмерный рельефный объект окружающей среды, поэтому для достижения реалистичного результата необходимо построение компьютерной пространственной модели объекта, на который планируется осуществить проекцию. На основе этой модели и с учётом её цветовой неоднородности выполняется геометрическая и цветовая коррекция проецируемого изображения, что позволяет добиваться полной визуальной трансформации и преобразования

реальных объектов и окружающей среды, создавая достоверную иллюзию изменения самих объектов. Такая технология известна как видеомapping (video mapping) или проекционный mapping (projection mapping). Получили распространение и интерактивные проекционные устройства, например, интерактивный пол, стена или стол. В таких устройствах специальная камера отслеживает передвижения и действия пользователя, а компьютерная система на основе заложенных алгоритмов генерирует необходимое изображение по заданному сценарию, подстраиваясь под поведение пользователя.

Пространственные оптические дисплеи

Этот вид устройств предполагает возможность создания дополненной реальности в ограниченном замкнутом объеме внутри самого устройства, для чего могут применяться все вышеописанные способы и их комбинации. Существенным недостатком является то, что изображение генерируется в замкнутом ограниченном физическом объеме, есть ограничения по взаимодействию с реальными объектами. Однако комбинирование нескольких технологий в одном устройстве позволяет добиваться удивительно реалистичных результатов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технологии дополненной реальности находятся в стадии динамичного и интенсивного развития, основывающегося на совершенствовании применяемых технологий, разработках принципиально новых решений, увеличении доступности и производительности компьютерных технологий, и распространяются на всё новые сферы человеческой деятельности, а в некоторых отраслях, как, например, в военной авиации, уже стали неотъемлемыми базовыми технологическими элементами. Развитие таких технологий базируется на применении новейших высокотехнологичных технических разработок, в том числе комплексных, созданных на стыке нескольких научных областей, чем стимулируется их дальнейшее развитие. Основными направлениями развития систем дополненной реальности в настоящее время является увеличение быстродействия и доступности имеющихся технологических решений, совершенствование цифровых программных алгоритмов и новые разработки, направленные на сближение дополненной реальности

с виртуальной за счёт расширения возможностей по визуальному преобразованию и трансформации наблюдаемых элементов реального физического мира. Перспективным направлением развития должны стать и являющиеся новой ветвью развития «системы синтезированного зрения», позволяющие реконструировать реальный мир цифровыми методами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кучерявый А.А. Бортовые информационные системы: курс лекций. 2-е издание. Ульяновск: УлГТУ, 2004. 504 с.
2. Чекалин Д.Г. Особенности восприятия, способы демонстрации и современные технологии воспроизведения объёмных изображений // Мир техники кино. 2017. № 1(11). С. 19–28.
3. Чекалин Д.Г. Особенности восприятия, способы демонстрации и современные технологии воспроизведения объёмных изображений // Мир техники кино. 2017. № 3(11). С. 29–35.
4. Bimber O., Raskar R. Spatial Augmented Reality: Merging Real and Virtual Worlds. A K Peters, Ltd., 2005.
5. Milgram P., Kishino A.F. Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays IEICE Transactions on Information and Systems. E77-D(12). 1994. P. 1321–1329.

Dmitriy G. Chekalin

TECHNOLOGIES OF AUGMENTED REALITY (AR) VISUALIZATION

Dmitriy G. Chekalin

E-mail: chekalinnikfi@mail.ru

Cinema and Photo Research Institute

The article describes the existing types of Augmented Reality (AR) technologies and the technical methods of image formation used in them. The technological features and possibilities of practical application of various types of AR devices are analyzed and classified.

Key words: three-dimensional image, stereoscopy, volumetric display, virtual reality (VR), augmented reality (AR), mixed reality (MR), virtual retinal display, eyeglasses, head-mounted display (HMD), head-up display (HUD), spatial augmented reality (SAR).

REFERENCES

1. Kucheryavyi A.A. Bortovye informatsionnye sistemy: kurs lektsii. 2-e izdanie. Ul'yanovsk: UIGTU, 2004. 504 p.
2. Chekalin D.G. Osobennosti vospriyatiya, sposoby demonstratsii i sovremennye tekhnologii vosproizvedeniya ob»emnykh izobrazhenii // Mir tekhniki kino. 2017. No 1(11). P. 19–28.
3. Chekalin D.G. Osobennosti vospriyatiya, sposoby demonstratsii i sovremennye tekhnologii vosproizvedeniya ob»emnykh izobrazhenii // Mir tekhniki kino. 2017. No 3(11). P. 29–35.
4. Bimber O., Raskar R. Spatial Augmented Reality: Merging Real and Virtual Worlds. A K Peters, Ltd., 2005.
5. Milgram P., Kishino A.F. Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays IEICE Transactions on Information and Systems. E77-D(12). 1994. P. 1321–1329.

УДК 004.3
ББК 32.81

Кондратьев Н. В., Сухов Д.Н., Чекалин Д.Г.

УСТРОЙСТВО И СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ОБЪЁМНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ В ТРЁХМЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ С РЕАЛЬНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Кондратьев Николай Витальевич, кандидат технических наук
E-mail: kondr1216@mail.ru
Научно-исследовательский кинофотоинститут

Сухов Дмитрий Николаевич
E-mail: soukhovdn@nikfi.ru
Научно-исследовательский кинофотоинститут

Чекалин Дмитрий Геннадьевич
E-mail: chekalinnikfi@mail.ru
Научно-исследовательский кинофотоинститут

В статье описывается технология и разработанное коллективом авторов техническое устройство в виде объёмного дисплея. Предложенная технология позволяет воспроизводить и демонстрировать движущееся цветное объёмное цифровое изображение в реальном трёхмерном пространстве и обеспечивает возможность его оптического совмещения с реальными физическими предметами, расположенными в этом же объёме. При этом совмещённое объёмное изображение доступно зрителю для наблюдения без применения стереоскопических очков или других специальных оптических устройств.

Ключевые слова: объёмное изображение, стереоскопия, голография, дисплей объёмного изображения, виртуальная реальность, допол-

ненная реальность, голограмма, много ракурсное изображение, автостереоскопический дисплей.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Основной задачей и целью научной разработки был поиск технологического решения и создание технического устройства, позволяющего отображать движущееся объёмное изображение в трёхмерном объёме, в котором одновременно с изображением располагаются реальные физические объекты и предметы. Создаваемое виртуальное изображение должно оптически совмещаться с реальными объектами, а зрители должны иметь возможность наблюдать совмещённое изображение с нескольких разных углов и свободно перемещаться в определённой зоне для наблюдения. Устройство должно являться системой объёмного отображения дополненной (AR) или виртуальной (VR) реальности одновременно для нескольких наблюдателей.

В ходе выполнения работы был выполнен обобщающий анализ теоретического и практического отечественного и зарубежного опыта создания устройств объёмного изображения. Проведено сопоставление различных существующих серийных изделий, патентных решений и экспериментальных образцов. На основе имеющегося мирового опыта с использованием современных передовых технологических решений и собственных исследований разработаны концептуальное решение и оригинальный способ технической реализации дисплея объёмного изображения.

ИЗВЕСТНЫЕ РЕШЕНИЯ

Существует несколько известных реализованных технических способов решения задачи по совмещению воспроизводимых виртуальных и реальных объектов [5–9].

Прямое использование существующих дисплеев трёхмерного изображения (стереоскопических, автостереоскопических, волюметрических и голографических) не позволяет решить задачу совмещения создаваемого ими изображения с реальными объектами. Волюметрические дисплеи в принципе не позволяют размещать внутри пространства, в котором создаётся изображение, каких-либо предметов. В стереоскопических (с применением сепарационных очков), автостереоскопических и голографических

устройствах [1–4] изображение отображается на плоском экране, расположенном в фиксированной плоскости, однако сформированный образ воспринимается объёмным в пространстве и может находиться как перед этой плоскостью, так и за ней. Для совмещения сформированного объёмного изображения с реальными объектами, последние можно располагать только перед экраном, так как при размещении за экраном они не будут видны. При этом экран должен быть просветным или светоизлучающим, технология фронтальной проекции в этом случае не применима — объекты будут отбрасывать на экран тени. Расположенные перед экраном реальные объекты перекрывают его и, таким образом, делают невозможным размещение виртуальных объектов во всём пространстве перед ними. Решение этой проблемы возможно при использовании дополнительных оптических устройств, обеспечивающих оптическое совмещение изображений.

Для совмещения оптических изображений и реальных физических предметов применяются устройства, действующие по технологии «скрытого экрана». Наиболее характерным примером реализации такого вида устройств является «проекционное устройство и способ создания иллюзии по методике “Pepper’s Ghost”» [5]. Изображение объекта, сформированное на специальном скрытом от взгляда зрителей экране, отражается полупрозрачным зеркалом в сторону зрителей, которые наблюдают отражённое мнимое изображение экрана в пространстве за этим зеркалом. Одновременно с отражённым в этом частично прозрачном зеркале изображением зритель может видеть пространство за полупрозрачным зеркалом и любые реальные объекты, там расположенные, включая живых актёров. Отражённое мнимое изображение экрана является плоским, однако в силу психофизических особенностей человеческого восприятия, основанных на статических и динамических монокулярных факторах пространственного зрения, у зрителей возникает иллюзия объёмности демонстрируемого изображения. Если при создании контента используют набор специальных приёмов (динамика движения, высокий контраст и т. п.), то ощущение объёма усиливается.

Особенностью формирования изображений по методике «Pepper’s Ghost» является то, что наблюдаемое изображение всегда локализовано в фиксированной плоскости, расстояние до которой однозначно задаётся взаимным расположением экрана, на кото-

ром формируется изображение, и частично прозрачного зеркала, формирующего мнимое изображение. Это даёт жёсткую привязку изображения к единственной плоскости и принципиальную невозможность распределения или перемещения создаваемого изображения по глубине пространства. Возможность «обходить» с разных сторон реальные физические объекты и перемещаться в пространстве по свободным траекториям отсутствует. Существенным недостатком этого метода является также прозрачность виртуальных объектов на фоне освещённых реальных объектов и эффект «просвечивания» виртуального изображения сквозь реальное в случае размещения реального объекта перед виртуальным.

Частично устранить эти недостатки позволяет применение совместно с полупрозрачным зеркалом дисплеев объёмного изображения. Разработаны и запатентованы устройства [8, 9], в которых в качестве видеозеркала применены стереоскопические дисплеи с сепарационными очками. Стереоскопическое изображение состоит из стереопары — двух плоских изображений объекта, по одному на каждый глаз. Объёмное изображение синтезируется и создаётся мозгом на основе анализа изображений стереопары. При смещении положения глаз мы ожидаем увидеть объект с другого ракурса, однако ракурс изображения всегда остаётся одинаковым, каким он был при съёмке. Этот дефект становится особенно заметным, если рядом находится реальный объёмный объект, ракурс которого меняется в соответствии с перемещением наблюдателя. Для комфортного наблюдения при смещении положения глаз зритель должен увидеть виртуальный объект с другого ракурса. В ряде устройств для этого используется технология слежения за перемещением головы и глаз зрителя. Компьютер отслеживает положение глаз, генерирует новые изображения (стереопару) для новых ракурсов наблюдения и выводит изображение на экран. Принципиальным и неустранимым недостатком такого решения является его применимость только для одного наблюдателя и необходимость системы слежения и мощного аппаратно-программного комплекса для обработки информации и синтеза ракурсов изображения.

ПРЕДЛАГАЕМОЕ РЕШЕНИЕ

В результате проведённой научно-исследовательской работы были выработаны схемотехнические решения и определён опти-

мальный вариант конструкции, оптической схемы, компоновки и технических параметров дисплея.

Для совмещения в одном объёме пространства воспроизводимого изображения и реальных объектов принята схема с частично отражающим зеркалом, показанная на рис. 1. Такое техническое решение позволяет выполнить оптическое совмещение реальных и виртуальных объектов, используя для формирования и воспроизведения объёмного изображения устройство любого типа (стереоскопическое, волнометрическое или голографическое). Устройство воспроизведения объёмного изображения устанавливается скрыто от зрителей (в приведённой на рис. 1 схеме горизонтально в верхней части устройства) таким образом, что зрители не могут видеть экран напрямую, а наблюдают только его отражение в наклонном частично отражающем зеркале в пространстве за этим зеркалом. За этим зеркалом могут размещаться реальные физические предметы или объекты, при этом для зрителя они будут находиться в том же самом месте, что и отражённые объёмные изображения. Чтобы реальные объекты были видны — их необходимо освещать, для этого предусмотрена система освещения. Для устранения возможной внешней засветки и бликов все элементы смонтированы в светонепроницаемом корпусе.

Был создан опытный полнофункциональный действующий образец устройства (дисплея) для отображения объёмного изображения в трёхмерном предметном пространстве. Для получе-

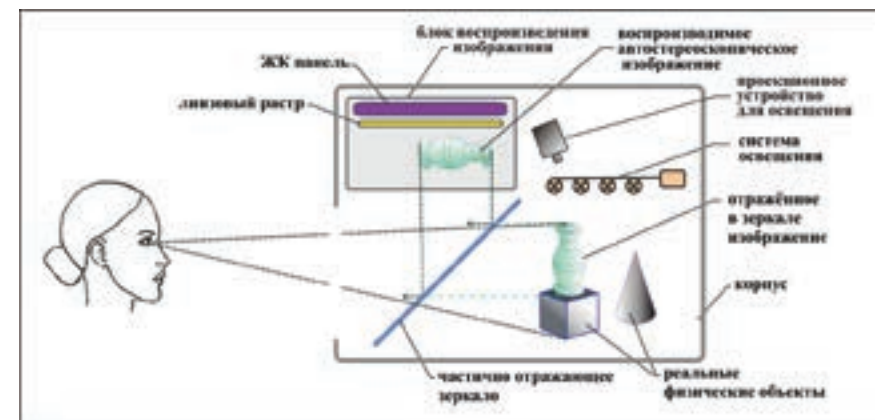


Рис. 1. Общая схема реализации дисплея (вид сбоку)



Рис. 2. Фотография экспериментального образца устройства с тремя видами изображения — виртуальным девятиракурсным объёмным изображением (балерина), с освещённым реальным объектом (макет дома) и совмещённое изображение

ния объёмного изображения был выбран метод формирования параллакс-панорамограммы [2]. Такой способ позволяет нескольким зрителям одновременно наблюдать объёмное изображение с нескольких разных ракурсов с возможностью его оглядывания и определения расстояния до элементов изображения на основе механизмов бинокулярного зрения. В качестве системы формирования параллакс-панорамограммы был использован многоакурсный автостереоскопический дисплей с наклонным линзовым растром и светоизлучающим жидкокристаллическим экраном с диагональю 39 дюймов собственной разработки НИКФИ [3] с девятиракурсным изображением. Фотографии работающего устройства приведены на рис. 2.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ

При расположении виртуальных изображений перед реальными объектами, в случае их взаимного перекрытия и заметного освещения последних, может проявиться эффект «прозрачности» виртуального изображения. Освещённый реальный объект может оказаться видимым сквозь отражённое полупрозрачным зеркалом изображение виртуального объекта. Чтобы устранить или минимизировать этот эффект, нужно применить специальную систему освещения реальных объектов, предусматривающую освещение предметного пространства источниками направленного света по специальному алгоритму. Общая схема системы освещения приведена на рис. 3.

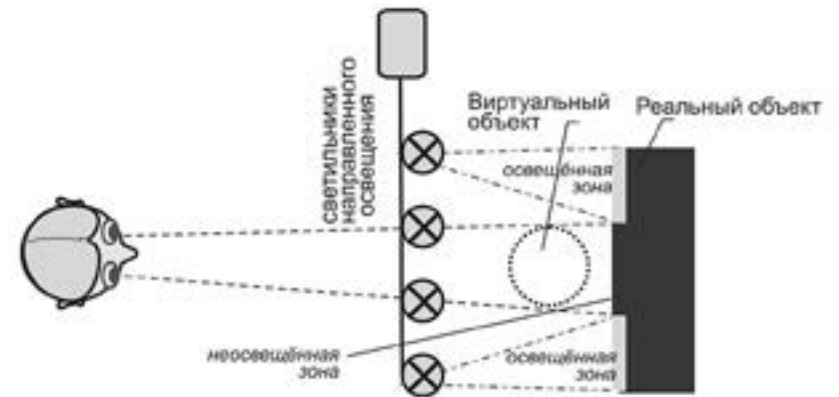


Рис. 3. Общая схема системы освещения

Источники света имеют направленный характер светового излучения и освещают пространство зоны «предметного пространства» локально, каждый в своей зоне. Это позволяет решить или свести к минимуму проблему «прозрачности» формируемых мнимых (виртуальных) объектов, при их положении на линии зрения между наблюдателем и подсвеченным реальным объектом. Чтобы избежать просвечивания реальных объектов сквозь виртуальные, достаточно с помощью управляемой системы освещения убрать с «просвечивающих» объектов или их элементов свет. Если объекты перемещаются, то управление освещением осуществляется по специально составленному сценарию или предполагает наличие специального устройства с видеокамерой, фиксирующей положение и перемещение реальных объектов в зоне «предметного пространства», которое в режиме реального времени выдаёт необходимую информацию для обеспечения управления системой освещения. В качестве источника зонированного освещения вместо набора светильников направленного освещения можно применить видеопроектор. Зону «предметного пространства» может освещать один или несколько проекторов. В этом случае освещение обеспечивается подачей на проекционное устройство модулированного видеосигнала, обеспечивающего управление яркостью и цветностью каждого пиксела видеопроектора, в результате чего формируются освещаемые лучом этого проектора зоны. Управление освещением в этом случае, как и в варианте со светильниками, может осуществляться в соответствии со специально составленным сце-

нарием или в результате использования информации от специального устройства с видеокамерой, фиксирующей положение и перемещение реальных объектов в зоне «предметного пространства». Специально для использования в составе опытного дисплея разработана и изготовлена система освещения на основе направленных светодиодных источников света. Эксперименты показали, что использование такой системы освещения позволяет сформировать изображение приемлемого качества.

При одновременном наблюдении отображаемых и реальных объектов несколькими зрителями важную роль играет относительное взаимное расположение зрителей и наблюдаемых объектов и их яркость. Возможна ситуация, когда отображаемые объекты расположены за (по направлению к наблюдателю) реальными объектами и частично ими перекрываются. В этом случае, при определённом положении виртуальных объектов относительно наблюдателей, также может проявиться эффект «просвечивания» виртуальных объектов сквозь реальные (рис. 4).

Если один из наблюдателей, например, наблюдатель № 2 на рис. 4, видит изображение виртуального объекта № 2, а для наблюдателя № 1 это изображение перекрывается реальным объектом, то в силу особенностей технологии совмещения изображений частично прозрачным зеркалом этот виртуальный объект будет «просвечивать» сквозь реальный объект для наблюдателя № 1, так как частично прозрачное зеркало физически расположено перед реальным объектом. Решить проблему «просвечивания» виртуальных объектов сквозь реальные можно несколькими способами.

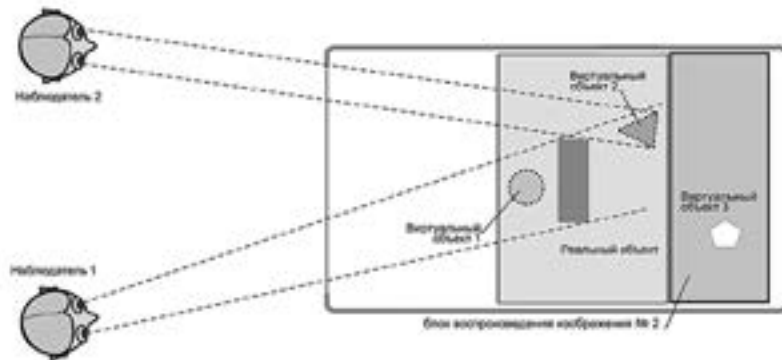


Рис. 4. Использование второго блока воспроизведения

Наиболее эффективным будет применение ещё одного (второго) блока воспроизведения изображения, как показано на рис. 4. В качестве блока воспроизведения изображения в этом случае должен использоваться дисплей, обеспечивающий формирование изображения в пространстве перед экраном. Для этого можно применить, например, автостереоскопический дисплей, установленный вместо задней стенки устройства. При этом виртуальный объект 3, сформированный таким дисплеем, будет перекрываться реальными объектами для любого положения наблюдателя. Таким образом, схема с двумя устройствами отображения позволяет обеспечить корректное отображение и совмещение объёмных изображений для нескольких зрителей, наблюдающих это изображение с разных точек наблюдения.

ПРЕИМУЩЕСТВА РАЗРАБОТАННОГО ДИСПЛЕЯ

Разработанный дисплей имеет следующие основные преимущества и отличия от известных на данный момент устройств формирования объёмного изображения в трёхмерном пространстве, совмещённого с реальными физическими объектами:

1) Устройство обеспечивает демонстрацию действительно объёмного изображения в выделенном пространстве, а не псевдо-объёмную иллюзию.

2) Устройство позволяет оптически совмещать демонстрируемое объёмное изображение с реальными объектами, в том числе макетами или объёмными сценами в одном выделенном пространстве, при этом совмещение возможно во всех точках объёма этого пространства, а наблюдаемое зрителем совмещённое комбинированное изображение будет действительно объёмным.

3) Устройство обеспечивает возможность наблюдения совмещённого комбинированного объёмного изображения одновременно для нескольких наблюдателей из разных точек зоны наблюдения.

4) Не используются дополнительные индивидуальные устройства для наблюдения изображения (например, очки) и не применяются специальные системы слежения и контроля за положением глаз зрителя в виде специальных датчиков, трекеров или камер слежения и связанные с ними сложные и ресурсоёмкие алгоритмы вычисления и генерации методами компьютерного моделирования объёмного изображения.

5) Устройство обеспечивает возможность движения объектов или элементов демонстрируемого объёмного изображения по любым пространственным траекториям внутри выделенного пространства.

6) В устройстве за счёт зонированного освещения от управляемых источников направленного света или проекционной системы освещения обеспечивается возможность устранения или значительного уменьшения эффекта «прозрачности» формируемых мнимых (виртуальных) отражённых объектов и «просвечивания» реальных объектов сквозь виртуальные при их размещении перед (по направлению к наблюдателю) реальными объектами на линии зрения наблюдателя, а также отсутствие нежелательных теней от реальных объектов.

7) Устройство позволяет использовать для демонстрации не только изображение, генерируемое методами компьютерного 3D-моделирования, но также отснятое и записанное реальное объёмное изображение (заранее сформированные программы) или транслировать изображение со специальной многокамерной системы в режиме реального времени.

8) Устройство допускает изготовление панели с частично отражающей прозрачной оптической поверхностью из различных материалов и по разным технологиям, в том числе на основе упруго растянутых плёночных или жёстких (стеклянных, пластиковых и т. п.) подложек.

9) В зависимости от целевого назначения и требуемых технических параметров устройство предполагает возможность применения в системах отображения объёмного изображения, различных по способу создания изображения (многокамерные автостереоскопические, волнометрические, голографические) и по виду технологии создаваемого объёмного изображения.

10) Устройство предполагает разные варианты оптической и геометрической компоновки узлов и возможность применения различных сочетаний основных узлов и их конструктивного размещения с целью модификации и оптимизации устройства для разных целевых назначений и разных требований: условия наблюдения зрителями и их расположение, размеры изображения, качество объёмного изображения, стоимость и технологическая сложность и т. д.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана технология и изготовлен опытный образец действующей модели дисплея, позволяющего отображать объёмное движущееся цветное изображение, доступное для наблюдения зрителем без применения стереоскопических очков или других специальных оптических устройств, и оптически совмещать его в одном пространстве с реальными трёхмерными физическими объектами.

Данная техническая разработка может иметь практическое применение в музеях, использоваться в научном и образовательном процессе для объёмной визуализации, применима для машинного проектирования и конструирования, в рекламе, для проведения специальных комбинированных съёмок при кинопроизводстве.

Разработано не только техническое устройство отображения объёмного изображения, но и новая технология его создания, которая может быть применена и востребована в области виртуальной и дополненной реальности, в сфере образования и науки, музейных и выставочных экспозициях, для создания разного рода тренажёров, в театральной и концертной сценографии, в индустрии развлечений и т. д. Предлагаемое устройство является перспективным и имеет обширную сферу применения, что обеспечивается возможностями его модификации с различной компоновкой, доступностью и применимостью нескольких разных технологий отображения объёмного изображения в соответствии с целевым назначением устройства и возможными специальными требованиями пользователей. Возможно создание устройств самых разнообразных размеров — от нескольких сантиметров до десятков метров. На разработанное устройство в 2018 году получен патент Российской Федерации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Валуев Н.А. Стереодисплей. Стереоскоп. Стереотелевидение. М.: Искусство, 1986.
2. Елхов В.А., Кондратьев Н.В., Овечкис Ю.Н., Паутова Л.В. Безочковая система показа объёмных многокамерных киноизображений // Мир техники кино. 2009. № 11. С. 2–7.
3. Елхов В.А., Кондратьев Н.В., Овечкис Ю.Н., Паутова Л.В., Дик М.А. Автостереоскопический дисплей на базе бытового жид-

кокрystalлического телевизора // Мир техники кино. 2014. № 31. С. 3–6.

4. Комар В.Г., Серов О.Б. Изобразительная голография и голографический кинематограф. М.: Искусство, 1987.

5. О'Коннелл Я., Рок Д. Проекционное устройство и способ создания иллюзии по методике «PEPPER'S GHOST». Патент Евразийской патентной организации (ЕАПО). № 008990 B1, опубл. 26.10.2007.

6. Чекалин Д.Г. Особенности восприятия, способы демонстрации и современные технологии воспроизведения объёмных изображений // Мир техники кино. 2017. № 1(11). С. 19–28.

7. Чекалин Д.Г. Особенности восприятия, способы демонстрации и современные технологии воспроизведения объёмных изображений // Мир техники кино. 2017. № 3(11). С. 29–35.

8. Bimber O., Encarnacao L.M., Stork A. Extended virtual table: an optical extension for table-like projection systems. Патент США. № US6803928B2. 2004.

9. Deering M.F. Method and apparatus for generating high resolution 3D images in a head tracked stereo display system. Патент США. № US5394202. 1995.

Nikolay V. Kondratiev, Dmitriy N. Sukhov, Dmitriy N. Chekalin

THE DEVICE AND METHOD OF FORMING A 3D IMAGE IN A THREE-DIMENSIONAL SPACE WITH REAL OBJECTS

Nikolay V. Kondratiev, PhD (Engineering)

E-mail: kondr1216@mail.ru

Cinema and Photo Research Institute

Dmitriy N. Sukhov

E-mail: soukhovdn@nikfi.ru

Cinema and Photo Research Institute

Dmitriy N. Chekalin

E-mail: chekalinnikfi@mail.ru

Cinema and Photo Research Institute

The article describes the technology and the technical device in the form of a volumetric display developed by a team of experts. The proposed

technology allows to reproduce and demonstrate a moving color 3D digital image in the real three-dimensional space and provides the possibility of its optical combination with real physical objects located in the same space. At the same time, a combined volumetric image is available for the viewer to observe directly with his eyes without using stereoscopic glasses or other special optical devices.

Key words: three-dimensional image, stereoscopy, holography, volumetric display, virtual reality (VR), augmented reality (AR), hologram, auto-multiscopic 3D image, auto-stereoscopic display.

REFERENCES

1. Valyus N.A. Stereofotografiya. Stereokino. Stereotelevidenie. M.: Iskusstvo, 1986.

2. Elkhov V.A., Kondrat'ev N.V., Ovechkis Yu.N., Pautova L.V. Bezochkovaya sistema pokaza ob''emnykh mnogorakursnykh kinoizobrazhenii // Mir tekhniki kino. 2009. No 11. P. 2–7.

3. Elkhov V.A., Kondrat'ev N.V., Ovechkis Yu.N., Pautova L.V., Dik M.A. Avtostereoskopicheskiy displei na baze bytovogo zhidkokristallicheskogo televizora // Mir tekhniki kino. 2014. No 31. P. 3–6.

4. Komar V.G., Serov O.B. Izobrazitel'naya golografiya i golograficheskiy kinematograf. M.: Iskusstvo, 1987.

5. O'Konnell Ya., Rok D. Proektsionnoe ustroistvo i sposob sozdaniya illyuzii po metodike «PEPPER'S GHOST». Patent Evraziiskoi patentnoi organizatsii (EАPO). № 008990 B1, opubl. 26.10.2007.

6. Chekalin D.G. Osobennosti vospriyatiya, sposoby demonstratsii i sovremennye tekhnologii vosproizvedeniya ob''emnykh izobrazhenii // Mir tekhniki kino. 2017. No 1(11). P. 19–28.

7. Chekalin D.G. Osobennosti vospriyatiya, sposoby demonstratsii i sovremennye tekhnologii vosproizvedeniya ob''emnykh izobrazhenii // Mir tekhniki kino. 2017. No 3(11). P. 29–35.

8. Bimber O., Encarnacao L.M., Stork A. Extended virtual table: an optical extension for table-like projection systems. Patent SShA. No US6803928B2. 2004.

9. Deering M.F. Method and apparatus for generating high resolution 3D images in a head tracked stereo display system. Patent SShA. No US5394202. 1995.

УДК 778.534.19
ББК 37.95

Дауров И.Г.

СИСТЕМА КИНОТЕАТРАЛЬНОГО ЗРЕЛИЩА «ПАРЯЩИЙ ЭКРАН 3D-СТЕРЕО»

Дауров Игорь Гаисович
E-mail: daurov@mail.ru
Студия «DAUROV-STEREO»

Предлагается новый способ организации театрального кинопоказа стереоскопических фильмов, который максимально полно учитывает особенности восприятия стереоскопического изображения на большом экране зрительного зала, обеспечивает комфорт восприятия, новизну психоэмоционального отклика у зрителя. Данный вид кинопоказа можно отнести к разделу киноаттракциона или кинозрелища нового свойства. Система предусматривает особый подвес полотна киноэкрана, его цветовую интерактивность, а также нестандартное размещение зрительской зоны, амфитеатра и особое заполнение предэкранного пространства партера.

Ключевые слова: стереокино, кинопоказ стереофильмов, кинозрелище, киноаттракцион, парящий экран.

Стереоскопическое кино (стереокино) — вид кинематографа, технические средства которого создают у зрителя иллюзию объёмности изображаемых на экране объектов. Первый стереоскопический художественный фильм «Концерт», созданный в СССР в 1940 году, позволял зрителям воспринимать стереоэффект без очков благодаря установленному перед экраном специальному проволочно-растру. А расположение конструкции экрана по отношению к

зрителям, как и зрительских кресел по отношению к экрану были таковыми, что пространство зала становилось естественным продолжением пространства той или иной мизансцены стереофильма, когда и зрители, и ряды амфитеатра дополняли собой экранное действие и взаимодействовали с ним. Эффект зрительской сопричастности, включённости в пространственные решения стереофильмов, усиливался для зрителей дальних рядов, так как впереди сидящие зрители или ряды кресел становились опорными точками в пространстве перед киноэкраном, благодаря которым зрители дальних рядов нагляднее могли воспринять стереоскопические иллюзии, могли совместить их с геометрией реального пространства зала. Эти факторы способствовали усилению психоэмоционального эффекта, повышали достоверность стереоскопической иллюзии. На таких же принципах были реализованы проекты первых стереоскопических кинотеатров в СССР, созданных для проекции стереофильмов по системе «Стерео-70», с применением поляризационных очков для зрителей и металлизированных недеполяризующих киноэкранов.

Например, при вместимости зала в 250 мест, длина зала по лучу составляла 20–25 метров, что позволяло получить для стереофильма размер экранного изображения, равного 8 метрам по ширине. Ширина зала (по зрительским местам) при этом составляла не более 10–12 метров. При этом обеспечивалась удовлетворительная яркость экрана для всех зрительских мест, а искажения формы пространственной картины при наблюдении стереоскопического изображения с крайних боковых мест не выходили за пределы допустимых. Расстояние до первого ряда составляло не менее 1,5 ширины экранного стереоизображения.

При проектировании современных многозальных кинотеатральных комплексов — мультиплексов, в которых демонстрируют и обычные, и стереоскопические кинофильмы, сегодня не учитываются особенности восприятия объёмного изображения зрителем, т. е. полностью игнорируется специфика проектирования зального пространства и не учитывается специфика восприятия стереоскопического изображения. Все кинозалы сегодня строятся по единому образцу с крутым подъёмом амфитеатра зрительской зоны, т. е. с большим шагом подъёма ступеней от ряда к ряду по линейному принципу (рис. 1).

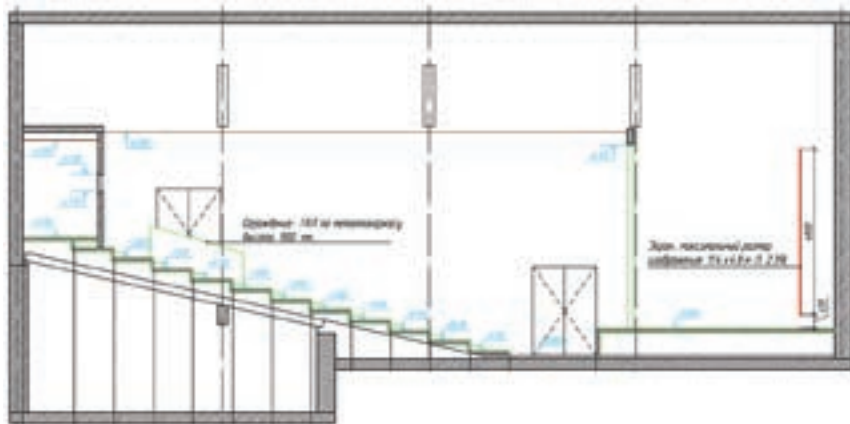


Рис. 1. Пример современного проекторочного решения подъёма подиума зала кинотеатра

Между тем, для беспрепятственной видимости зрителем выбранной точки на киноэкране (за расчётную точку видимости в кинотеатрах принимают центр нижней границы экрана) необходимо обеспечить условие, при котором зрительный луч (отрезок прямой, проведённый к экрану от глаз зрителя) проходил бы на высоте 14–15 см выше уровня глаз впереди сидящего зрителя. Такое значение на 2–3 см выше среднего расстояния от уровня глаз человека до верха головы (рис. 2).

Это минимально допустимые рекомендации, согласно нормативам СНиП и «Кинотехнологии», но на деле разница в перепаде высот между этими показателями при проектировании и строительстве современных кинозалов доходит до 35 см, т. е. превышает более чем вдвое. В результате, у подавляющего большинства зрителей в таком кинозале создаётся ситуация обзора экрана и зала, при котором зритель визуальнo изолируется в пространстве от впереди сидящих зрителей и остаётся с киноэкраном один на один, а его взор проходит значительно выше нижней кромки экрана. В итоге при наблюдении стереоскопических изображений, выходящих в залное пространство, все опорные плоскости передних рядов находятся значительно ниже линии фиксации взора большинства зрителей. В результате переднеплановые объекты таковыми или не воспринимаются вообще, или с весьма слабым пространственным обособлением от плоскости экрана. Это обстоятельство ме-

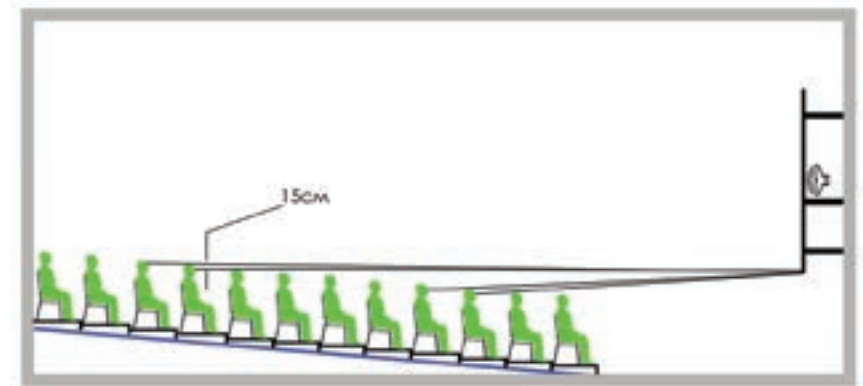


Рис. 2. Пример подъёма зрительского подиума в классическом проекторочном решении стереокинотеатра

шает наиболее эффективно и полно погрузить зрителя в иллюзию трёхмерного пространства, а также мешает максимально полно раскрыть изобразительно-выразительный потенциал стереокино.

Устранить этот явный недостаток, мешающий полноценному раскрытию новых экранных форм кинематографа, в стереокино можно, если пересмотреть стандартные универсальные планировочные решения зрительных залов, предназначенных для просмотра стереокино.

Предлагается создать отдельный сектор кинозрелища-аттракциона, учитывающего специфику восприятия стереоскопического изображения при массовом просмотре, и внести новые принципы в проектирование мультиплексов, в которых предусмотрен показ стереокино. Если учесть, что сегодня большинство кинокомплексов содержит несколько залов, то экономически целесообразно проектировать новые залы от 50–70 мест или от 70 до 150 мест.

Кроме предлагаемого возврата к классической схеме расчёта как самого зрительного зала, его длины и ширины, размещения киноэкрана, шага амфитеатра зрительских мест, о которой говорилось выше, предлагается также особый способ подвеса полотна киноэкрана, границы которого не соприкасаются визуальнo ни со стенами зала, ни с потолком, ни с полом, а сам экран не обрамляется чёрной тканью, но ею задрапирован задник позади экрана, а также стены, пол и потолок в передней части кинозала, примерно на 1/3 от всей его длины. Рама экрана крепится только к задней



Рис. 3 Анаглиф. Условный вид зала: система кинотеатрального зрелища «Парящий экран 3D-СТЕРЕО». Смотреть в анаглифных очках!

стене зала, зритель не видит ни ферм, ни рамы экрана, т. е. не видит точек подвеса рамы экрана ни к полу, ни к потолку, а сама рама вынесена на 2–2,5 метра вперёд — к зрителю. Края полотна экрана загибаются и натягиваются по периметру рамы, скрытому от глаз зрителя, т. е. с внутренней стороны боков рамы. По периметру полотна, скрытно от зоны видения зрителей, развешиваются специальные малогабаритные софиты, повёрнутые от зрителя — в сторону передней стены (рис. 3).

В софитах в качестве источника отражённой пространственной подсветки может размещаться так называемая синяя лампа Минина, широко использовавшаяся в СССР для рефлекторов бытовой физиотерапии. Этот синий свет не влияет на сетчатку глаз, но благодаря внешнему отражению создаёт равномерный сияющий ореол вокруг всего периметра кромки полотна киноэкрана, что в сочетании с проекцией, настроенной строго по размеру полотна (вписывается в края полотна), — создаёт в темноте зрительскую иллюзию «парящего в воздухе» изображения. Данный метод кинопоказа встречался в обычных кинотеатрах в СССР, в частности автор статьи застал такой способ организации кинопроекции в кинотеатре «Родина» г. Ростова-на-Дону в 1990 году.

Источник света может быть изменён на светодиодный, вместо монохромного и постоянного свето-обрамления экрана можно использовать переменное свето-динамическое обрамление, повторяющее цвет по краям полотна экрана, который присутствует в данный момент времени в конкретном кадре фильма.

Мы не предлагаем копировать технологическое и планировочное решение зрительного зала, разработанное советскими специалистами для проекции кинофильмов по системе «Стерео-70», а предлагаем модернизировать его, чтобы подавляющее большинство зрителей, пришедших в кинозал, заплатив деньги, не ушли разочарованными. Для этого необходимо практически полностью устранить зоны так называемых «неудобных» мест в зале, к которым относятся в первую очередь места первых зрительских рядов любого кинозала. Но тогда зрители, расположенные в зоне комфортного восприятия стереоизображения, потеряют пространственную опору, роль которой выполняли первые ряды зрителей от киноэкрана.

Поэтому в этой неудобной и малопригодной для стереовосприятия зоне зрительских мест вместо зрительских кресел предлагается установить разного рода геометрические фигуры, по высоте и ширине схожие с объёмом и высотой сидящего в кресле человека. Эти фигуры создадут опорные плоскости в пространстве восприятия общей стереокартины у зрителей задних рядов и заполнят пустующее пространство амфитеатра (рис. 4).

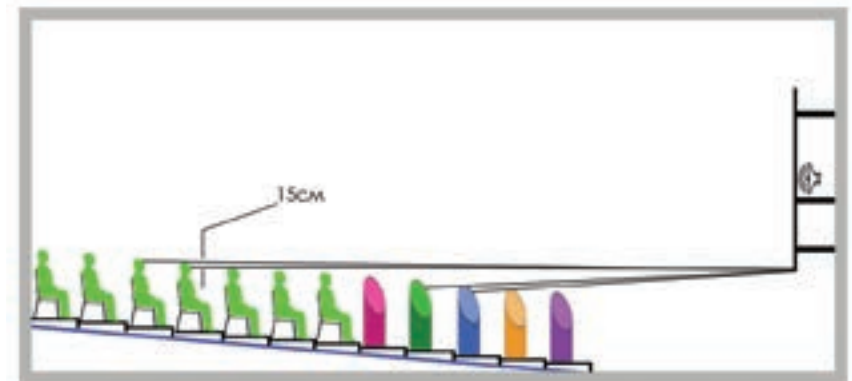


Рис. 4. Пример планировочного решения зрительского амфитеатра и предэкранной зрительской зоны в системе кинотеатрального зрелища «Парящий экран 3D-СТЕРЕО»

В перерывах между киносеансами эти фигуры, выполненные из безопасных материалов, могут быть подсвечены изнутри динамическими светодиодами. Тем самым будет создаваться особое предсеансовое настроение у зрителя, который запомнит необычность такого зала и пожелает прийти туда ещё раз.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Спад зрительского интереса к стереокино во многом обусловлен неграмотным и необдуманым с художественно-изобразительной точки зрения применением средств стереоскопии как при съёмке стереокино, так и при его кинопоказе. Предлагаемый способ организации кинопоказа стереофильмов призван привлечь внимание широкого круга зрителей и производителей кинопродукта в России на стереоскопию в кино, чтобы на этой основе начать возрождение отечественных, как советских, так и российских, технологий съёмки и кинопоказа стереокино и запустить независимый от западных технологий и специалистов отечественный сектор производства стереокино, базирующийся на собственном позитивном опыте. Разумеется, при реализации проекта «Система кинотеатрального зрелища «Парящий экран 3D-СТЕРЕО»», важно решать и вопрос соответствия того или иного стереоконтента на пригодность к условиям, отвечающим новым задачам изобразительно-выразительных возможностей стереоскопии в кино как нового инструмента художественной выразительности. В качестве начальных и исходных примеров для такого вида кинозрелища предлагается использовать стереофильмы автора статьи, выходящие под брендом «DAUROV-STEREO», некоторые из них имеют прокатные удостоверения Министерства культуры Российской Федерации, а также пакетированы в контейнер 3D DCP цифрового киностандарта консорциума DCI.

ЛИТЕРАТУРА

1. Болтянский А.Г., Овсянникова Н.А. Проекция стереоскопических фильмов по системе «Стерео-70» // Техника кино и телевидения, 1978. № 4.
2. Дауров И.Г. 3D-кино от съёмки до экрана. Практическое руководство. Ростов-на-Дону: ИП И.Г. Дауров, 2015.

3. Мелкумов А.С. Стереоскопический кинематограф: учебное пособие. М.: ВГИК, 2013.

4. Рожков С.Н., Овсянникова Н.А. Стереоскопия в кино-, фото-, видеотехнике. Терминологический словарь // М.: Парадиз, 2003.

5. СНиП II-73-76. Часть II. Глава 73. Кинотеатры // М.: Госстрой СССР, 1977.

Igor G. Daurov

«FLYING SCREEN 3D-STEREO» SYSTEM OF THEATRICAL SPECTACLE

Igor G. Daurov

E-mail: daurov@mail.ru

Studio «DAUROV-STEREO»

A new method of organizing a theatrical screening of stereoscopic films is proposed, which takes into account the peculiarities of the perception of stereoscopic images on the large screen of the auditorium to the fullest extent possible, provides the comfort of perception, the novelty of the psycho-emotional response in the viewer. This type of screening can be considered as an entertainment or a new type of spectacle. The system provides for a special suspension of the screen, its color interaction and the unusual location of the spectator area in the amphitheatre and a special filling of the space in front of the screen in the stalls.

Key words: 3D cinema, 3D film screening, spectacle, entertainment, flying screen.

REFERENCES

1. Boltyanskii A.G., Ovsyannikova N.A. Proektsiya stereoskopicheskikh fil'mov po sisteme «Stereo-70» // Tekhnika kino i televideniya, 1978. № 4.
2. Daurov I.G. 3D-kino ot s'emki do ekrana. Prakticheskoe rukovodstvo. Rostov-na-Donu: IP I.G. Daurov, 2015.
3. Melkumov A.S. Stereoskopicheskii kinematograf: uchebnoe posobie. M.: VGIK, 2013.
4. Rozhkov S.N., Ovsyannikova N.A. Stereoskopiya v kino-, foto-, videotekhnike. Terminologicheskii slovar' // M.: Paradiz, 2003.
5. SNiP II-73-76. Chast' II. Glava 73. Kinoteatry // M.: Gosstroj SSSR, 1977.

УДК 778.534.19
ББК 37.95

Литвиненко А.С., Поляков А.Ю.

РАСЧЁТ КАРТЫ ПАРАЛЛАКСОВ ПРИ КОНВЕРТАЦИИ 2D В 3D

Литвиненко Анастасия Сергеевна
E-mail: litvinenko6181@gmail.com

Балтийский федеральный университет имени И. Канта

Поляков Алексей Юрьевич, кандидат технических наук
E-mail: ap@triaxes.com

Балтийский федеральный университет имени И. Канта

Рассмотрена технология преобразования 2D-изображений в формат 3D. Приведена модель расчёта параллакса и способ построения карты глубины. Описана программа, разработанная на основе полученной модели. Приведена информация об использовании результатов работы при производстве стереоскопического контента.

Ключевые слова: стереоизображение, стереоскопическая съёмка, параллакс, карта глубины.

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире технологии виртуальной реальности (Virtual Reality), дополненной реальности (Augmented Reality) и смешанной реальности (Mixed Reality) пользуются большой популярностью. С другой стороны, существует много 2D-контента — фото и видео. Поэтому конвертация формата 2D в 3D является востребованной операцией обработки изображений. А учитывая,



Рис. 1. Слева — исходное изображение, справа — карта глубины

что в настоящее время конвертация выполняется субъективно и результат зависит от опыта и мастерства дизайнера, то разработка программ конвертации 2D в 3D является актуальной.

Для того чтобы осуществить конвертацию изображения, нужно рассмотреть, какие особенности имеет стереоизображение и научиться его формировать.

При конвертации решается задача получения из одного изображения двух изображений, в которых заложен разный параллакс объектов в зависимости от их удаления.

Инструментом конвертации изображения служит карта параллакса, которая затем трансформируется в карту глубины [3].

Карта глубины (или карта удалённостей) это вспомогательное полутоновое изображение, на котором оттенки серого соответствуют удалённости объектов на изображении. Пример карты глубины приведен на рис. 1. Чем ближе объект или его часть к наблюдателю, тем более светлыми они будут на карте глубины. В частности, широкое применение имеет монохромная полутоновая карта глубины.

Известны три способа построения карты глубины, основанные на:

- автоматическом анализе стереоскопических изображений (например, программа StereoTracer компании Triaxes);
- использовании пленоптических камер (Raytrix, Lytro);
- «ручном» создании карты глубины дизайнером.

Первые два автоматических способа работают с исходными данными в стереоскопическом формате.

РАСЧЁТ ЗНАЧЕНИЙ КАРТЫ СТЕРЕОПАРАЛЛАКСОВ

Если принять, что параллакс имеет нулевое значение, когда объект находится в бесконечности, то параллакс остальных объектов можно рассчитать по формуле:

$$p = \frac{bf}{l}, \quad (1)$$

где p — параллакс, b — базис зрения, f — фокусное расстояние, l — расстояние до объекта.

Эксперименты, выполненные с помощью стереокамеры Fujifilm FinePix Real 3D W1, у которой величина базиса между объективами $b = 77$ мм, а фокусное расстояние объектива $f = 6,3-18,9$ мм (35,0–105,0 мм в эквиваленте 35-мм камеры), показали, что при проведении стереосъёмки тестового стенда из объектов, расположенных на разном расстоянии, экспериментально полученные значения параллаксов примерно соответствуют расчётным, полу-

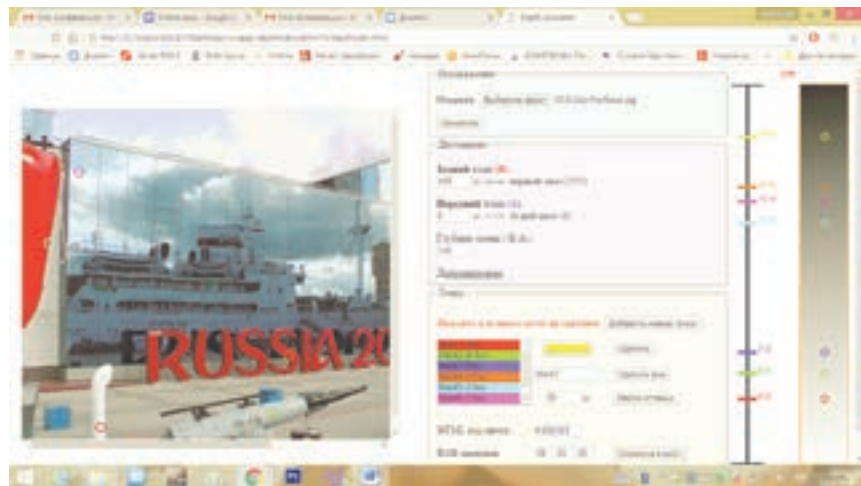


Рис. 2. Пример использования программы



Рис. 3. Карта глубины, построенная с использованием программы



Рис. 4. Преобразование в программе StereoTracer

ченным с помощью формулы (1). Расхождения вызваны тем, что оптические оси объективов камеры конвергированы (сходятся) на расстоянии 3 метра, а в формуле (1) предполагается параллельное направление оптических осей.

На основе проведенных исследований была разработана программа (рис. 2) расчёта оттенка серого при составлении карты глубины.

Работа с программой осуществляется в следующей последовательности:



Рис. 5. Сувенирная продукция. Стереоскоп и карточки

- 1) Загрузить изображение в программу.
- 2) Ввести значения переднего и заднего планов изображения.
- 3) Добавить точки в список и указать дистанции до них.
- 4) Получить значения цвета для заданных точек.
- 5) Сохранить результат в текстовом документе.

Далее на основании рассчитанных значений оттенков серого строится карта глубины (рис. 3).

Используя программу StereoTracer компании Triaxes, можно получить анаглифное представление изображения. Для этого производится рендеринг изображения (рис. 4).

Помимо анаглифного изображения, с помощью карты глубины в программе 3DMasterKit компании Triaxes можно получить стереопару для дальнейшего просмотра в стереоскопе.

Данная методика конвертации была использована при производстве сувенирной продукции для музея Мирового Океана города Калининграда (рис. 5). Конвертация фотографий выполнена на основе технологии карты глубины.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана программа расчёта карты глубины.

Программа может использоваться локально, а может эксплуатироваться в многопользовательском режиме одновременного онлайн доступа. Применение данной программы поможет дизайнерам выполнять расчёты при конвертации изображений формата 2D в стереоформат. Тестирование программы показало, что стереоизображения, полученные с использованием предлагаемого метода, создают качественный стереоэффект, что повышает комфортность восприятия потребителями готовой стереопродукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грязин Г.Н. Основы и системы прикладного телевидения: учеб. пособие для вузов / под ред. Н.К. Мальцевой. СПб.: Политехника, 2011. 274 с.
2. Красильников Н.Н. Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений: учеб. пособие. СПб.: БХВ–Петербург, 2011. 608 с.
3. Поляков А.Ю., Макурин Ф.Е., Алещенко А.С. Преобразование стереофотографий для показа на автостереоскопическом дисплее // Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других областях: VII Международная научно-практическая конференция, Москва, 23-25 апреля 2015 г.: Материалы и доклады / под общей редакцией О.Н. Раева. М.: ВГИК, 2015. С. 182–192.
4. Рожков С.Н., Овсянникова Н.А. Стереоскопия в кино-, фото-, видеотехнике. Терминологический словарь. М.: Парадиз, 2003. 136 с.

Anastasiy S. Litvinenko, Aleksey U. Polyakov

STEREO PARALLAX MAP CALCULATION FOR 2D TO 3D CONVERSION

Anastasiy S. Litvinenko

E-mail: litvinenko6181@gmail.com

Baltic Federal University of Immanuel Kant

Aleksey U. Polyakov, PhD (Engineering)

E-mail: ap@triaxes.com

Baltic Federal University of Immanuel Kant

The technology of 2D to 3D conversion is considered. A parallax calculation model and a method for constructing a depth map are described. The developed calculation model is implemented in software. Some specific projects in which the results of the work were used are described in the conclusion.

Key words: stereophoto, stereoscopic shooting, parallax, depth map.

REFERENCES

1. Gryazin G.N. Osnovy i sistemy prikladnogo televideniya: ucheb. posobie dlya vuzov / pod red. N.K. Mal'tsevoi. SPb.: Politekhnik, 2011. 274 p.
2. Krasil'nikov N.N. Tsifrovaya obrabotka 2D- i 3D-izobrazhenii: ucheb. posobie. SPb.: BKhV–Peterburg, 2011. 608 p.
3. Polyakov A.Yu., Makurin F.E., Aleshchenko A.S. Preobrazovanie stereofotografii dlya pokaza na avtostereoskopicheskom displee // Zapis' i vosproizvedenie ob»emnykh izobrazhenii v kinematografe i drugikh oblastiakh: VII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, Moskva, 23-25 aprelya 2015 g.: Materialy i doklady / pod obshchei redaktsiei O.N. Raeva. M.: VGIK, 2015. P. 182–192.
4. Rozhkov S.N., Ovsyannikova N.A. Stereoskopiya v kino-, foto-, videotekhnike. Terminologicheskii slovar'. M.: Paradiz, 2003. 136 p.

УДК 778.534.19

ББК 37.95

Переверзева П.А., Ватолин Д.С., Хатиуллин А.А.

МЕТОД АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОИСКА РАЗЛИЧИЙ МЕЖДУ 2D И СТЕРЕОСКОПИЧЕСКИМИ ВЕРСИЯМИ ФИЛЬМОВ

Переверзева Полина Алексеевна

E-mail: polina.pereverzeva@graphics.cs.msu.ru

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Ватолин Дмитрий Сергеевич, кандидат физико-математических наук

E-mail: dmitriy@graphics.cs.msu.ru

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Хатиуллин Айдар Асхатович

E-mail: aidar_ashatovich@graphics.cs.msu.ru

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Одним из распространенных способов создания стереофильмов является конвертация из 2D-формата в стереоформат. Это процесс, в ходе которого из одного изображения создаются два новых — для левого и правого глаза. Для заполнения возникающих областей открытия используются различные приёмы: деформация заднего плана, масштабирование объектов, удаление незначительных для сюжета предметов. Все они требуют большого количества ручной работы, поэтому при некачественном выполнении могут образовываться дефекты, которые вызывают у зрителя ощущение дискомфорта и головную боль.

Разработан метод автоматического поиска ограниченного набора приёмов конвертации видео из 2D-версии в стереоформат.

Ключевые слова: стерео, видео, конвертация 2D в стерео, заполнение областей открытия.

ВВЕДЕНИЕ

За последние годы фильмы в стереоформате набрали огромную популярность. И неудивительно, ведь они позволяют зрителю побывать в центре событий, а не просто смотреть на плоский экран.

Существует несколько способов создания стереофильмов:

- съёмка специализированными стереокамерами (фильм сразу снимается в стереоформате);
- компьютерная графика (фильм построен в специальных программах 3D-рендеринга);
- конвертация видео из 2D в стереоформат (фильм изначально снят в 2D).

При этом часто встречаются фильмы, в которых есть сцены, полученные разными способами. Например, конвертация используется в тех случаях, когда качественная съёмка невозможна (макросъёмка, подводные сцены).

Самым широко используемым способом конвертации из 2D в стереоформат является конвертация с использованием карты глубины для исходного видео (Depth-Image-Based Rendering (DIBR) [6]). Пиксели исходного изображения смещаются по горизонтали в зависимости от соответствующего значения глубины. Но при этом появляются области открытия — части изображения, которые не были видны в исходном кадре. Заполнение областей открытия является сложной задачей, которая по сей день окончательно не решена. На данный момент для генерации качественных ракурсов области открытия заполняются вручную, что связано с большими затратами ресурсов и времени. Автоматические или полуавтоматические методы существенно упрощают этот процесс, но вносят свои проблемы, например, появляется деформация границ или неправильная деформация фона при заполнении областей открытия (рис. 1).

Такие искажения заметно снижают качество стереофильма [12, 13]. Более того, получается так, что один глаз видит объект одной формы, а другой глаз в этом же месте видит объект другой формы. Человеческое зрение не приспособлено к таким противоречиям.



Рис. 1. Пример искажения, возникшего при неправильном заполнении областей открытия. Кадр № 85 250 из фильма «Валериан и город тысячи планет»



Рис. 2. Пример увеличенного объекта. Кадр № 873 902 из фильма «Человек-паук: Возвращение домой»



Рис. 3. Пример деформированного фона. Кадр № 82 200 из фильма «Человек-муравей»

Поэтому кадры с артефактами вызывают у зрителей чувство дискомфорта или даже головную боль [2].

Кроме заполнения областей открытия используются следующие приёмы конвертации:

- увеличение объекта переднего плана (рис. 2);
- растягивание фона за границы объектов переднего плана (рис. 3);
- удаление незначительных для сюжета объектов (рис. 4).

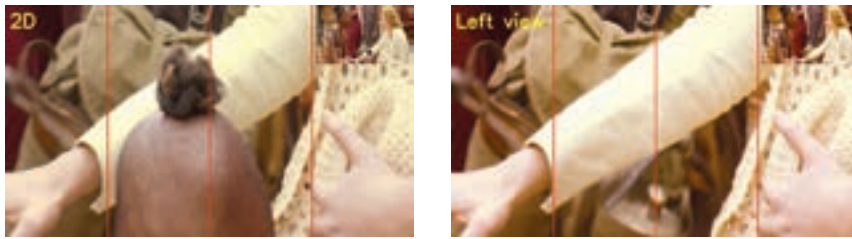


Рис. 4. Пример удалённого объекта. Кадр № 17 800 из фильма «Тарзан. Легенда»

Для повышения качества конвертации требуется разработка новых методов поиска, оценки и исправления артефактов, вызывающих головную боль. Способы оценки 2D-изображений, такие как PSNR или SSIM, не справляются со специфичными артефактами, присутствующими только в синтезированных ракурсах. Современные методы оценки качества синтезированных ракурсов не учитывают такие приёмы конвертации, как увеличенные объекты, деформированный фон или удалённые объекты, и не способны их найти и правильно оценить.

Целью данной работы является разработка метода автоматического поиска таких приёмов конвертации из 2D в стереоформат, как увеличение объектов переднего плана, деформация фона и удаление объектов.

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ

Самый простой способ оценки качества синтезированных стереоракурсов — применить уже существующие методы, разработанные для обычных изображений. Но, как показано в [3, 4], эти методы не справляются со специфичными геометрическими искажениями, которые появляются в синтезированных стереоракурсах.

В работе [11] авторы провели исследование, которое показало, что существенные деформации контуров объектов гораздо заметнее для зрителя, чем искажения заднего плана вокруг исследуемых контуров. На рис. 5, *а* приведено исходное изображение, на рис. 5, *б* и 5, *в* — синтезированные ракурсы, полученные с помощью алгоритмов, предложенных в [8] и [9] соответственно. На рис. 5, *д* и 5, *е* приведены увеличенные фрагменты изображений, на которых хорошо видно искажение носа человека (см. рис. 5, *д*) и деформированный фон по краям

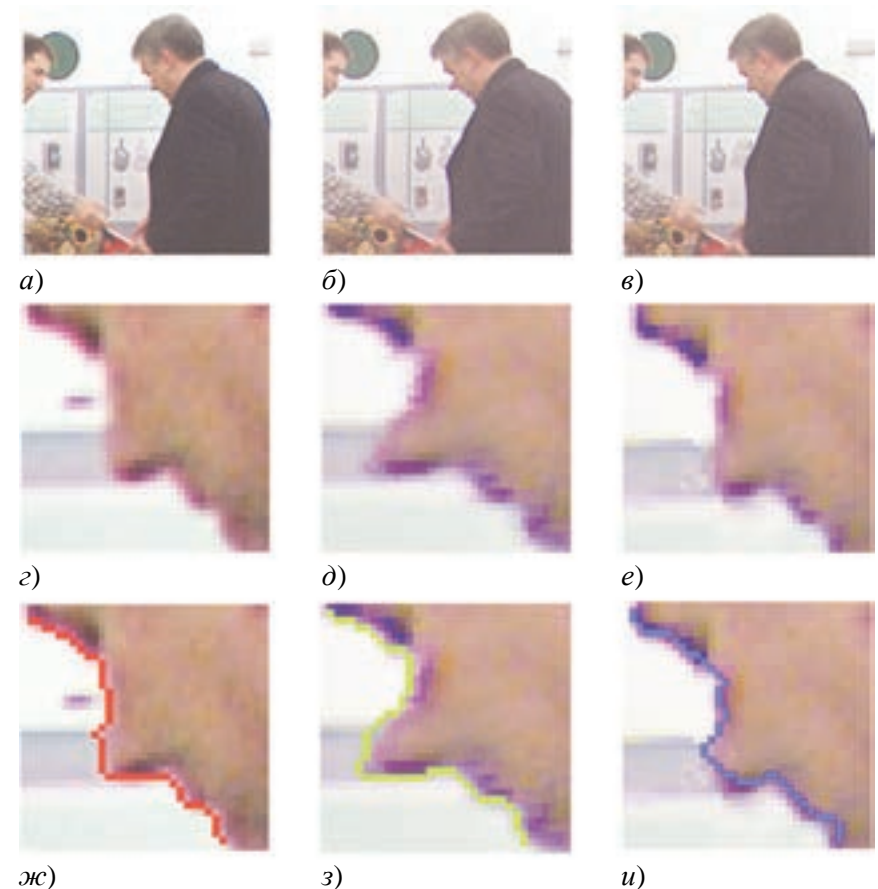


Рис. 5. Пример неправильной работы PSNR на синтезированных стереоракурсах

носа (см. 5, *е*). На рис. 5, *ж*; 5, *з* и 5, *и* границы объекта выделены цветом.

Визуальная оценка показала, что искажение носа на рис. 5, *з* вызывает больший дискомфорт, чем артефакты, приведённые на рис. 5, *и*. При этом объективная метрика PSNR ошибочно оценила рис. 5, *з* как лучшее из этих двух изображений.

Очевидно, что для поиска артефактов, специфичных для сконвертированных фильмов, требуются отдельные методы.

Авторы предлагают метод поиска описанных искажений, состоящий из разбиения изображений на блоки, выделения в них границ и оценки границ с помощью метрики эластичности.



Рис. 6. Общая схема предложенного алгоритма

Чем больше деформация границы объекта, тем выше оценка «болезненности» артефакта.

ПРЕДЛОЖЕННЫЙ АЛГОРИТМ

Схема разработанного алгоритма представлена на рис. 6.

Во время создания стереоверсии фильма некоторые сцены могут быть удалены или переставлены по ряду причин. Для избегания путаницы, видеопоследовательности предварительно синхронизируются с помощью метода, предложенного в [1].

ПОСТРОЕНИЕ ПРОМЕЖУТОЧНОГО РАКУРСА

Часто для генерации левого и правого ракурсов 2D-кадр глобально увеличивается (рис. 7). Так, например, при создании левого (рис. 7, а) и правого (рис. 7, б) ракурсов 56% исходного кадра (рис. 7, в) было обрезано. Скорректированный по масштабу 2D-кадр представлен на рис. 7, з.

Поэтому прежде чем искать структурные изменения в стереоверсии, нужно сгенерировать новый, «промежуточный» ракурс, масштаб которого будет совпадать с масштабом стереоракурсов.



Рис. 7. Пример несоответствия масштаба между версиями фильма. Кадр № 14 970 из фильма «Человек-паук: Возвращение домой»

С помощью алгоритма блочного сопоставления кадров (Block Matching Algorithm [5]) вычисляются векторы соответствия между исходным и левым ракурсом, исходным и правым ракурсом, левым и правым ракурсами. Полученные поля векторов проходят дополнительную фильтрацию — отбрасываются вектора с малым значением доверия (доверие к вектору вычисляется на основе оценки Left-Right-Consistency Check [10]). Далее с помощью метода RANSAC [7] выполняется итеративный поиск подходящего преобразования:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_x & 0 & c_x \\ 0 & b_y & c_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix},$$

где x, y — координаты точки в левом ракурсе; x', y' — координаты соответствующей точки в исходном кадре; b_x, b_y — параметры масштабирования по горизонтали и вертикали; c_x, c_y — параметры сдвига по горизонтали и вертикали.

Полученные параметры преобразований применяются к кадру 2D-версии, и генерируется промежуточный ракурс.

ПОЗИЦИЯ 2D-КАДРА

При генерации левого и правого ракурсов объекты в исходном кадре сдвигаются вправо или влево в соответствии с картой диспаратности. Возможны случаи, когда в качестве левого ракурса принимается исходный кадр и генерируется только правый кадр, или наоборот. Но чаще всего смещение объектов относительно 2D-кадра происходит и в левом, и правом ракурсах.

Пусть координаты пикселя в исходном кадре: $P_{\text{моно}}(x, y)$. В правом ракурсе тот же пиксель будет иметь другие координаты, т. е. он сдвинется по горизонтали на величину:

$$\text{offset}_{MR} : P_{\text{right}}(x + \text{offset}_{MR}, y).$$

В левом ракурсе он тоже сдвинется по горизонтали, но не обязательно на ту же величину, т. е. на: $\text{offset}_{ML} : P_{\text{left}}(x + \text{offset}_{ML}, y)$.

Имеются карты диспаратности для следующих пар изображений: левый и правый ракурсы, левый ракурс и моно, правый ракурс и моно. Для каждого пикселя известны значения offset_{ML} , offset_{MR} и offset_{LR} — разность горизонтальных координат одного пикселя в левом и правом ракурсах. Очевидно, что должно выполняться соотношение:

$$|\text{offset}_{LR}| = |\text{offset}_{ML}| + |\text{offset}_{MR}|.$$

Наглядное представление этой формулы можно увидеть на рис. 8. На числовой прямой нулю сопоставлен левый ракурс, единице — правый ракурс. Исходный кадр находится между левым и правым ракурсами, и ему соответствует $\alpha \in [0, 1]$. Если исходный кадр совпадает с левым ракурсом, т. е. $\text{offset}_{ML} = 0$, значит $\alpha = 0$. Если исходный кадр совпадает с правым, т. е. $\text{offset}_{MR} = 0$, значит $\alpha = 1$.

Для всех пикселей должны выполняться соотношения:

$$|\text{offset}_{ML}| - \alpha |\text{offset}_{LR}| = \text{Shift}_L$$

$$|\text{offset}_{MR}| - (\alpha - 1) |\text{offset}_{LR}| = \text{Shift}_R.$$

Для пикселей, которые не принадлежат деформированным объектам, $\text{Shift}_L = \text{Shift}_R = 0$. Пиксели, для которых $\text{Shift}_L \neq \text{Shift}_R \neq 0$, были дополнительно смещены на величину, стоящую в правой части. Таким образом определяются пиксели, принадлежащие объекту, который был увеличен или растянут.

Для вычисления точной позиции исходного кадра относительно стереоракурсов, для каждого i -го пикселя вычисляется значение выражения:

$$\alpha = \frac{|\text{offset}_{ML}|}{|\text{offset}_{MR}|}.$$

Каждому пикселю присваивается свой вес $c_i \in [0, 1]$, который пропорционален значению доверия к вектору сопоставления для этого пикселя. Доверие вычисляется с помощью оценки LRC. Этот вес можно интерпретировать как вероятность, что α_i , полученный в этом пикселе, является верным. Таким образом, для каждого α_i имеется список значений $\{N_i, c_i\}$, где N_i — количество пикселей, в которых был получен α_i , c_i — его вычисленная вероятность.

Чтобы выбрать подходящий коэффициент, для каждого α_i выбирается строчка с наибольшим количеством пикселей, затем выбирается α с наибольшей вероятностью.

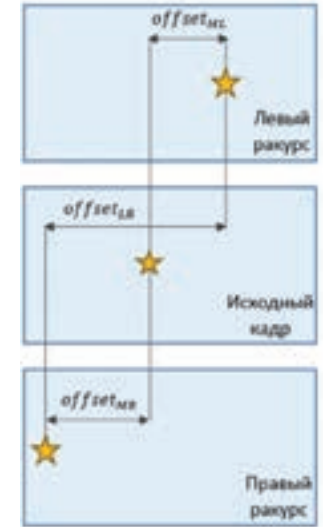


Рис. 8. Схематическая иллюстрация позиции 2D-кадра

ПОИСК ДЕФОРМИРОВАННЫХ ОБЛАСТЕЙ

В тех случаях, когда объект был увеличен полностью, т. е. его пропорции были сохранены, достаточно проанализировать карту вертикальной диспаратности для левого ракурса и исходного кадра (рис. 9, в).

Во многих случаях объекты при конвертации растягиваются только по горизонтали, поэтому вертикальная диспаратность в данных областях равняется нулю. Отфильтруем пиксели, не относящиеся к увеличенным объектам. Для этого построим новую, модифицированную карту горизонтальной диспаратности следующим образом:

$$\text{offset}_{\text{modified}} = \begin{cases} 0, & \text{пиксель не принадлежит увеличенному объекту} \\ |\text{offset}_{ML}| - \alpha |\text{offset}_{LR}|, & \text{иначе} \end{cases}$$

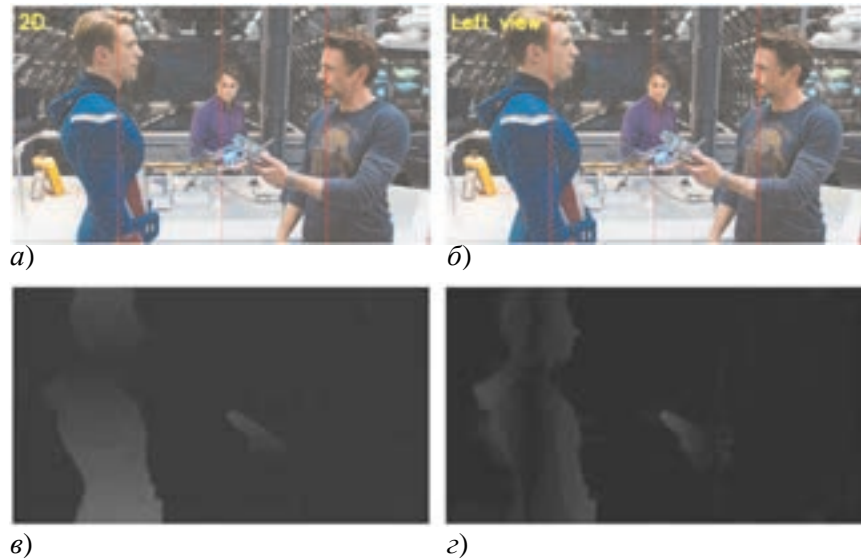


Рис. 9. Пример увеличенного объекта и соответствующие ему карты диспаратности. Кадр № 19 700 из фильма «Мстители»: а) исходный кадр; б) левый ракурс; в) карта вертикальной диспаратности; г) модифицированная карта горизонтальной диспаратности

При этом горизонтальные составляющие векторов соответствия отфильтрованных пикселей станут равны нулю (рис. 9, г).

Объединим найденные области искажений (рис. 9, в и г). Причём каждому пикселю присвоим вес — от 0 до 1 (чем больше значение доверия к вектору соответствия, исходящего из этого пикселя, тем больше вес) и оставим только пиксели со значением выше порога T (рис. 11, в). В данной реализации выбрано $T = 20$.

КЛАССИФИКАЦИЯ ДЕФОРМАЦИЙ

Деформированные области кадра можно разделить на две группы: растянутый (увеличенный) объект переднего плана (рис. 10, б) и растянутый за границы объектов переднего плана фон (рис. 10, а).

Характерным отличием этих классов является направление изменения глубины на границах деформированной области. На полученной карте деформации выделяются левые и правые границы областей (рис. 11, г) и вычисляется среднее значение глубины справа и слева от границы и разность этих значений:

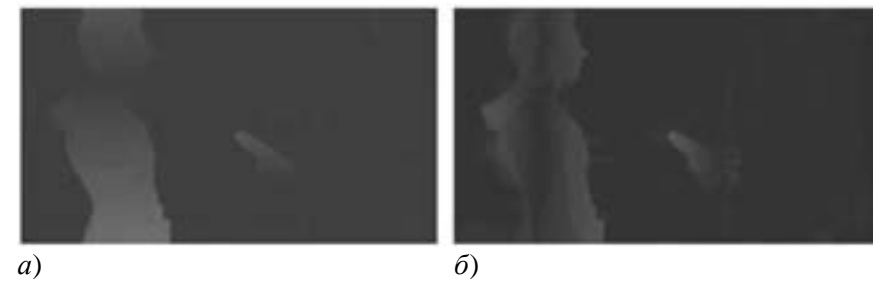


Рис. 10. Пример разницы карт деформации для разных классов искажений: а) карта деформаций для растянутого заднего плана (кадр из фильма «Стартрек: Бесконечность»); б) карта деформаций для растянутого переднего плана (кадр из фильма «Алиса в Зазеркалье»)

$$Depth_{diff} = \frac{1}{N_{left}} \left(\sum_i^{N_{left}} Depth_{left}^i + \sum_j^{N_{right}} Depth_{right}^j \right),$$

где $Depth_{left}^i$ — значения глубины пикселей по левую сторону от границы, $Depth_{right}^j$ — значения глубины пикселей по правую сторону от границы.

Величина $Depth_{diff}$ может быть положительной — переход от заднего плана к переднему, может быть отрицательной — от переднего плана к заднему и может равняться нулю (в этом случае деформирована только часть объекта, а найденная граница деформированной области проходит внутри него). В примере, приведённом на рис. 11, на синей границе положительная разность глубины, на зелёной и красной перепада глубины нет (так как область кадра между ними принадлежит тому же объекту, что и области слева и справа от них), на фиолетовой границе разность отрицательная.

Для сегментации полученной карты деформаций на объекты необходимо проверить наличие сильных перепадов глубины между соседними границами:

— если между границами присутствует один или более перепадов глубины, то это означает, что на первой границе закончился один объект, на второй начался другой;

— если перепадов глубины нет, то это означает, что обе границы принадлежат одному и тому же объекту.

Таким образом, все найденные деформированные объекты классифицируются следующим образом:



Рис. 11. Анализ границ деформированных областей. Синим цветом отмечена граница с положительным изменением глубины, зелёным и красным — границы без перепадов глубины, фиолетовым — граница с отрицательным изменением глубины. Кадр № 34 850 из фильма «Алиса в зазеркалье»: а) исходный кадр; б) левый ракурс; в) итоговая карта изменений; г) отмеченные левые и правые границы

— если уровень глубины объекта больше, чем уровень глубины вне его границ, значит это увеличенный объект переднего плана;

— если уровень глубины объекта меньше, чем уровень глубины вне его границ, значит это деформированный фон.

ПОИСК УДАЛЁННЫХ ОБЪЕКТОВ

Удалённые объекты присутствуют только в исходном кадре, и, как следствие, на карте диспаратности для исходного кадра и стереоракурсов они будут не видны. В области кадра с изменённым или удалённым объектом алгоритм сопоставления кадров не сможет сопоставить два изображения, и значение доверия у векторов соответствия будет низким. Для дальнейшего анализа рассматривается карта доверия к векторам соответствия (рис. 12, в, тёмные области соответствуют векторам с низким значением доверия).

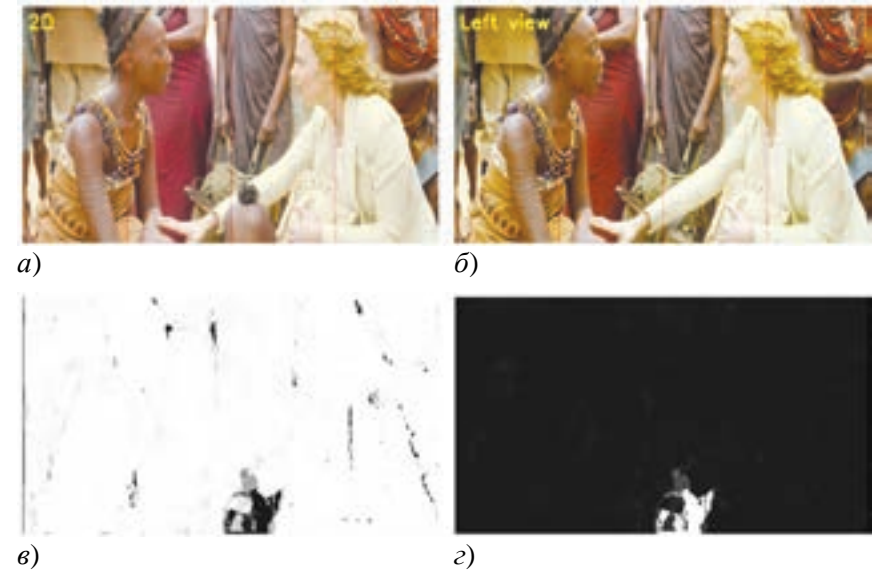


Рис. 12. Пример удалённого объекта. Кадр № 17 800 из фильма «Тарзан. Легенда»: а) исходный кадр; б) левый ракурс; в) карта доверия к векторам соответствия; г) итоговая карта изменений

Видно, что низкое доверие к векторам возникает в нескольких случаях:

- сопоставляются однотонные области: небо, области с низкой средней яркостью;
- в областях открытия;
- в случае сильно перерисованного или удалённого объекта.

Из областей с низким доверием отбираются только те, для которых размеры и форма области совпадают и при сопоставлении от левого ракурса к исходному кадру, и в обратную сторону. Для того чтобы отсеять первый случай, найденные области сравниваются по цвету. Для второго случая строится карта областей открытия и отбрасываются те области, которые пересекаются с ними. Также отбрасываются области с площадью, составляющей менее 5% от кадра. Окончательный результат представлен на рис. 12, г.

Результатом работы алгоритма считается отношение площади удалённого объекта (или нескольких объектов) к площади всего кадра.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА

Для проверки корректности вычисления позиции 2D-кадра между ракурсами стереовидео было выбрано 50 примеров с увеличенными объектами или деформированным фоном и 50 примеров без существенных искажений. Для каждой пары стереоракурсов были сгенерированы промежуточные ракурсы на разных позициях $\alpha_i \in [0, 1]$ с шагом в 0,01 (всего 101 промежуточный ракурс). Для вычисленной позиции α_0 также генерировался промежуточный ракурс. Каждый из промежуточных ракурсов сравнивался с исходным 2D-кадром:

$$error_i = I_i - I_{mono}$$

ракурс с наименьшей ошибкой I_{true} и его позиция α_{mono} считался верным. Средняя ошибка считалась как:

$$error = \sum_{j=0}^N (\alpha_{true,j} - \alpha_{0,j}), \quad (1)$$

где N — количество примеров в тестовой выборке.

Для первой выборки средняя ошибка составила 0,07, для второй выборки — 0,05.

Для оценки коэффициента масштабирования объектов и растянутого фона было выбрано 100 примеров из полнометражных фильмов, содержащих увеличенные объекты (и 100 примеров, содержащих растянутый фон). Для каждого из них были сгенерированы промежуточные кадры с разным увеличением $k \in [1,0; 1,2]$ с шагом 0,001 (всего 101 промежуточный ракурс). Средняя ошибка считалась по формуле (1), $error = 0,003$.

Для оценки точности нахождения удалённых объектов было выбрано 100 кадров, содержащих удалённые объекты, и 100 кадров без них.

Для проверки корректности работы классификаторов была составлена тестовая выборка из 35 полнометражных сконвертированных стереофильмов, содержащая 4 класса (в каждом классе по 1000 примеров):

- кадры, содержащие только удалённые объекты;
- кадры, содержащие только увеличенные объекты;
- кадры, содержащие только деформированный фон;
- кадры, в которых не присутствует ни одного из рассматриваемых приёмов конвертации.

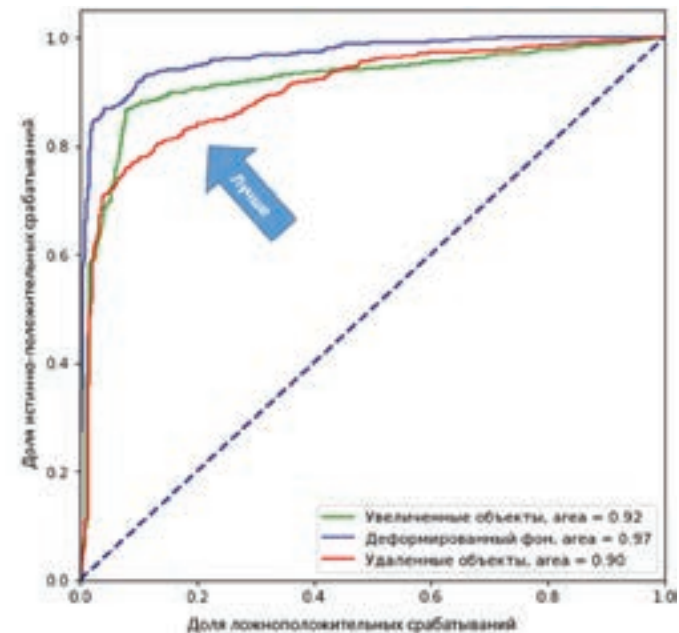


Рис. 13. График ROC-кривой для предложенных классификаторов

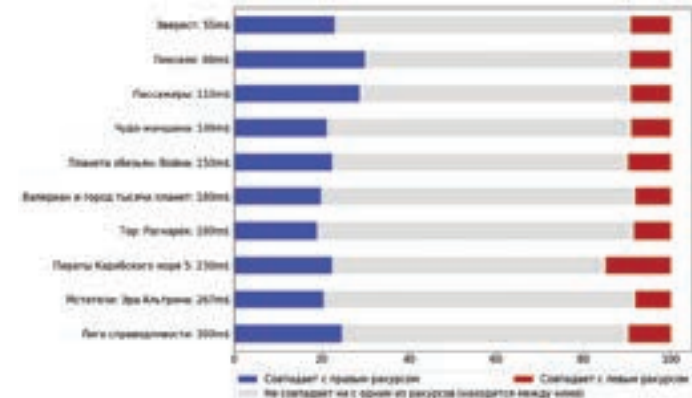


Рис. 14. Результат работы алгоритма на выборке из 10 сконвертированных стереофильмов. Представлены данные о положении исходного 2D-ракурса между левым и правым сконвертированными ракурсами. Синим цветом обозначена доля сцен, в которых исходный кадр совпадает с левым ракурсом. Красным цветом — доля сцен, в которых исходный кадр совпадает с правым ракурсом. Серым — исходный кадр находится между левым и правым

Результаты прогона на тестовой выборке представлены на рис. 13. Точность классификации составляет не менее 90%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование показало, что на сегодняшний день не существует методов поиска и оценки качества многих

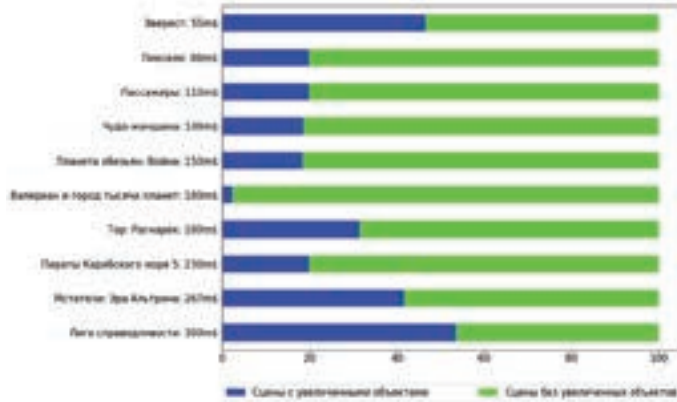


Рис. 15. Результат работы алгоритма на выборке из 10 сконвертированных стереофильмов. Синим цветом обозначена доля сцен, в которых присутствуют увеличенные объекты, зелёным — доля сцен, в которых увеличенные объекты отсутствуют

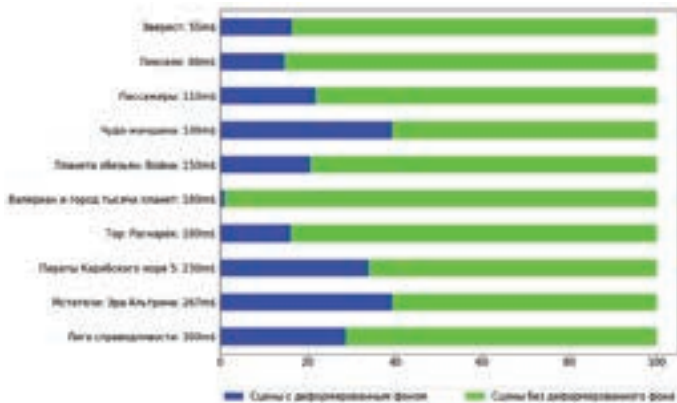


Рис. 16. Результат работы алгоритма на выборке из 10 сконвертированных стереофильмов. Синим цветом обозначена доля сцен, в которых присутствует деформированный фон, зелёным — доля сцен, в которых фон не был деформирован

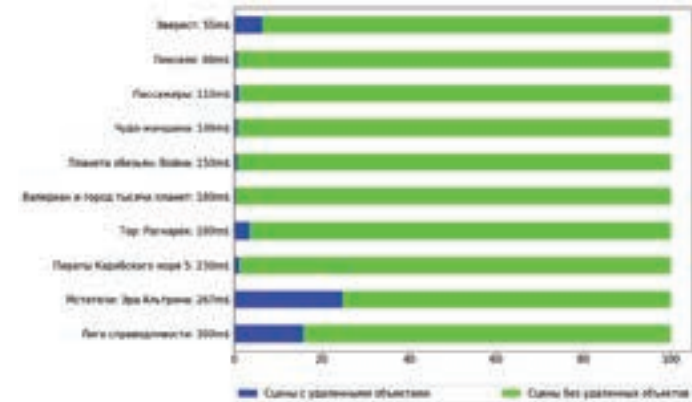


Рис. 17. Результат работы алгоритма на выборке из 10 сконвертированных стереофильмов. Синим цветом обозначена доля сцен, в которых присутствуют удалённые объекты, зелёным — доля сцен, в которых не было удалено ни одного объекта

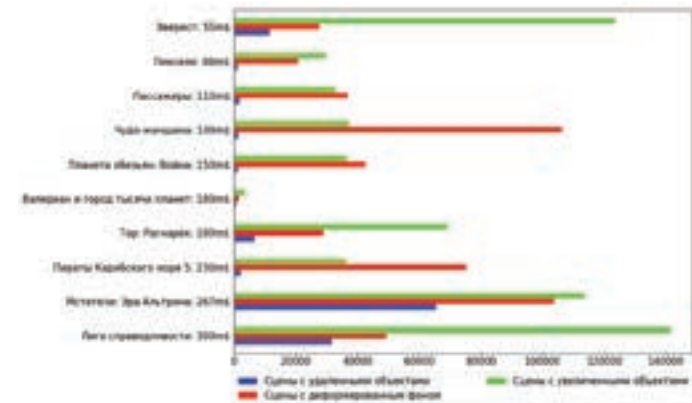


Рис. 18. Результат работы алгоритма на выборке из 10 сконвертированных стереофильмов. Зелёным цветом обозначено количество кадров с увеличенными объектами, найденных в каждом фильме. Красным цветом — количество кадров, в которых присутствует деформированный фон, синим — количество кадров с удалёнными объектами

приёмов конвертации из 2D-формата в стереоформат. В связи с этим был разработан и реализован алгоритм автоматического поиска приёмов конвертации, при которых увеличиваются объекты, деформируется фон и удаляются или перерисовываются объекты. Проведено объективное тестирование реализации алгоритма, которое показало, что алгоритм корректно определяет и классифици-

рует приёмы конвертации. С помощью предложенного алгоритма собрана статистика с 35 полнометражных стереофильмов. Собиралась следующая информация:

— положение исходного 2D-кадра относительно ракурсов стереоверсии (рис. 14);

— количество сцен, содержащих различные приёмы конвертации (рис. 15, 16, 17);

— сравнение фильмов по количеству использованных приёмов конвертации (рис. 18).

В ходе анализа было обнаружено, что увеличение объектов переднего плана используется более чем в 20% сцен, деформированный фон — более чем в 15% сцен. Удалённые или перерисованные объекты в основном используются только в высокобюджетных фильмах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Молодецких И.А., Ватолин Д.С. Алгоритм автоматического построения карт перемонтажа разных версий фильма // Мир техники кино. 2018. № 1(12). С. 18–22.
2. Antsiferova A., Vatolin D. The influence of 3d video artifacts on discomfort of 302 viewers // International Conference on 3D Immersion (IC3D). 2017. P. 1–8.
3. Bosc E., P'epion R., Le Callet P. et al. Reliability of 2d quality assessment methods for synthesized views evaluation in stereoscopic viewing conditions // 3DTV-Conference: The True Vision-Capture, Transmission and Display of 3D Video (3DTV-CON). 2012 / IEEE. 2012. P. 1–4.
4. Campisi P., Le Callet P., Marini E. Stereoscopic images quality assessment // Signal Processing Conference. 2007 15th European / IEEE. 2007. P. 2110–2114.
5. Egnal G., Mintz M., Wildes R.P. A stereo confidence metric using single view imagery with comparison to five alternative approaches // Image and vision computing. 2004. Vol. 22. No 12. P. 943–957.
6. Fehn C. Depth-image-based rendering (dibr), compression, and transmission for a new approach on 3d-tv // Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems XI / International Society for Optics and Photonics. 2004. Vol. 5291. P. 93–105.

7. Fischler M.A, Bolles R.C. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography // Readings in computer vision. Elsevier. 1987. P. 726–740.

8. Köppel M., Ndjiki-Nya P., Doshkov D. et al. Temporally consistent handling of disocclusions with texture synthesis for depth-image-based rendering // Image Processing (ICIP). 2010. 17th IEEE International Conference on / IEEE. 2010. P. 1809–1812.

9. Mueller K., Smolic A., Dix K. et al. View synthesis for advanced 3d video systems // EURASIP Journal on image and video processing. 2009. Vol. 2008. No 1. P. 438148.

10. Simonyan K., Grishin S., Vatolin D., Popov D. Fast video super-resolution via classification // Image Processing, 2008. ICIP 2008. 15th IEEE International Conference on / IEEE. 2008. P. 349–352.

11. Suiyi L., Le Callet P. Image quality assessment for dibr synthesized views using elastic metric // Proceedings of the 2017 ACM on Multimedia Conference / ACM. 2017. P. 1157–1163.

12. Vatolin D., Bokov A., Dolganov S. et al. VQMT3D project stereo-film-quality analysis report 8. <http://www.compression.ru/video/vqmt3d/report8/>. 2015. Дата обращения: 15.04.2018.

13. Vatolin D., Bokov A., Dolganov S. et al. VQMT3D project stereo-film-quality analysis report 9. <http://www.compression.ru/video/vqmt3d/report9/>. 2017. Дата обращения: 15.04.2018.

Polina A. Pereverzeva, Dmitriy S. Vatolin, Aidar A. Khatiullin

METHOD FOR AUTOMATIC DETECTION OF DIFFERENCES BETWEEN 2D AND STEREO MOVIE VERSIONS

Polina A. Pereverzeva

E-mail: polina.pereverzeva@graphics.cs.msu.ru

Lomonosov Moscow State University

Dmitriy S. Vatolin, PhD (Physics and Mathematics)

E-mail: dmitriy@graphics.cs.msu.ru

Lomonosov Moscow State University

Aidar A. Khatiullin

E-mail: aidar_ashatovich@graphics.cs.msu.ru

Lomonosov Moscow State University

One of the most common methods of creating stereo movies is conversion from 2D to 3D. It is a process in which one source image is broken into two separate images for each eye. A variety of methods is used to fill in the occlusions: background deformation, proportional object scaling, removal of objects that are unimportant for the plot. All of them require a lot of manual work, and that is why, if done poorly, they can create artifacts, that cause discomfort and headache. In this work a new method is proposed for automatic detection and analysis of some conversion methods from 2D to stereo.

Key words: stereo, video, 2D to stereo conversion, occlusion filling.

REFERENCES

1. Molodetskikh I.A., Vatolin D.S. Algoritm avtomaticheskogo postroeniya kart peremontazha raznykh versii fil'ma // Mir tekhniki kino. 2018. № 1(12). S. 18–22.
2. Antsiferova A., Vatolin D. The influence of 3d video artifacts on discomfort of 302 viewers // International Conference on 3D Immersion (IC3D). 2017. P. 1–8.
3. Bosc E., Pepion R., Le Callet P. et al. Reliability of 2d quality assessment methods for synthesized views evaluation in stereoscopic viewing conditions // 3DTV-Conference: The True Vision-Capture, Transmission and Display of 3D Video (3DTV-CON). 2012 / IEEE. 2012. P. 1–4.
4. Campisi P., Le Callet P., Marini E. Stereoscopic images quality assessment // Signal Processing Conference. 2007 15th European / IEEE. 2007. P. 2110–2114.
5. Egnal G., Mintz M., Wildes R.P. A stereo confidence metric using single view imagery with comparison to five alternative approaches // Image and vision computing. 2004. Vol. 22. No 12. P. 943–957.
6. Fehn C. Depth-image-based rendering (dibr), compression, and transmission for a new approach on 3d-tv // Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems XI / International Society for Optics and Photonics. 2004. Vol. 5291. P. 93–105.
7. Fischler M.A., Bolles R.C. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography // Readings in computer vision. Elsevier. 1987. P. 726–740.
8. Köppel M., Ndjiki-Nya P., Doshkov D. et al. Temporally consistent handling of disocclusions with texture synthesis for depth-

image-based rendering // Image Processing (ICIP). 2010. 17th IEEE International Conference on / IEEE. 2010. P. 1809–1812.

9. Mueller K., Smolic A., Dix K. et al. View synthesis for advanced 3d video systems // EURASIP Journal on image and video processing. 2009. Vol. 2008. No 1. P. 438148.

10. Simonyan K., Grishin S., Vatolin D., Popov D. Fast video super-resolution via classification // Image Processing, 2008. ICIP 2008. 15th IEEE International Conference on / IEEE. 2008. P. 349–352.

11. Suiyi L., Le Callet P. Image quality assessment for dibr synthesized views using elastic metric // Proceedings of the 2017 ACM on Multimedia Conference / ACM. 2017. P. 1157–1163.

12. Vatolin D., Bokov A., Dolganov S. et al. VQMT3D project stereo-film-quality analysis report 8. <http://www.compression.ru/video/vqmt3d/report8/>. 2015. Data obrashcheniya: 15.04.2018.

13. Vatolin D., Bokov A., Dolganov S. et al. VQMT3D project stereo-film-quality analysis report 9. <http://www.compression.ru/video/vqmt3d/report9/>. 2017. Data obrashcheniya: 15.04.2018.

УДК 778.534.1
ББК 85.37

Грохольский С.Д., Ватолин Д.С.

СОКРАЩЕНИЕ ЧИСЛА ЛОЖНОПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ СРАБАТЫВАНИЙ В АЛГОРИТМЕ ОЦЕНКИ РАСХОЖДЕНИЯ ПО РЕЗКОСТИ МЕЖДУ РАКУРСАМИ В ВИДЕО

Грохольский Станислав Дмитриевич

E-mail: stanislav.groholsky@graphics.cs.msu.ru

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Ватолин Дмитрий Сергеевич, кандидат физико-математических наук

E-mail: dmitriy@graphics.cs.msu.ru

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Статья посвящена работе по устранению недостатков существующего алгоритма оценки несоответствий по резкости. Была определена наиболее значимая проблема — ошибки второго рода на стереоскопических кадрах, содержащих источники света. Основная часть работы посвящена разработке метода определения присутствия источника света в стереопаре. Результаты работы разработанного метода подтверждаются экспериментами, проведёнными на полнометражных стереоскопических кинофильмах.

Ключевые слова: стереоскопическое видео, контроль качества, резкость, ложноположительные срабатывания, источники света, блики.

ВВЕДЕНИЕ

Каждый год выходит большое количество новых фильмов в стереоформате. Однако несмотря на увеличение количества про-

изведённых фильмов и распространённость технологии, техническое качество многих из них всё ещё остаётся низким. В результате большое количество зрителей при просмотре трёхмерного видео испытывает ощутимый дискомфорт, зачастую приводящий к головной боли. Неудивительно, что всё больше людей предпочитает просмотр фильмов в 2D-формате, что ведёт к значительному спаду популярности стереокинематографа [1].

Как правило, причиной дискомфорта при просмотре стереоскопического видео является некачественный видеоконтент, полученный в результате использования в процессе съёмки фильма некачественного и/или неправильно настроенного оборудования. Такой контент характеризуется различного рода несоответствиями между левым и правым ракурсами стереоскопического видео. Примеры основных несоответствий приведены ниже:

- несоответствие по резкости;
- несоответствие по цвету;
- несоответствие по масштабу;
- рассинхронизация по времени;
- вертикальный сдвиг;
- поворот ракурса.

Поэтому необходимо оценивать качество производимого контента на этапе его производства. Необходимо решение, которое сможет точно, в автоматическом режиме отобрать фрагменты видео с искажениями, потенциально вызывающими дискомфорт. В задаче объективной оценки визуального качества уже удалось добиться успехов: участниками видеогруппы лаборатории компьютерной графики и мультимедиа МГУ разработан проект VQMT3D [3], целью которого является объективная оценка качества стереоскопического видео. Проект позволяет выявлять перечисленные выше искажения и успешно применяется для анализа полнометражных фильмов.

Однако тестирование показывает, что у существующего проекта имеются недостатки, в связи с которыми возникает значительное количество ложноположительных срабатываний (ошибок второго рода) на реальных стереоскопических фильмах, что затрудняет его использование в полностью автономном режиме. На данном этапе результаты алгоритма верифицируются вручную, что существенно затрудняет использование алгоритмов.

Необходимо решение, которое сократит долю ложноположительных результатов алгоритма, что позволит перевести работу в полностью автоматический режим и, как следствие, позволит сократить время работы алгоритма и время верификации результатов.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

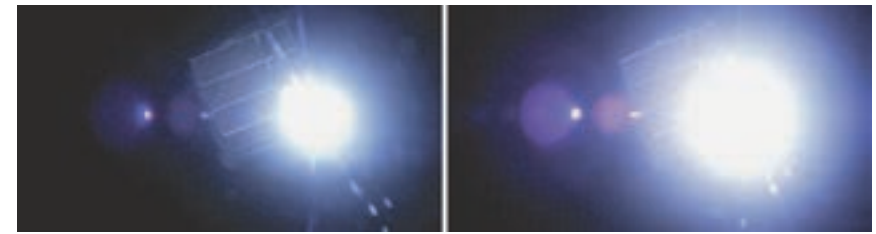
В данной статье рассматривается алгоритм оценки несоответствия по резкости, входящий в набор алгоритмов проекта VQMT3D. Данный метод был протестирован на выборке, состоящей из 105 полнометражных фильмов. Результаты, на которых итоговое значение превысило заранее заданный порог, были просмотрены вручную и классифицированы как истинноположительные и ложноположительные. По результатам последующего анализа кадров, на которых алгоритм выдал ложноположительный результат, была построена таблица 1, содержащая описание признаков ложноположительного срабатывания и долю кадров, для которых характерен приведённый признак.

Анализ полученных результатов показал, что наиболее значимой причиной является присутствие бликов («засветки») от источников света в стереоскопическом кадре. Бликом назовём источник света с исходящим от него световым ореолом, визуально различ-

Таблица 1

Признаки ложноположительного срабатывания и их доля от всех кадров

Наименование проблемы	Доля от всех кадров
Блики	30,56%
Большие области открытия	23,02%
Ошибки построения карт диспаратности	15,86%
Размытие по движению	8,12%
Большой горизонтальный параллакс	6,77%
Размытый статичный кадр	3,87%
«Плавающее окно»	3,87%
Полупрозрачные объекты переднего плана	3,29%
Экранное каше	0,77%
«Мусорные кадры»	19,92%



Левый ракурс

Правый ракурс

Рис. 1. Пример стереопары, содержащей блик. Фильм «Врата в 3D», 00:28:17.57,

ным в изображениях левого и правого ракурсов стереопары. Пример стереопары, содержащей блик, приведён на рис. 1.

Причина ложноположительных срабатываний заключается в том, что метод оценки несоответствия по резкости основан на вычислении дискретного преобразования Фурье для обоих ракурсов. Энергия преобразования в области вычисляется как квадратичная норма коэффициентов преобразования и сравнивается с энергией преобразования в соответствующей области смежного ракурса. При несоответствии величины энергии считается, что имеется расхождение по резкости в рассматриваемой области стереоскопического кадра. Подробно алгоритм описан в [9]. Засветка области одного из ракурсов приводит к уменьшению энергии в этой области, что приводит к несоответствию величины энергии между двумя ракурсами. Исключение таких кадров из рассмотрения может сократить общее число ложноположительных срабатываний алгоритма оценки резкости на 30,56%.

ИССЛЕДОВАНИЯ В ДАННОЙ ОБЛАСТИ

Задача обнаружения источников света рассматривается в литературе, однако, как правило, методы ограничены грубыми начальными предположениями. Так, например, в [6] рассматривается задача обнаружения сигналов светофоров для автономных транспортных средств, однако метод накладывает существенные ограничения на расположение источников света (светофоров) относительно изображения, ограничения на цветовой спектр испускаемого света и на форму источников света.

Для аналогичных задач часто применяются подходы, основанные на использовании свёрточных нейросетей [8]. Однако нейро-

сетевые методы требуют наличия большой обучающей выборки, построение которой в данном случае является отдельной нетривиальной задачей. Также нейросетевые алгоритмы требуют больших вычислительных мощностей и временных затрат для обучения классификатора, что не всегда представляется доступным. К тому же для нейросетевых подходов характерна проблема неочевидности и неинтерпретируемости работы алгоритма.

В отличие от методов, описанных ранее, предлагаемый метод более универсален, так как не накладывает ограничений на источники света и не требует наличия большой обучающей выборки. Кроме того, метод использует лишь базовые алгоритмы машинного обучения и имеет меньшую вычислительную сложность по сравнению с нейросетевыми алгоритмами.

ПРЕДЛОЖЕННЫЙ АЛГОРИТМ

В предлагаемом методе обнаружения источника света можно выделить четыре основных этапа:

1. Вычисление значений основной компоненты.
2. Приближённое определение области.
3. Параметризация области.
4. Классификация параметров области.

На первом этапе для каждого пикселя изображения вычисляется значение основной компоненты, в качестве которой может выступать, например, яркость пикселя, среднее тройки значений пикселя, минимум тройки значений пикселя. Матрицу размерности $h \times w$, где h , w — высота и ширина кадра, элементами которой являются значения основной компоненты изображения соответствующего пикселя, назовём картой основной компоненты.

Цель второго этапа — выделение области, наиболее вероятно содержащей источник света. Сначала для каждого ракурса локализуются центры источников света как области карты основной компоненты, содержащие наибольшее значение. Выбор областей происходит с использованием бинаризации карты основной компоненты по порогу относительно максимума:

$$Y_{\max} = \max_{x,y} Y(x, y),$$

$$Y_{\text{vol}}(x, y) = \begin{cases} 1, Y(x, y) \geq a \times Y_{\max} \\ 0, Y(x, y) < a \times Y_{\max} \end{cases}.$$

Дополнительно используется информация о дисперсии значения основной компоненты внутри выбранной области, при этом считается, что в центре источника света дисперсия минимальна. Для вычисления дисперсии для каждой точки основной компоненты выбирается окно N , содержащее окрестность выбранной точки. Значение используется, если дисперсия внутри окна не превосходит заранее заданного порогового значения β :

$$Y_{\text{Disp}}(x, y) = \begin{cases} 1, \text{Disp}_{(x,y) \in N}(Y(x, y)) < \beta \\ 0, \text{Disp}_{(x,y) \in N}(Y(x, y)) \geq \beta \end{cases}$$

Конечная карта центров областей получается в результате пересечения двух карт:

$$Y_{\text{Bin}}(x, y) = Y_{\text{vol}}(x, y) \cap Y_{\text{Disp}}(x, y).$$

Для наиболее крупных кластеров точек Y_{Bin} строится множество Rect_{Bin} , состоящее из пар координат, задающих прямоугольные области минимального размера, целиком содержащие кластеры.

Для уточнения результата дополнительно используется информация о локальной разности между двумя картами основной компоненты, соответствующих двум ракурсам стереоскопического кадра. Для достоверного вычисления разности необходимо вычислить преобразование, приводящее один ракурс к другому. Используемый метод вычисления преобразования основывается на вычислении векторов движения для каждого блока, этот метод подробно описан в [4]. Применяв вычисленные преобразования к картам основной компоненты, соответствующим ракурсам, получим дополнительную пару карт для скомпенсированных ракурсов. Вычитая из карты основной компоненты оригинального ракурса карту скомпенсированного смежного ракурса Y' , получим достоверную информацию о локальной разности основной компоненты между ракурсами. Полученная карта разности бинаризуется по заранее заданному порогу δ :

$$Y_{\text{Diff}}(x, y) = \begin{cases} 1, Y(x, y) - Y'(x, y) \geq \delta \\ 0, Y(x, y) - Y'(x, y) < \delta \end{cases}$$

Для наиболее крупных кластеров точек Y_{Diff} аналогично строится множество $\text{Rect}_{\text{Diff}}$, состоящее из пар координат, задающих

прямоугольные области минимального размера, целиком содержащие кластеры.

Итоговое множество областей $Rect$ получается выбором для каждого элемента множества $Rect_{Bin}$ координат прямоугольников таких, что они имеют минимальный размер и содержат в себе прямоугольники соответствующего элемента из $Rect_{Bin}$ и всех элементов из $Rect_{Diff}$, для которого рассматриваемый прямоугольник является ближайшим. Элементы множества $Rect_{Bin}$, которые не являются ближайшими ни для одного элемента из множества $Rect_{Diff}$, отсекаются и не рассматриваются.

Для каждого элемента $R \in Rect$ рассчитывается отношение количества точек из объединения $Y_{Bin} \cup Y_{Diff}$ внутри области R к площади области R . В качестве итоговой области выбирается область, для которой данное отношение максимально.

Третий этап — параметризация — основывается на факте, что по любому изображению возможно однозначно построить поверхность: выделив основную компоненту каждого пикселя, построим множество точек S , задающих поверхность. Координаты абсцисс и ординат точек поверхности задаются соответствующими координатами выбранной области изображения, координатой же аппликата будет выступать величина основной компоненты.

Для упрощения задачи аппроксимации построим множество точек Γ_0 , содержащее точки исходного множества S и те же точки, отражённые относительно плоскости Oxy и повернутые на 180° по оси аппликата. Полученное множество Γ_0 задаёт трёхмерный контур, симметричный относительно его центра. Полученная поверхность и будет однозначно определяться изображением.

Для параметризации области предлагается найти непрерывную в выбранной области функцию $F(x, y, z)$, аппроксимирующую множество точек Γ_0 :

$$\frac{1}{|\Gamma_0|} \sum_{s \in \Gamma_0} F(s) \rightarrow \min,$$

$$F(x, y, z) \neq 0.$$

Замкнутую поверхность, в которой функция F будет принимать нулевые значения, назовём нулевым контуром функции F .

Известно, что любую непрерывную в области функцию можно с заранее заданной точностью аппроксимировать полиномом. Од-

нако для практического использования точность аппроксимации не играет значительной роли, поэтому будем искать функцию F в виде полинома фиксированной степени n , с вектором коэффициентов a :

$$F(x, y, z) = \sum_{0 \leq i+j+k \leq n} a_{ijk} x_i y_j z_k = \begin{bmatrix} 1 & x & y & z & x^2 & x y & \dots & z^n \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} a_{000} \\ a_{100} \\ a_{010} \\ a_{200} \\ a_{110} \\ \vdots \\ \vdots \\ a_{00n} \end{bmatrix}.$$

Степень полинома n может принимать только чётные значения, так как по построению предполагается замкнутость контура Γ_0 , и известно, что полиномы только чётных степеней обладают данным свойством. Экспериментально установлено, что наилучшего соотношения между качеством и производительностью удаётся достичь при использовании полинома степени 6.

Составим матрицу M , строки которой состоят из вычисленных значений одночленов полинома для каждой точки из Γ_0 . Количество строк матрицы M равно мощности множества Γ_0 . Запись такой строки для точки с координатами x, y, z обозначим как $m(x, y, z)$:

$$m(x, y, z) = \begin{bmatrix} 1 & x & y & z & x^2 & x y & \dots & z^n \end{bmatrix}.$$

Вектор значений b функции F на всём множестве точек Γ_0 можно записать в виде $M \times a = b$. Наиболее известный метод решения данной задачи — метод наименьших квадратов [2]. Однако, как показано в [5], оригинальный метод наименьших квадратов сильно чувствителен к изменениям входных данных. Предлагается модифицировать метод для конкретной задачи, добавив дополнительные ограничения на коэффициенты. Предлагаемая модификация метода подробно описана в [5, 7] и имеет название 3L-fitting.

Идея модификации заключается в том, чтобы ограничить значения искомой функции с обеих сторон нулевого контура положительными и отрицательными значениями. Для этого следует задать функцию, которая будет принимать нулевые значения в точках контура Γ_0 , значения одного знака внутри нулевого контура и противоположного знака снаружи нулевого контура. В качестве такой функции воспользуемся функцией Евклидова расстояния со

знаком. Модуль значений функции в каждой точке равен расстоянию до ближайшей точки Γ_0 , знак функции определяется расположением относительно контура:

$$SDist(p) = \begin{cases} 0, p \in \Gamma_0 \\ +\rho(p, \Gamma_0), p \text{ внутри контура } \Gamma_0 \\ -\rho(p, \Gamma_0), p \text{ снаружи контура } \Gamma_0 \end{cases}$$

Выбрав точки на заранее заданном расстоянии c до множества точек Γ_0 , получим два дополнительных ограничивающих контура, находящихся внутри и снаружи нулевого контура, в точках которых искомая функция принимает значения $+c$ и $-c$ соответственно. Вектор значений \bar{b} теперь принимает значения из множества $\{-c, 0+c\}$ в соответствии с контуром, которому принадлежит точка.

Получив дополнительные ограничения на искомый полином, воспользуемся методом наименьших квадратов и получим итоговый вектор коэффициентов полинома \bar{a} , аппроксимирующего входную поверхность:

$$\bar{a} = \bar{M}^+ \times \bar{b},$$

где \bar{M} — матрица из вычисленных значений одночленов полинома для каждой точки всех трёх контуров, \bar{M}^+ — псевдообратная матрица к матрице \bar{M} .

Этап классификации основан на предположении, что области, содержащие источники света, задают похожие поверхности, и с помощью анализа коэффициентов полинома возможно определить, содержит ли область источник света. Для анализа коэффициентов предлагается применить методы машинного обучения. Бинарному классификатору в качестве вектора признаков подаётся на вход вектор коэффициентов найденного полинома. Два класса позволяют определить, соответствуют ли параметры источнику света или нет. Результат работы классификатора — вычисленное значение вероятности принадлежности классу, соответствующему присутствию источника света. В качестве классификатора был выбран метод опорных векторов [10].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для этапа классификации алгоритм был предварительно обучен на исходной выборке из 1200 стереоскопических кадров, со-

ставленной из истинноположительных и ложноположительных результатов работы алгоритмов VQMT3D. Для оценки этапа классификации была проведена кросс-валидация на выборке при ручной разметке областей. ROC-кривая классификатора при ручной разметке областей приведена на графике на рис. 2.

Для оценки качества работы всех этапов алгоритма на реальных данных была произведена оценка работы на сценах из стереоскопических версий фильмов «Титаник» и «Санктум» разрешением 960×544 . Фильм «Титаник» был добавлен в выборку, так как стереоскопическая версия фильма получена исключительно при помощи конвертации и не содержит источников света, различных в обоих ракурсах. Выбор фильма «Санктум» обоснован тем, что в фильме содержится большое количество сцен, в которых присутствуют источники света, и фильм произведён методом стереоскопической съёмки.

Из фильмов были выбраны сцены общей длительностью 90000 кадров. Были оставлены только те кадры, на которых площадь выбранной области была больше 3000 пикселей. В результате суммарно было получено около 20000 стереоскопических кадров. Полученная выборка была размечена вручную. На основе ручной разметки была построена ROC-кривая, отражающая результат работы алгоритма (рис. 3).

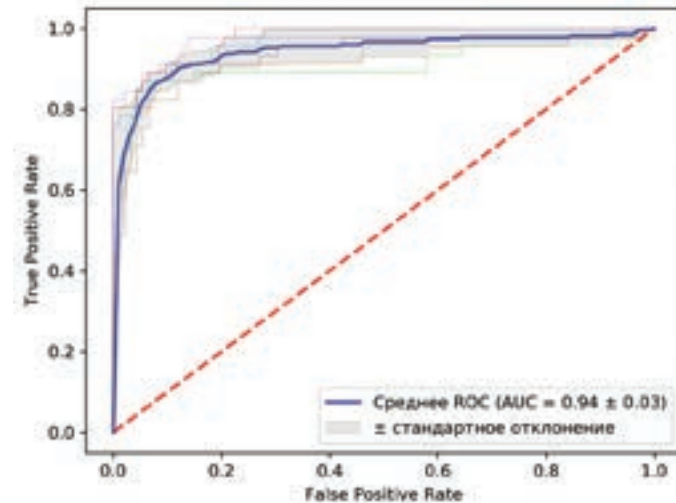


Рис. 2. ROC-кривая кросс-валидации классификатора при ручной разметке областей

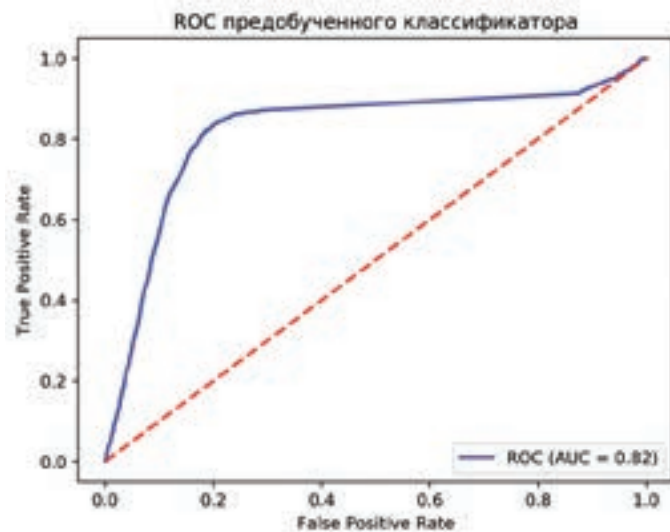


Рис. 3. ROC-кривая результатов алгоритма с предобученным классификатором

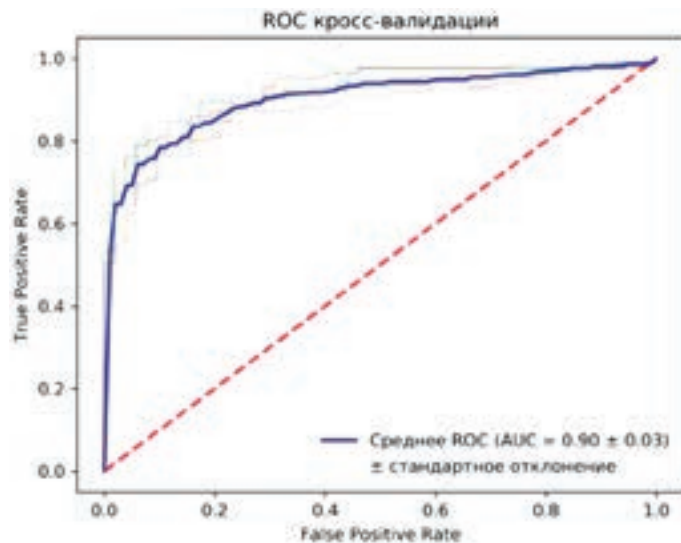


Рис. 4. ROC-кривая результатов алгоритма при кросс-валидации на выборке из 21200 стереоскопических кадров.

Видно, что в целом алгоритм справляется с задачей, однако значение метрики AUC значительно меньше, чем при кросс-валидации на исходной выборке. Возможная причина заключается в том, что размер тренировочной выборки недостаточен для до-

стоверного предсказания большого числа кадров. Для проверки этого предположения была проведена кросс-валидация на полной выборке из 21200 стереоскопических кадров (рис. 4), по результатам которой заметно увеличение значения показателя AUC, что подтверждает предположение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведён анализ существующих алгоритмов оценки качества стереоскопического видео VQMT3D и выявлены основные причины ложноположительных срабатываний алгоритма. Разработан алгоритм автоматического определения присутствия источника света в стереоскопическом кадре, так как эта причина была выявлена как наиболее значимая. Проведена экспериментальная оценка, показывающая точность работы алгоритма. Используя разработанный алгоритм, удалось обнаружить 85% кадров, содержащих источники света, и таким образом сократить общее число ложноположительных срабатываний алгоритма оценки расхождения по резкости проекта VQMT3D на 26%, потеряв при этом 4% положительных примеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анциферова А.В., Ватолин Д.С. Автоматический метод оценки степени усталости зрителя при просмотре стереофильмов // Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других областях: VIII Международная научно-практическая конференция, Москва, 25–26 апреля 2016 г.: Материалы и доклады / под общей редакцией О.Н. Раева. М.: ВГИК, 2016. С. 106–122.
2. Линник Ю. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений. М.: Государственное издательство Физико-математической литературы. 1958.
3. Проект Video Quality Measurement Tool 3D. <http://compression.ru/video/vqmt3d/>. Дата обращения: 10.04.2018.
4. Симонян К., Гришин С., Ватолин Д. Адаптивный метод оценки движения в видео // Сборник статей молодых учёных факультета ВМиК МГУ. 2008. Т. 5. С. 112–119.
5. Blane M., Lei Z., Civi H., Cooper D. The 3L algorithm for fitting implicit polynomial curves and surfaces to data // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2000. Vol. 22. P. 298–313.

6. Hosseinyalamdary S., Yilmaz A. A bayesian approach to trafficlight detection and mapping // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2017. Vol. 125. No 03. P. 184–192.
7. Interian R., Otero J., Ribeiro C., Montenegro A. Curve and surface fitting by implicit polynomials: Optimum degree finding and heuristic refinement // Computers & Graphics. 2017. Vol. 67. P. 14–23.
8. Philipsen M., Jensen M., Møgelmoose A. Traffic light detection: A learning algorithm and evaluations on challenging dataset // Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2015 IEEE 18th international conference. 2015. P. 2341–2345.
9. Voronov A., Vatolin D., Sumin D., Napadovsky V., Borisov A. Towards automatic stereo-video quality assessment and detection of color and sharpness mismatch // 3D Imaging (IC3D), 2012 International Conference. 2012. P. 1–6.
10. Zhang T. An introduction to support vector machines and other kernel-based learning methods // AI Magazine. 2001. Vol. 22. P. 103.

Stanislav D. Groholsky, Dmitriy S. Vatolin

**REDUCTION OF FALSE POSITIVE RESULTS
IN SHARPNESS MISMATCH ESTIMATION ALGORITHM
FOR S3D VIDEO**

Stanislav D. Groholsky
E-mail: stanislav.groholsky@graphics.cs.msu.ru
Lomonosov Moscow State University

Dmitriy S. Vatolin, PhD (Physics and Mathematics)
E-mail: dmitriy@graphics.cs.msu.ru
Lomonosov Moscow State University

In this paper, we propose a research of false positive results of the sharpness mismatch estimation algorithm. According to the research, the presence of glowing light sources in a scene was defined as the most significant problem leading to false positive results. Therefore, the main part of the work is devoted to the development of a new method for the light sources presence detection in the stereo mate. We propose a new method and prove its applicability by testing it on feature-length movies.

Key words: stereoscopic video, quality assessment, sharpness, false positive, light sources.

REFERENCES

1. Antsiferova A.V., Vatolin D.S. Avtomaticheskii metod otsenki stepeni ustalosti zritelya pri prosmotre stereofil'mov // Zapis' i vosproizvedenie ob'emnykh izobrazhenii v kinematografe i drugikh oblastiakh: VIII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, Moskva, 25–26 aprelya 2016 g.: Materialy i doklady / pod obshchei redaktsiei O.N. Raeva. M.: VGIK, 2016. P. 106–122.
2. Linnik Yu. Metod naimen'shikh kvadratov i osnovy matematiko-statisticheskoi teorii obrabotki nablyudenii. M.: Gosudarstvennoe izdatel'stvo Fiziko-matematicheskoi literatury. 1958.
3. Proekt Video Quality Measurement Tool 3D. <http://compression.ru/video/vqmt3d/>. Data obrashcheniya: 10.04.2018.
4. Simonyan K., Grishin S., Vatolin D. Adaptivnyi metod otsenki dvizheniya v video // Sbornik statei molodykh uchenykh fakul'teta VMiK MGU. 2008. Vol. 5. P. 112–119.
5. Blane M., Lei Z., Civi H., Cooper D. The 3L algorithm for fitting implicit polynomial curves and surfaces to data // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2000. Vol. 22. P. 298–313.
6. Hosseinyalamdary S., Yilmaz A. A bayesian approach to trafficlight detection and mapping // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2017. Vol. 125. No 03. P. 184–192.
7. Interian R., Otero J., Ribeiro C., Montenegro A. Curve and surface fitting by implicit polynomials: Optimum degree finding and heuristic refinement // Computers & Graphics. 2017. Vol. 67. P. 14–23.
8. Philipsen M., Jensen M., Møgelmoose A. Traffic light detection: A learning algorithm and evaluations on challenging dataset // Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2015 IEEE 18th international conference. 2015. P. 2341–2345.
9. Voronov A., Vatolin D., Sumin D., Napadovsky V., Borisov A. Towards automatic stereo-video quality assessment and detection of color and sharpness mismatch // 3D Imaging (IC3D), 2012 International Conference. 2012. P. 1–6.
10. Zhang T. An introduction to support vector machines and other kernel-based learning methods // AI Magazine. 2001. Vol. 22. P. 103.

Ключевые слова: карта диспаратности, оценка движения, стерео, видео, оценка качества.

ВВЕДЕНИЕ

Ежегодно выпускаются десятки стереофильмов, однако их популярность постепенно снижается, а зрители предпочитают смотреть в кинотеатрах их 2D-версии. Одной из возможных причин является головная боль, часто возникающая у зрителей. Её причиной могут быть появляющиеся в стереовидео искажения. В подверженных им стереокадрах правый и левый ракурсы различаются нехарактерным для человеческого зрения образом, что и вызывает дискомфорт. При этом даже высокобюджетные фильмы могут содержать, например, геометрические или цветовые несоответствия между ракурсами. Один из способов борьбы с искажениями — контролировать качество контента на этапе его производства. Для этого создаются специальные системы автоматического анализа [9], которые для обнаружения искажений нередко используют карты диспаратности. Однако, в некоторых случаях, эти искажения не соответствуют предположениям, используемым алгоритмами построения карт диспаратности, например, об отсутствии вертикального параллакса и несоответствий цвета между ракурсами. Для повышения устойчивости к таким нарушениям требуется добавлять новые компоненты в функции затрат для методов как локального, так и глобального сопоставления. С другой стороны, учёт слишком большого количества артефактов негативно отражается на скорости вычислений в тех случаях, когда этих артефактов нет. В данной работе предлагается альтернативный подход — использовать несколько различных алгоритмов, каждый из которых устойчив к своему набору артефактов, выбирая оптимальный для каждой сцены.

ПРЕДЛОЖЕННЫЙ АЛГОРИТМ

Поставим задачу формально. Даны две видеопоследовательности $\{L_t\}_{t=0}^N$ и $\{R_t\}_{t=0}^N$ длиной N кадров для левого и правого ракурсов стереоскопического видео. Необходимо каждой стереопаре поставить в соответствие алгоритм, строящий карту диспаратности с наименьшей ошибкой. Поскольку при отсутствии искажений разница между результатами работы различных алгоритмов значительно меньше, чем при их наличии, стереокадры с ошибкой

УДК 778.534.19
ББК 37.95

Мухамедов А.М., Ватолин Д.С., Долганов С.В.

АВТОМАТИЧЕСКИЙ ВЫБОР АЛГОРИТМА ПОСТРОЕНИЯ КАРТ ДИСПАРТНОСТИ ДЛЯ СТЕРЕОПАР С АРТЕФАКТАМИ СЪЁМКИ ИЛИ КОНВЕРТАЦИИ, УСТОЙЧИВОГО К ДАННЫМ АРТЕФАКТАМ

Мухамедов Артур Мансурович

E-mail: arthur.mukhamedov@graphics.cs.msu.ru

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Ватолин Дмитрий Сергеевич, кандидат физико-математических наук

E-mail: dmitriy@graphics.cs.msu.ru

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Долганов Станислав Викторович

E-mail: sdolganov@graphics.cs.msu.ru

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Ежегодно выпускается большое количество фильмов в стереоформате. В процессе создания стереоконтента возникают специфические проблемы, отражающиеся на качестве получаемого продукта. Автоматические системы анализа фильмов во многих случаях опираются на карты диспаратности, алгоритмы построения которых работают хуже при наличии определённых артефактов, что может привести к снижению точности анализа. В данной работе предлагается по стереопаре выбирать алгоритм, устойчивый к имеющимся на ней артефактам. При рассмотрении 28 модификаций пяти алгоритмов точность выбора на вручную размеченном наборе данных составила 0,907.

следует пометить только во втором случае. Способ выбора метки для каждой стереопары описывается ниже.

Сначала строится карта диспаратности одним из имеющихся методов. Для этого используется блочный алгоритм оценки движения, описанный в [8], так как он применяется при анализе некоторых типов искажений [10], после чего полученная карта фильтруется [11]. По полученной карте диспаратности строится карта доверия, которая вычисляется на основе оценки LRC (Left-Right Consistency check) [1] и дисперсии яркости внутри каждого блока. Таким образом, пиксель имеет низкое значение доверия в одном из трёх случаев:

- пиксель находится в низкотекстурированной области (в этом случае ему нельзя однозначно сопоставить соответствующий ему пиксель из другого ракурса);
- пиксель находится в области открытия, т. е. в другом ракурсе не существует соответствующего ему пикселя;
- пиксель не находится в низкотекстурированной области или области открытия (в таком случае он сопоставлен неточно).

Обычно области открытия занимают небольшую часть кадра. В противном случае структура рассматриваемого кадра может быть сложной для сопоставления, т. е. среднее низкое значение доверия может являться одним из признаков неправильного сопоставления.

Кроме карты доверия для оценки точности сопоставления используется карта ошибки компенсации. Для этого вычисляется скомпенсированный левый ракурс смещением правого ракурса по векторам сопоставления левого. Затем из скомпенсированного кадра поэлементно вычитаются значения пикселей левого ракурса для получения искомой карты. При отсутствии цветовых искажений в рассматриваемой стереопаре, чем ближе каждый из элементов к нулю, тем точнее сопоставление. При их наличии даже при точном сопоставлении полученная карта будет состоять в основном из ненулевых элементов, однако если искажение линейное (т. е. вызвано неправильными настройками камер, а не особенностями сцены), то её элементы будут пропорциональны соответствующим элементам матрицы левого ракурса с одинаковыми коэффициентами. Чтобы это учесть, вводится ещё один признак, получаемый следующим образом: карта ошибки компенсации левого ракурса поэлементно делится на матрицу, состав-

ляющую левый ракурс, после чего по каждой из трёх цветовых компонент вычисляется дисперсия по всему кадру. Если она мала, то левый ракурс и карта ошибки компенсации действительно пропорциональны, а кадр сопоставлен правильно, но содержит цветовые искажения.

Суммарно для проверки сопоставимости стереокадра используются среднее значение доверия и число пикселей с низким доверием, получаемые из карты доверия, а также среднее значение ошибки компенсации и дисперсия относительной ошибки, получаемые из карты ошибки компенсации. Они сравниваются с пороговыми значениями, при превышении которых считается, что кадр сопоставлен неточно. В противном случае предполагается, что исходная карта диспаратности построена точно, и стереокадру назначается метка использованного алгоритма.

Далее из всех проблемных стереокадров извлекаются следующие характеристики:

- GIST [7] для обоих ракурсов;
- число углов, обнаруженных методом Харриса [2];
- гистограмма векторов диспаратности, разбитых на 3 корзины по вертикальной компоненте и 7 корзин по горизонтальной;
- среднее значение горизонтального параллакса;
- число пикселей, в которых ошибка LRC составляет более 1 пикселя;
- гистограммы интенсивности цвета в обоих изображениях, а также их абсолютная разность.

Эти характеристики объединяются в итоговый дескриптор стереокадра.

Выбор алгоритма построения карты диспаратности происходит на основе бинарной классификации. Для каждого из методов классы определяются независимо, исходя из точности сопоставления этим методом, т. е. в каждом классе находятся стереокадры, точность сопоставления которых такая же, как у стереокадров без артефактов. Таким образом, для рассматриваемого стереокадра по его дескриптору предсказывается класс для каждого из методов. Затем из набора методов, предсказанных как точно сопоставляющие данный кадр, выбирается имеющий наибольшую вероятность выбора этого класса, он и является выходным значением предложенного алгоритма.

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ АЛГОРИТМЫ СОПОСТАВЛЕНИЯ

В случае, если при анализе стереокадра с некоторым искажением среди рассматриваемого набора алгоритмов не будет устойчивого к нему, сопоставление будет неточным вне зависимости от выбранного алгоритма. Таким образом, очень важно, чтобы в рассматриваемом наборе встречались алгоритмы, которые по своей архитектуре устойчивы к наиболее распространённым искажениям. Рассмотрим такие искажения.

Несовпадение цвета в ракурсах. При данном искажении блоки в разных ракурсах, соответствующие одному объекту, отличаются по значениям цветовых компонент, нарушая предположение о постоянстве цвета. При равномерном искажении устойчивость можно обеспечить, учитывая разность интенсивностей между блоками, например, используя функцию затрат ZSAD [3]. В более сложных случаях, таких как разная засветка камер источником света, возникает нелинейное цветовое искажение между пикселями блока. В этом случае попытка точного выравнивания цветов при сопоставлении сильно замедляет алгоритм. Устойчивость в этом случае можно обеспечить использованием функций стоимости, не зависящих от абсолютных значений цветов. Такими, например, являются преобразования Census и Rank, строящие дескриптор на основе относительных значений цветов внутри блока, а также нормализованная взаимнокорреляционная функция (NCC).

Несовпадение резкости между ракурсами. Данное искажение, как и предыдущее, снижает точность сопоставления блоков, играя роль шума при сравнении малых окрестностей пикселя. Если же сопоставляемая окрестность большая, то зависимость от данного шума снижается, однако захватывается больше пикселей, принадлежащих другим объектам, величина диспаратности которых может отличаться от величины у сопоставляемого объекта. Устойчивость к шуму имеется, например, в NeedleMatch [6], использующего окрестности нескольких различных размеров с одинаковыми весами.

Наличие вертикального параллакса, несовпадение угла поворота и несоответствие масштаба камер. При наличии артефактов данного типа нарушается предположение об отсутствии вертикального параллакса между двумя ракурсами, которое часто

используется при построении карт диспаратности через уменьшение множества допустимых смещений, ограничивая их одной осью. Учёт возможности таких искажений приближает эту задачу к построению карты оптического потока, которая успешно решается многими алгоритмами. При этом скорость работы можно увеличить, ограничив диапазон возможных значений смещения по вертикали.

Большие значения параллакса между двумя ракурсами для объекта. Хотя эта ситуация не является искажением, она может привести к снижению качества работы методов, использующих ограничения на длину максимального значения сдвига. В этом случае истинное значение сдвига может превысить используемый порог. Кроме этого, объекты с большим параллаксом часто находятся на переднем плане и занимают значительную часть кадра. Из-за этого часть некоторого объекта в одном ракурсе может быть сопоставлена с другой, похожей частью этого же объекта в другом ракурсе, поскольку она находится ближе к исходной. В этом случае, как и при несовпадении резкости между ракурсами, точность сопоставления можно повысить, анализируя пирамиду изображений либо уменьшив исходное изображение. Во втором случае потери информации будут не очень велики из-за того, что проблемный объект занимает большую часть кадра.

С учётом описанного, выбор оптимального алгоритма происходит из следующих методов:

- алгоритм [8], использующий функции затрат ZSAD и NCC;
- алгоритм [8], иерархически работающий с пирамидой изображений, с функцией затрат ZSAD;
- Coarse-to-Fine PatchMatch [4];
- DISflow [5] с и без сглаживающей постобработки;
- NeedleMatch с использованием функций стоимости ZSAD и SAD при сопоставлении блоков со значениями масштаба 0,5 и 0,75 и 2 и 4 уровнями.

Кроме того, для каждого из перечисленных методов рассматривался аналогичный, но с предобработкой в виде уменьшения входной пары изображений в 4 раза при сохранении размеров сравниваемых блоков. Таким образом, всего рассматривались 28 подходов, основанных на 5 различных алгоритмах.

СОСТАВЛЕНИЕ ВЫБОРКИ

Используемая выборка была получена в результате анализа фрагментов стереофильмов с проблемными кадрами. Далее она расширялась в процессе поиска подобных проблемных кадров в других стереофильмах. Суммарно была получена выборка из 1471 стереопары из 35 стереофильмов, каждое изображение имеет разрешение 960×400. Из них 210 стереопар имеют значительные артефакты, не позволяющие построить точную карту диспаратности ни одним из рассматриваемых методов. Для использования при обучении бинарная классификация всей выборки для каждого из методов производилась вручную.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА

Для тестирования детектора неправильно сопоставленных кадров проводился анализ полнометражных стереофильмов. Было проанализировано 14 фильмов, в которых 194 сцены были классифицированы как содержащие неправильно сопоставленные кадры. В двух фильмах ни в одной сцене не были обнаружены подобные кадры. Результаты анализа представлены на рис. 1.

Заметим, что большое число ложноположительных срабатываний возникало в сценах, содержащих большие области открытия.

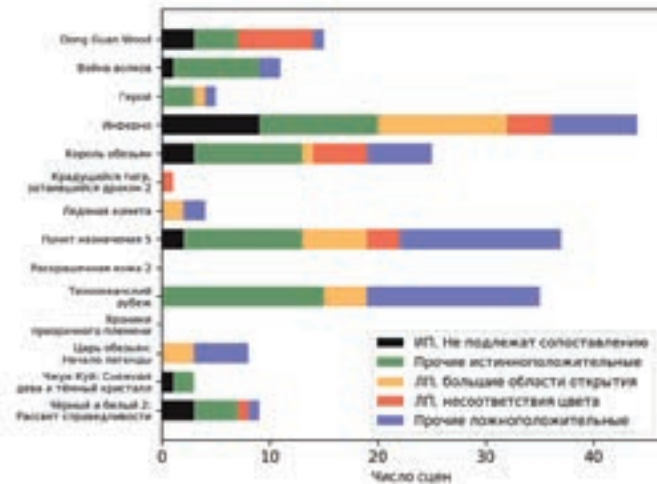


Рис. 1. Результаты работы детектора проблемных кадров

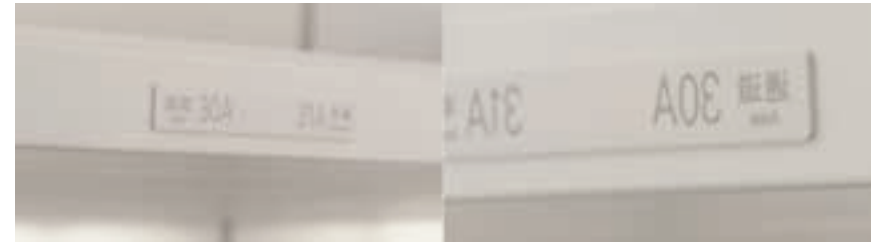


Рис. 2. Пример кадра, не подлежащего сопоставлению. Кадр 120 901 из фильма «Dong Guan Wood»

Ещё одним источником ложноположительных срабатываний являются цветовые искажения, в основном нелинейного характера или затрагивающие только часть кадра. Часть истинноположительных срабатываний была помечена как не подлежащая сопоставлению. В таких случаях левый и правый ракурсы различаются настолько, что они не содержат общих объектов либо невозможны с точки зрения расположения камер, как показано на рис. 2.

Точность предсказаний алгоритмов оценивалась с помощью кросс-валидации. Были оценены три различных метода классификации: метод опорных векторов, случайные леса, градиентный бустинг. Наибольшая точность ($0,907 \pm 0,0161$) была достигнута градиентным бустингом, как показано на рис. 3.

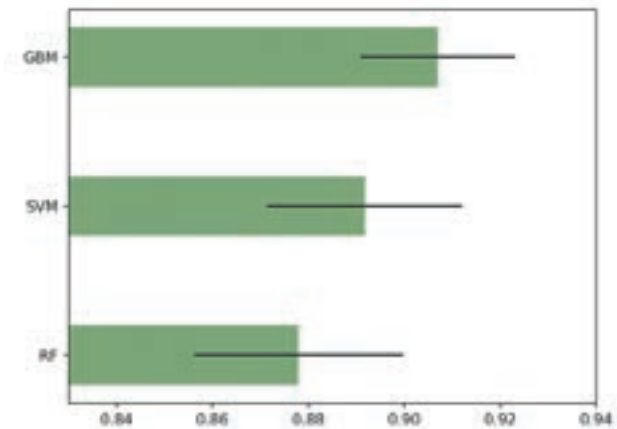


Рис. 3. Точность кросс-валидации для предсказаний алгоритмов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен подход для поиска кадров, для которых используемый алгоритм построения карт диспаратности обеспечивает низкую точность сопоставления. Также предложен алгоритм, выбирающий метод сопоставления с большей точностью на основе обученной модели. Алгоритм был применён для анализа стереофильмов. По результатам работы были выявлены сложные случаи для детектора. Планируемое развитие алгоритма включает в себя увеличение точности работы в сложных случаях, увеличение выборки для обучения классификаторов, классификация невозстанавливаемых кадров, а также поиск набора характеристик, позволяющих выбирать алгоритм без предварительного построения карты диспаратности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Egnal G., Wildes R.P. Detecting binocular half-occlusions: Empirical comparisons of five approaches // IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence. 2002. Vol. 24. No 8. P. 1127–1133.
2. Harris C., Stephens M. A combined corner and edge detector // Alvey vision conference. 1988. Vol. 15. No 50. P. 10.5244.
3. Hermann S., Klette R. The naked truth about cost functions for stereo matching. Department of Computer Science, University of Auckland, 2008.
4. Hu Y., Song R., Li Y. Efficient coarse-to-fine patchmatch for large displacement optical flow // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2016. P. 5704–5712.
5. Kroeger T. et al. Fast optical flow using dense inverse search // European Conference on Computer Vision. Springer, Cham, 2016. P. 471–488.
6. Lotan O., Irani M. Needle-match: Reliable patch matching under high uncertainty // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2016. P. 439–448.
7. Oliva A., Torralba A. Modeling the shape of the scene: A holistic representation of the spatial envelope // International journal of computer vision. 2001. Vol. 42. No 3. P. 145–175.

8. Simonyan K. et al. Fast video super-resolution via classification // Image Processing, 2008. ICIP 2008. 15th IEEE International Conference on. IEEE, 2008. P. 349–352.

9. Video Quality Measurement Tool 3D Project. <http://compression.ru/video/vqmt3d/>. Дата обращения: 10.04.2018.

10. Voronov A., Borisov A., Vatolin D. System for automatic detection of distorted scenes in stereo video // Proceedings of Sixth International Workshop on Video Processing and Quality Metrics (VPQM). 2012.

11. Zhang Q., Xu L., Jia J. 100+ times faster weighted median filter (WMF) // Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2014 IEEE Conference on. IEEE, 2014. P. 2830–2837.

Arthur M. Mukhamedov, Dmitriy S. Vatolin, Stanislav V. Dolganov

AUTOMATIC CHOICE OF DISPARITY ESTIMATION ALGORITHM FOR STEREO MATES RESISTANT TO FILMING AND CONVERSION ARTIFACTS

Arthur M. Mukhamedov

E-mail: arthur.mukhamedov@graphics.cs.msu.ru
Lomonosov Moscow State University

Dmitriy S. Vatolin, PhD (Physics and Mathematics)

E-mail: dmitriy@graphics.cs.msu.ru
Lomonosov Moscow State University

Stanislav V. Dolganov

E-mail: sdolganov@graphics.cs.msu.ru
Lomonosov Moscow State University

A lot of new 3D movies are released each year. Several specific problems arise during stereo content production that affect the quality of the final product. Automatic systems for movie analysis often rely on disparity maps that sometimes degrade due to specific artifacts decreasing matching quality. We propose a way to choose an algorithm most resistant to the artifacts on a given stereo mate. On a hand-marked dataset precision of 0,907 was reached when choosing between 28 modifications of five algorithms.

Key words: disparity map, motion estimation, stereo video, quality assessment.

REFERENCES

1. Egnal G., Wildes R.P. Detecting binocular half-occlusions: Empirical comparisons of five approaches // IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence. 2002. Vol. 24. No 8. P. 1127–1133.
2. Harris C., Stephens M. A combined corner and edge detector // Alvey vision conference. 1988. Vol. 15. No 50. P. 10.5244.
3. Hermann S., Klette R. The naked truth about cost functions for stereo matching. Department of Computer Science, University of Auckland, 2008.
4. Hu Y., Song R., Li Y. Efficient coarse-to-fine patchmatch for large displacement optical flow // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2016. P. 5704–5712.
5. Kroeger T. et al. Fast optical flow using dense inverse search // European Conference on Computer Vision. Springer, Cham, 2016. P. 471–488.
6. Lotan O., Irani M. Needle-match: Reliable patch matching under high uncertainty // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2016. P. 439–448.
7. Oliva A., Torralba A. Modeling the shape of the scene: A holistic representation of the spatial envelope // International journal of computer vision. 2001. Vol. 42. No 3. P. 145–175.
8. Simonyan K. et al. Fast video super-resolution via classification // Image Processing, 2008. ICIP 2008. 15th IEEE International Conference on. IEEE, 2008. P. 349–352.
9. Video Quality Measurement Tool 3D Project. <http://compression.ru/video/vqmt3d/>. Data obrashcheniya: 10.04.2018.
10. Voronov A., Borisov A., Vatolin D. System for automatic detection of distorted scenes in stereo video // Proceedings of Sixth International Workshop on Video Processing and Quality Metrics (VPQM). 2012.
11. Zhang Q., Xu L., Jia J. 100+ times faster weighted median filter (WMF) // Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2014 IEEE Conference on. IEEE, 2014. P. 2830–2837.

УДК 778.534.1
ББК 37.95

Кондранин Д.С., Ватолин Д.С.

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ВЫДЕЛЕНИЯ
ОБЛАСТЕЙ ИСКАЖЕНИЯ НА КАДРАХ
СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОГО ВИДЕО,
СОДЕРЖАЩИХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ИСКАЖЕНИЯ
ИЛИ РАСХОЖДЕНИЯ ПО РЕЗКОСТИ**

Кондранин Денис Сергеевич

E-mail: denis.kondranin@graphics.cs.msu.ru

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Ватолин Дмитрий Сергеевич, кандидат физико-математических наук

E-mail: dmitriy@graphics.cs.msu.ru

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

При стереосъемке из-за ошибок в калибровке двух камер могут возникнуть геометрические искажения ракурсов стереофильма и несоответствие в них резкости. Поиск и анализ таких искажений в снятых стереофильмах производится автоматически с последующей визуальной оценкой заметности найденных искажений экспертами. В данной работе описан алгоритм, позволяющий автоматизировать процесс выделения фрагментов стереокадра, содержащих наиболее заметные геометрические искажения ракурсов и несоответствие ракурсов по резкости.

Ключевые слова: стереоскопическое видео, контроль качества, построение визуализаций, геометрические искажения, несоответствие по резкости.

ВВЕДЕНИЕ

Ежегодно выпускается более 30 стереофильмов. Данная технология приобрела широкую известность после выхода фильма «Аватар» в 2009 году. Однако из-за сложности калибровки камер процесс стереосъёмки является дорогим, и в последнее время производители предпочитают использовать методы конвертации. По мнению аналитиков [3], стремление удешевить процесс производства оттолкнуло зрителей от стереоверсий фильмов — так, в Северной Америке кассовая доля фильмов в стереоформате в 2017 году составила всего 14%. Одна из причин падения спроса на стереофильмы — наличие в них искажений, появляющихся в процессе производства, которые способны вызвать у зрителей чувство дискомфорта.

Для того чтобы контролировать качество снимаемого стереоконтента, необходимо уметь распознавать и анализировать данные искажения. Часто при оценке качества стереофильма финальным результатом является отчёт, содержащий статистику о найденных искажениях [14]. Поиск искажений производится в два этапа. На первом этапе в автоматическом режиме выделяются все кадры, содержащие искажения вне зависимости от их заметности при просмотре зрителем. Таких искажений очень много, и устранение всех искажений может занять много времени. Поэтому на втором



Рис. 1. Пример визуализации несоответствия по резкости

этапе выполняется экспертная оценка заметности искажений. Для удобства просмотра проблемных сцен строятся визуализации: на кадрах выделяются области, где наиболее всего заметно искажение (рис. 1).

Выделение подобных областей вручную для нескольких тысяч кадров — трудоёмкий процесс, который может быть упрощён в результате применения метода выделения наиболее заметных искажений на ракурсах стереофильмов.

ИССЛЕДОВАНИЯ В ДАННОЙ ОБЛАСТИ

Большинство методов, посвящённых анализу искажений в видео, направлены на поиск, измерение и удаление искажений, возникающих на этапе сжатия видео [5, 9, 12]. Исследования, связанные с анализом качества стереоскопического видео, направлены как на обнаружение различных типов искажений, так и на оценку их величины [2, 10]. Однако они не локализуют наиболее заметные искажения. Проект Video Quality Measurement Tool 3D (VQMT3D) [15] посвящён автоматической оценке качества стереоскопического видео. В его рамках разработаны алгоритмы оценки следующих типов несоответствия между ракурсами: геометрические искажения, несоответствия по резкости, расхождение ракурсов по времени и цвету.

Для вычисления геометрических искажений в кадре применяются алгоритмы ректификации [17], заключающиеся в нахождении проекции левого и правого ракурсов на некоторую плоскость, параллельную линии, соединяющей оптические центры камер, а также методы, вычисляющие параметры аффинного преобразования между кадрами [1]. Метод, рассмотренный в [11], основывается на искажении сетки с учётом функции энергии, однако локальные параметры поворота и масштаба получаются сильно зашумлёнными.

Алгоритм [16], вычисляющий несоответствия по резкости между ракурсами, основан на локальном анализе областей и поэтому обнаруживает локальное несоответствие резкости в ракурсах, однако не учитывают степень заметности данных искажений.

ПРЕДЛОЖЕННЫЙ АЛГОРИТМ

Формальная постановка задачи следующая. На вход алгоритма подаётся кадр стереофильма $F = (I_L, I_R)$ высоты H и ширины W и

тип артефакта (несоответствие по резкости, поворот между ракурсами, несоответствие по масштабу, вертикальный сдвиг), для которого необходимо найти область, где наиболее заметно данное искажение. Результатом работы алгоритма является набор значений (x, y, w, h) и $(\Delta x, \Delta y)$, где x, y — координаты центра области; w и h — ширина и высота области соответственно, $(\Delta x, \Delta y)$ — сдвиг этой области на правом ракурсе относительно левого. Высота и ширина области связаны соотношением

$$w = \frac{hw}{2H}.$$

На первом шаге алгоритма производится вычисление векторов диспаратности кадра с четвертьпиксельной точностью для левого и правого ракурсов стереофильма на основе блочного алгоритма сопоставления [13]. Для уменьшения влияния неверных значений, возможных из-за неправильного сопоставления блоков, вычисляется доверие к блокам, в котором учитывается контрастность областей и оценка Left-Right Consistency check (LRC) [7].

Получившиеся карты горизонтальной и вертикальной диспаратности и карты доверия обозначим как $Disp_x, Disp_y$ и $Conf$. Для обозначения ракурса, которому соответствует построенная карта, введём верхний индекс $i \in \{L, R\}$. Таким образом, для левого ракурса получены карты $Disp_x^L, Disp_y^L, Conf^L$, для правого — $Disp_x^R, Disp_y^R, Conf^R$.

Следующим этапом является вычисление физических характеристик стереокадра. При анализе экспертной разметки кадров для каждого из типов искажений разработаны критерии заметности искажения — наличие каких физических характеристик необходимо для заметности каждого артефакта.

Из исходных ракурсов выделяется компонента яркости и на её основе вычисляется локальный контраст области $Contrast$. К ней применяется вертикальная и горизонтальная свёртки Собеля с целью выделения областей с высоким значением градиента яркости. Обозначим получившиеся карты $Sobel_y, Sobel_x$. Однако при оценке наличия градиентов в области необходимо убедиться, что данные градиенты присутствуют в обоих ракурсах. Например, данная область может попасть в область открытия или присутствовать на другом кадре, но быть размытой. Для этого строится карта устой-

чивых вертикальных градиентов Собеля, вычисляемая по формуле (напомним, что карта диспаратности строится с четвертьпиксельной точностью):

$$RobustSobel_y(x, y) = \min \left(\left| Sobel_y^L(x, y) \right|, \left| Sobel_y^R \left(x + \frac{1}{4} Disp_x^L(x, y), y + \frac{1}{4} Disp_y^L(x, y) \right) \right| \right).$$

Для геометрических артефактов важно также наличие горизонтальных границ — за счёт вертикальной диспаратности артефакт хорошо заметен на областях с их присутствием. Для вычисления горизонтальных границ воспользуемся модифицированным алгоритмом Кэнни [4]: после вычисления градиентов вместе с подавлением немаксимумов обращаются в ноль те пиксели, в которых $\left| \frac{\pi}{2} - \left| \arctg \frac{G_y}{G_x} \right| \right| > \frac{\pi}{4}$. Таким образом, на карте остаются только значения модулей градиентов, у которых угол близок к $\frac{\pi}{2}$.

Аналогично с картой устойчивых вертикальных градиентов Собеля строится карта устойчивых горизонтальных границ. Так как граница имеет ширину в 1 пиксель и карты диспаратности могут быть вычислены с небольшой погрешностью, необходимо рассмотреть на другом ракурсе не одно скомпенсированное значение

$$HorEdges^R \left(x + \frac{1}{4} Disp_x^L(x, y), y + \frac{1}{4} Disp_y^L(x, y) \right),$$

а результаты работы детектора границ в окрестности 5×5 данного пикселя.

Последний признак, характеризующий в области наличие градиентов, вычисляется по формуле:

$$Texture = D \arctg \frac{Sobel_y}{Sobel_x},$$

где каждый пиксель учитывается пропорционально абсолютной величине градиента в нём.

При анализе карты диспаратности сначала ракурс разделяется на планы, т. е. производится сегментация по глубине. Сегментация ракурсов производится на основе mean-shift кластеризации [6] с

адаптивной силой и последующим выделением связных компонент на горизонтальной карте диспаратности. Результатом сегментации ракурсов являются карты $Segm^L$, $Segm^R$, значение которых в пикселе указывает на принадлежность некоторой связной компоненте, лежащей на одном плане.

При анализе экспертной разметки было отмечено, что во многих случаях предпочтение отдаётся области, расположенной целиком на одном плане. Чтобы учитывать данное свойство, вводится гладкость по глубине для каждого пикселя изображения — доля пикселей окрестности данного пикселя, принадлежащая одному плану. Формула гладкости по глубине имеет вид:

$$Flatness^i(x, y) = \frac{\max_j \sum_{-r \leq \delta x, \delta y \leq r} \mathbb{1}_j(Segm^i(x + \delta x, y + \delta))}{(2r + 1)^2},$$

где $r = 100$, $i \in (L, R)$, $\mathbb{1}_{j(x)}$ — индикаторная функция.

Несоответствие по вертикальному сдвигу означает вертикальное смещение области одного ракурса относительно другого. Данное смещение распознаётся на карте вертикальной диспаратности. Это искажение хорошо заметно на горизонтальных границах, а также на областях, содержащих вертикальные градиенты. Вычисление локальной заметности искажения производится по формулам:

$$Visibility_1^{vs} = Disp_y^L \circ Conf^L \circ RobustEdges,$$

$$Visibility_2^{vs} = Disp_y^L \circ Conf^L \circ RobustSobel_y,$$

где символ \circ обозначает поэлементное умножение матриц.

Рассмотрим левый ракурс стереокадра и векторы диспаратности некоторой области, для которой существует локальное несоответствие по масштабу. Построим двумерную гистограмму, отражающую зависимость вертикальной составляющей диспаратности от координаты пикселя внутри. В зависимости от степени локального искажения, вертикальный сдвиг пикселя в блоке будет сильнее зависеть от координаты y данного пикселя. Поэтому уравнение регрессии выглядит следующим образом:

$$Disp_y^L(x, y) = a \cdot y + b,$$

где параметр a является значением локального увеличения. Для решения уравнения применяется метод RANSAC [8]. Для построения карты локального несоответствия по масштабу $LocalScale^L$

кадр разбивается на блоки — 4 блока в высоту и 8 блоков в ширину. Для каждого блока строится двумерная гистограмма и вычисляется коэффициент a . Также строится блочная карта доверия $LocalScaleConf^L$, где доверием к блоку считается доля векторов, соответствующих вычисленной модели. Также учитывается наличие градиентов в области и её гладкость по глубине. Итоговые карты заметности артефакта определяются как:

$$Visibility_1^{SD} = LocalScale_y^L \circ Conf^L \circ LocalScaleConf^L$$

$$\circ RobustSobel \circ Flatness^L,$$

$$Visibility_2^{SD} = LocalScale_y^L \circ Conf^L \circ LocalScaleConf^L$$

$$\circ Texture^L \circ Flatness^L.$$

В случае локального поворота между ракурсами, величина вертикального сдвига пикселя зависит от координаты x данного пикселя. Поэтому, как и в случае поиска несоответствия по масштабу между ракурсами, для анализа кадра строится блочная карта локального искажения $LocalRotate^L$, в каждом блоке равная коэффициенту a для соответствующего уравнения регрессии:

$$Disp_y^L(x, y) = a \cdot x + b.$$

Итоговые карты заметности определяются как:

$$Visibility_1^{RD} = LocalRotate_y^L \circ Conf^L \circ LocalRotateConf^L \circ RobustSobel,$$

$$Visibility_2^{RD} = LocalRotate_y^L \circ Conf^L \circ LocalRotateConf^L \circ Texture^L.$$

Для поиска локального несоответствия резкости рассматривается карта метрики, полученная при помощи алгоритма, представленного в [16]. Особенностью алгоритма является построение сразу двух карт — областей, где правый ракурс больше размыт относительно левого $LocalSharpness^L$, и областей, где левый ракурс размыт больше, чем правый $LocalSharpness^R$. Для последующего анализа выбирается ракурс, в котором значение локального несоответствия по резкости больше.

Блочная карта искажения фильтруется — значения в блоках заменяются на среднее арифметическое в окрестности блока 3×3 с целью удаления локальных выбросов. Кроме того, учитывается локальный контраст области. Итоговая карта заметности определяется как:

$$Visibility_1^{SM} = LocalSharpnessFiltered_y \circ Contrast.$$

После получения карт заметности искажения потенциальные центры областей в кадре рассматриваются скользящим окном размером 20×20 пикселей. Они сортируются по убыванию суммы значений на карте заметности. Затем выбираются кандидаты для будущих областей, для которых высота определяется в зависимости от типа и величины искажения. Из постановки задачи имеем: $w = \frac{hw}{2H}$. В качестве координат (x, y) области выбирается центр окна.

Если необходимо выделить несколько областей, то последующие области выбираются так, чтобы в соответствии с мерой Жаккара $K_j(R_1, R_2) = \frac{\text{площадь пересечения } R_1 \text{ и } R_2}{\text{площадь объединения } R_1 \text{ и } R_2}$ они имели значение,

меньшее 0,3 с каждой из уже отобранных областей. Первая область выбирается на основе первой карты заметности, остальные — по второй (если для данного типа искажения она приводилась).

Последним шагом является выделение соответствующей области на втором ракурсе стереофильма. Так как возможна ситуация, что область кадра не содержит неподвижных фрагментов, не всегда выгодно на другом ракурсе выбирать ту же самую область (x, y, w, h) . В таком случае определить степень искажения трудно из-за сдвига объекта на левом ракурсе относительно правого. Поэтому на втором ракурсе выбирается область с учётом её движения — $(x + \Delta x, y + \Delta y, w, h)$. Значения Δx и Δy вычисляются по формулам:

$$\Delta x = \frac{\sum_{-10 \leq \delta x, \delta y \leq 10} Disp_x^i(x + \delta x, y + \delta y) \cdot Conf^i(x + \delta x, y + \delta y)}{\sum_{-10 \leq \delta x, \delta y \leq 10} Conf^i(x + \delta x, y + \delta y)},$$

$$\Delta y = \frac{\sum_{-10 \leq \delta x, \delta y \leq 10} Disp_y^i(x + \delta x, y + \delta y) \cdot Conf^i(x + \delta x, y + \delta y)}{\sum_{-10 \leq \delta x, \delta y \leq 10} Conf^i(x + \delta x, y + \delta y)},$$

где $i \in \{L, R\}$ в зависимости от ракурса, для которого проводится компенсация.

Для построения области для кадра, содержащего вертикальный сдвиг между ракурсами, $\Delta y \equiv 0$, так как данным искажением как раз является наличие вертикальной диспаратности в области. При необходимости (x, y, w, h) , Δx и Δy модифицируются так, чтобы область целиком помещалась внутри ракурсов стереокадра.

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ АЛГОРИТМА

Перед тем как применять алгоритмы для анализа полнометражных фильмов, необходимо было проверить корректность их работы. Для проведения валидационной оценки была подготовлена выборка кадров из 4 художественных фильмов («Сумасшедшая езда» (2011), «Цунами 3D» (2011), «Путешествие к Центру Земли» (2008), «Обитель зла: Возмездие» (2012)), содержащих рассматриваемые искажения.

Построенные области анализировались вручную и помечались как подходящие или неподходящие для будущей визуализации. Результаты тестирования алгоритмов приведены на рис. 2.

После проведения валидационной оценки базовые версии алгоритмов использовались для построения визуализаций отчётов по найденным артефактам в стереофильмах. Базовая версия алгоритма, без учёта гладкости областей, использовалась при анализе 150 полнометражных художественных стереофильмов.

По каждому артефакту была подготовлена выборка из стереокадров, предположительно содержащих заданное искажение (644 для поворота между ракурсами, 586 для несоответствия по масштабу, 1003 для несоответствия резкости, 638 для вертикального сдвига между ракурсами).

Для геометрических артефактов создавалось 3 варианта областей, для несоответствия резкости — одна область. Участникам эксперимента предлагалось проверить наличие искажения в кадре и выбрать либо одну из предложенных областей, где искажение заметно больше всего, либо создать свою собственную область,

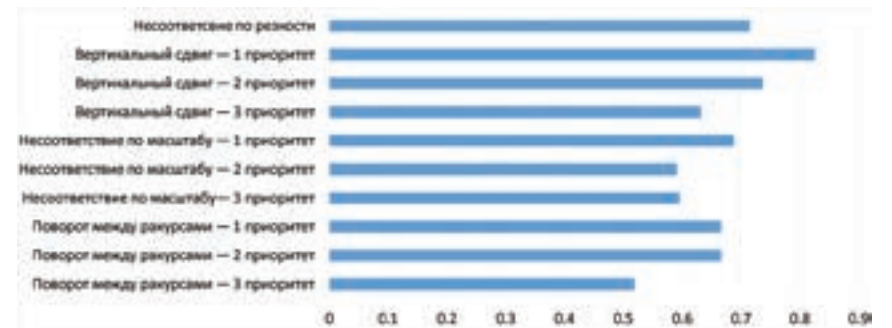


Рис. 2. Процент подходящих областей для каждого типа искажений и для каждого приоритета

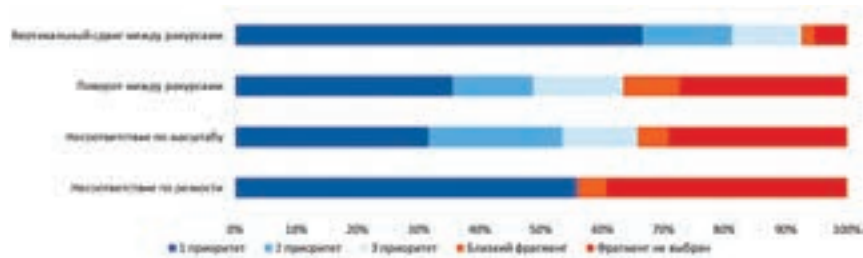


Рис. 3. Результаты работы алгоритма при анализе 150 полнометражных художественных стереофильмов

содержащую искажение. Результаты тестирования алгоритмов приведены на рис. 3.

Базовая версия алгоритма использовалась при анализе стереофильмов VIII Международного 3D-стерео кинофестиваля 2017 года. Как и в случае 150 полнометражных стереофильмов, была создана выборка из кадров (45 для поворота между ракурсами, 84 для несоответствия по масштабу, 197 для несоответствия по резкости, 188 для вертикального сдвига между ракурсами). Результаты тестирования алгоритмов приведены на рис. 4.

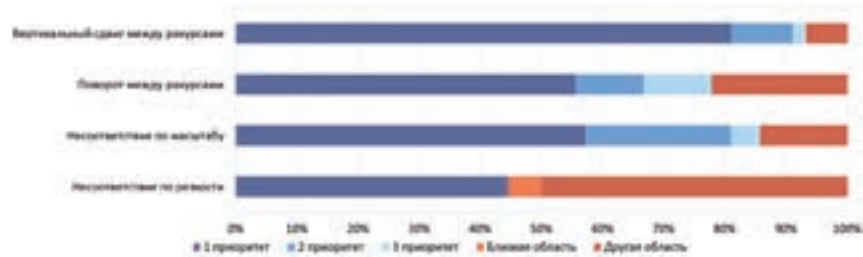


Рис. 4. Результаты работы алгоритма при анализе стереофильмов VIII Международного 3D-стерео кинофестиваля 2017 года

Таким образом, алгоритм определения наиболее заметных областей искажения позволил существенно сократить участие экспертов в процессе разметки кадров, следовательно, сократить и время, необходимое для проведения анализа качества стереофильма.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для упрощения процесса определения визуальной заметности экспертами искажений предложен алгоритм, позволяющий в автоматическом режиме находить области стереокадров, содержа-

щих наиболее существенные искажения между ракурсами. Проведена оценка работы алгоритмов на валидационной выборке из 4 фильмов. Базовые алгоритмы встроены в систему оценки качества стереофильмов VQMT3D, на их основе проанализированы 150 полнометражных художественных стереофильмов и стереофильмы — участники VIII Международного 3D-стерео кинофестиваля 2017.

Одним из направлений развития данной работы является адаптация разработанных алгоритмов для других типов искажений, возникающих как при стереосъёмке, так и при конвертации видео в стереоформат. Разработанные методы можно совместить с существующими методами оценки дискомфорта при просмотре стереоскопического видео, что делает возможным локализацию наиболее дискомфортных искажений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чафонова В.Г., Газеева И.В., Тихомирова Г.В. Автоматический контроль и цифровая коррекция масштаба и взаимного поворота изображений стереопары // Компьютерная оптика. 2016. Т. 40. № 1.
2. Antsiferova A., Vatolin D. The influence of 3d video artifacts on discomfort of 302 viewers // 3D Immersion (IC3D), 2017 International Conference on / IEEE. 2017. P. 1–8.
3. Are audiences tiring of 3D movies? <https://stephenfollows.com/audiences-tiring-of-3d-movies>. Дата обращения: 26.03.2018.
4. Canny J. A computational approach to edge detection // Readings in Computer Vision. Elsevier, 1987. P. 184–203.
5. Dai Y., Liu D., Wu F. A convolutional neural network approach for post-processing in hevc intra coding // International Conference on Multimedia Modeling /Springer. 2017. P. 28–39.
6. Derpanis K.G. Mean shift clustering // Lecture Notes. 2005.
7. Egnal G., Wildes R.P. Detecting binocular half-occlusions: Empirical comparisons of five approaches // IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence. 2002. Vol. 24. No 8. P. 1127–1133.
8. Fischler M.A., Bolles R.C. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography // Readings in computer vision. Elsevier, 1987. P. 726–740.

9. Huynh-Thu Q., Le Callet P., Barkowsky M. Video quality assessment: From 2d to 3d-challenges and future trends // Image Processing (ICIP), 2010. 17th IEEE International Conference on / IEEE. 2010. P. 4025–4028.

10. Khaustova D., Fournier J., Wyckens E., Le Meur O. An objective method for 3d quality prediction using visual annoyance and acceptability level // Stereoscopic Displays and Applications XXVI / International Society for Optics and Photonics. 2015. Vol. 9391. P. 93910P.

11. Liu F., Niu Y., Jin H. Casual stereoscopic photo authoring // IEEE Transactions on Multimedia. 2013. Vol. 15. No 1. P. 129–140.

12. Li Z., Aaron A., Katsavounidis I. et al. Toward a practical perceptual video quality metric // The Netflix Tech Blog. 2016. Vol. 6.

13. Simonyan K., Grishin S., Vatolin D., Popov D. Fast video super-resolution via classification // Image Processing, 2008. ICIP 2008. 15th IEEE International Conference on / IEEE. 2008. P. 349–352.

14. Vatolin D., Bokov A., Dolganov S. et al. VQMT3D project stereo-film-quality analysis report 9. <http://www.compression.ru/video/vqmt3d/report9/>. Дата обращения: 15.04.2018.

15. Video Quality Measurement Tool 3D Project. <http://compression.ru/video/vqmt3d/>. Дата обращения: 15.04.2018.

16. Voronov A., Vatolin D., Sumin D. et al. Towards automatic stereo-video quality assessment and detection of color and sharpness mismatch // 3D Imaging (IC3D), 2012 International Conference on / IEEE. 2012. P. 1–6.

17. Zilly F., Müller M., Eisert P., Kauff P. Joint estimation of epipolar geometry and rectification parameters using point correspondences for stereoscopic tv sequences // Proceedings of 3DPVT. 2010.

Denis S. Kondranin, Dmitriy S. Vatolin

DEVELOPMENT OF DISTORTION AREA HIGHLIGHTING METHOD FOR STEREOSCOPIC VIDEO CONTAINING GEOMETRIC INCONSISTENCES OR SHARPNESS MISMATCH

Denis S. Kondranin
E-mail: denis.kondranin@graphics.cs.msu.ru
Lomonosov Moscow State University

Dmitriy S. Vatolin, PhD (Physics and Mathematics)
E-mail: dmitriy@graphics.cs.msu.ru
Lomonosov Moscow State University

When shooting 3D video the quality of the content is mainly determined by the camera's calibration. Due to such calibration errors, geometric distortions and sharpness mismatch between frames may occur. The investigation and analysis of such distortions are usually performed partially automatically, with the subsequent expert evaluation of the visibility of detected distortions, which take up a lot of time. In this paper, an algorithm is described that makes it possible to automate the process of extracting the fragments of a 3D frame containing the most noticeable geometric distortions and sharpness mismatch.

Key words: stereoscopic video, quality assessment, visualization creation, geometric inconsistencies, sharpness mismatch.

REFERENCES

1. Chafonova V.G., Gazeeva I.V., Tikhomirova G.V. Avtomaticheskii kontrol' i tsifrovaya korrektsiya masshtaba i vzaimnogo povorota izobrazhenii stereopary // Komp'yuternaya optika. 2016. Vol. 40. No 1.

2. Antsiferova A., Vatolin D. The influence of 3d video artifacts on discomfort of 302 viewers // 3D Immersion (IC3D), 2017 International Conference on / IEEE. 2017. P. 1–8.

3. Are audiences tiring of 3D movies? <https://stephenfollows.com/audiences-tiring-of-3d-movies>. Дата obrashcheniya: 26.03.2018.

4. Canny J. A computational approach to edge detection // Readings in Computer Vision. Elsevier, 1987. P. 184–203.

5. Dai Y., Liu D., Wu F. A convolutional neural network approach for post-processing in hevc intra coding // International Conference on Multimedia Modeling /Springer. 2017. P. 28–39.

6. Derpanis K.G. Mean shift clustering // Lecture Notes. 2005.

7. Egnal G., Wildes R.P. Detecting binocular half-occlusions: Empirical comparisons of five approaches // IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence. 2002. Vol. 24. No 8. P. 1127–1133.

8. Fischler M.A., Bolles R.C. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography // Readings in computer vision. Elsevier, 1987. P. 726–740.

9. Huynh-Thu Q., Le Callet P., Barkowsky M. Video quality assessment: From 2d to 3d-challenges and future trends // Image Processing (ICIP), 2010. 17th IEEE International Conference on / IEEE. 2010. P. 4025–4028.
10. Khaustova D., Fournier J., Wyckens E., Le Meur O. An objective method for 3d quality prediction using visual annoyance and acceptability level // Stereoscopic Displays and Applications XXVI / International Society for Optics and Photonics. 2015. Vol. 9391. P. 93910P.
11. Liu F., Niu Y., Jin H. Casual stereoscopic photo authoring // IEEE Transactions on Multimedia. 2013. Vol. 15. No 1. P. 129–140.
12. Li Z., Aaron A., Katsavounidis I. et al. Toward a practical perceptual video quality metric // The Netflix Tech Blog. 2016. Vol. 6.
13. Simonyan K., Grishin S., Vatolin D., Popov D. Fast video super-resolution via classification // Image Processing, 2008. ICIP 2008. 15th IEEE International Conference on / IEEE. 2008. P. 349–352.
14. Vatolin D., Bokov A., Dolganov S. et al. VQMT3D project stereo-film-quality analysis report 9. <http://www.compression.ru/video/vqmt3d/report9/>. Data obrashcheniya: 15.04.2018.
15. Video Quality Measurement Tool 3D Project. <http://compression.ru/video/vqmt3d/>. Data obrashcheniya: 15.04.2018.
16. Voronov A., Vatolin D., Sumin D. et al. Towards automatic stereo-video quality assessment and detection of color and sharpness mismatch // 3D Imaging (IC3D), 2012 International Conference on / IEEE. 2012. P. 1–6.
17. Zilly F., Müller M., Eisert P., Kauff P. Joint estimation of epipolar geometry and rectification parameters using point correspondences for stereoscopic tv sequences // Proceedings of 3DPVT. 2010.

**Часть V. ТВОРЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
СОЗДАНИЯ ОБЪЁМНЫХ
ИЗОБРАЖЕНИЙ**

УДК 778.5.01(014)
ББК 85.374(3)

Степанова Н.Э.

**ВЫБОР АВТОРОМ НАБОРА КОМПОЗИЦИОННЫХ
КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ОБЪЁМНЫХ
СЦЕН (НА ПРИМЕРЕ ФИЛЬМОВ «МАМОЧКА»
2014 ГОД И «ЭТО ВСЕГО ЛИШЬ КОНЕЦ СВЕТА»
2016 ГОД, РЕЖИССЁР КСАВЬЕ ДОЛАН)**

Степанова Надежда Эдуардовна

E-mail: Nadezhdastepan@gmail.com

Всероссийский государственный институт кинематографии
им. С.А. Герасимова

Набор композиционных компонентов для построения объёмных сцен позволяет выразить мысль в сцене за счёт чистой композиции. Простота это главный способ чисто донести идею, а так как цель каждого фильма — проецирование истории для аудитории, то простота — главный инструмент выстраивания истории.

Ключевые слова: визуальная композиция, средний план, расширение границ, объёмная сцена, правило третей.

Визуальный рассказ в кино это искусство, включающее в себя три основных фактора:

- расположение людей и объектов внутри кадра,
- перемещения людей и объектов в рамках кадра,
- движение, собственно, кадра.

Немногие режиссёры решаются использовать весь потенциал композиции в кадре, потому что композиция включает в себя од-



Рис. 1. Кадр из фильма «Мамочка». Общий план

новременно управление тремя основными факторами визуального рассказа. Режиссёр в кино, в отличие от фотографа и театрального режиссёра, создаёт визуальную композицию в гибкой, непрерывно меняющейся среде.

За счёт использования всего потенциала композиции в кадре возникает ощущение объёмной сцены.

Проанализируем композицию кадров сцены эпицентра режиссёрского замысла фильма «Мамочка» 2014 года (режиссёр Ксавье Долан). Во-первых, выбор режиссёром формата старых немых фильмов — 4:3, концентрирует сюжет на человеке и его внутреннем мире, на герое фильма Steve. Во-вторых, режиссёр использует положение камеры, монтаж, освещение, вызывая чуть ли не ощущение, схожее ощущениям при клаустрофобии. Режиссёр использует в сцене закадровое музыкальное сопровождение — Oasis Wonderwall. Текст песни говорит о смысле сцены — «Чудо и преграда». «Сегодня тот день, когда ты получишь ответ... Все дороги, по которым нам идти, — извилисты...»*. Начинается сцена с общего плана (рис. 1).

Мы видим героя, полностью заполняющего кадр по высоте. Вокруг героя совсем немного пространства. Герой не обрезается. Среда становится менее важной, главное не «где», а «кто». Этот кадр демонстрирует аудитории героя, его движения, жесты. Затем обратная точка — общий план (рис. 2).

* «...Today is gonna be the day... That they're gonna throw it back to you... And all the roads we have to walk are winding...»

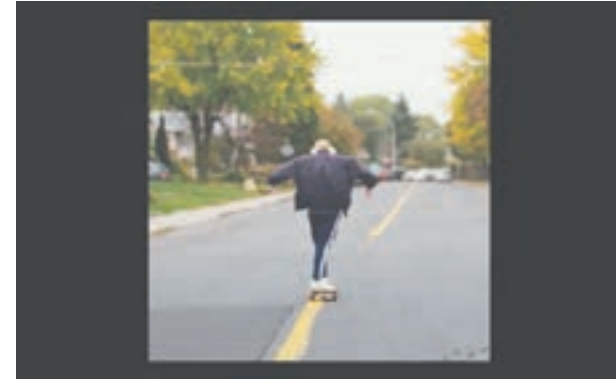


Рис. 2. Кадр из фильма «Мамочка». Обратная точка



Рис. 3. Кадр из фильма «Мамочка». Средний план

Средний план часто используется в фильме, это надёжный принцип, чтобы показать героев близко, но не слишком. В кадре оставлено достаточно свободного пространства вокруг, чтобы дать возможность действовать и жестиковать без отрыва от обстановки [3]. Средний план не скрывает деталей: наоборот, он показывает нам что-то конкретное (рис. 3).

Посмотрите на треугольник между персонажами на рис. 4. Это распространённый способ использовать пространство на экране более экономично.

Затем мы видим средний план героя и слышим паузу в музыкальном сопровождении. И очень интересный элемент. Герой растягивает своими руками формат кадра 4:3 в формат кадра 16:9. Мы видим, что герой прилагает усилия, он раздвигает границы —



Рис. 4. Кадр из фильма «Мамочка». Треугольник между персонажами



Рис. 5. Кадр из фильма «Мамочка». Герой раздвигает формат



Рис. 6. Кадр из фильма «Мамочка». Ощущение свободы

этот смысловой элемент работает на замысел режиссёра. Раздвигнув формат кадра, он дышит полной грудью, возникает ощущение свободы. И панорамирование со среднего плана на общий и на более общий несёт тот же смысл — расширение границ. За счёт этих элементов возникает ощущение объёмности сцены. То есть использование форматов кадра, сопровождающей музыки, необходимой в нужное время паузы в музыке, панорамирование, сочетание общих планов со средними в верном для сцены порядке воссоздают мысль — замысел режиссёра, и возникает объём (рис. 5, 6).

АНАЛИЗ ФИНАЛЬНОЙ СЦЕНЫ ФИЛЬМА «ЭТО ВСЕГО ЛИШЬ КОНЕЦ СВЕТА» РЕЖИССЁРА КСАВЬЕ ДОЛАНА

Сцена начинается с крупного плана. В крупном плане по высьоте помещается голова и шея героя с плечами (рис. 7).



Рис. 7. Кадр из фильма «Это всего лишь конец света». Крупный план

Этот план нужен для выражения эмоций. Эта сцена полностью о персонаже, она сообщает нам важные вещи, которые мы должны знать, чтобы понять историю. Данное решение позволяет сказать, что персонаж чувствует и о чём думает. Режиссёр использует в сцене закадровое музыкальное сопровождение — Moby Natural Blues — объясняет смысл сцены — «О, Господи, беды так трудно переносить. Никто не знает о моих бедах, кроме Бога... Вдруг я почувствовал себя счастливым, и это состояние длилось весь день... Я вошёл в комнату, но задержался там ненадолго...»*.

* «Oh Lordy, trouble so hard. Don't nobody know my troubles but God... My soul got happy and stayed all day... Went in the room my troubles but God...»



Рис. 8. Кадр из фильма «Это всего лишь конец света». Взгляд зрителей направляется на лицо героя

Камера отъезжает назад, чтобы показать героя. Всё в кадре разработано так, чтобы привести взгляд зрителей в фокусный центр — лицо героя (рис. 8).

ПРАВИЛО ТРЕТЕЙ

Правило третей утверждает, что существуют определённые «горячие точки» на экране, районы интенсивности. Если поместить объекты в пределах этих точек, то композиция станет более энергичной и интересной [1].

Представьте игру «крестики-нолики» над кадром: важные детали располагаются в местах пересечения линий игры, что позволяет избежать симметричности и мёртвого центрирования объектов и персонажей, которые делают композицию неестественной и механической.

Даже линия горизонта часто размещена на верхней или нижней линии, что позволяет объектам перетекать на изображении из секции в секцию.

Углы на заднем плане не случайны, негативное пространство, созданное вокруг головы героя, помогает показать его лицо. Кроме того, окружающие элементы помогают направить внимание на глаза героя (рис. 9).

Это окончательное расположение фигур делает кадр чистым и легко считываемым, а сама композиция доставляет визуальное удовольствие. Во всем фильме это так хорошо продумано, красиво, логично и просто в одно и то же время.

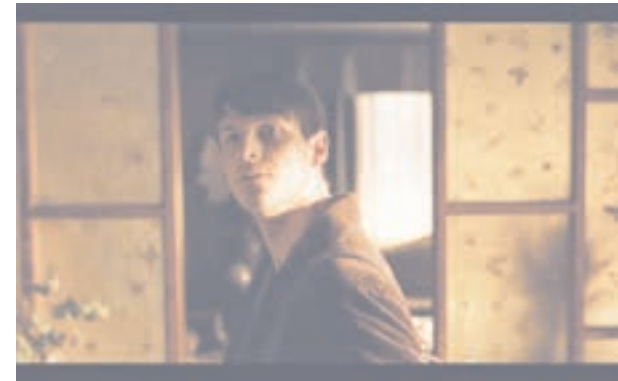


Рис. 9. Кадр из фильма «Это всего лишь конец света». Пример применения правила третей

По сюжету сцены, из часов с кукушкой вылетает птичка. Этот сюрреалистический сюжет сцены проявляется за счёт и цвета, используемого в сцене.

Жёлтый — самый яркий цвет, его периферийное видение в 2,5 раза выше, чем, например, у красного. Считается, что в ярких и тёплых тонах это цвет счастья и просвещения, Бога и творчества, солнца и лета, мудрости, знания, отдыха, радости, оптимизма и воображения; а в тёмных и холодных оттенках — трусости, предательства, эгоизма, безумия, нечестности, зависти, жадности, обмана, опасности и физической болезни, например, желтухи, малярии [2].

Жёлтый цвет редко используют в интерфейсах и, например, в бытовых приборах. Почти все в мире считают, что жёлтый — цвет счастья, но при этом сила жёлтого не воспринимается на бытовом уровне. Это такой цвет, который мы все любим, но с которым не хотим жить.

Понятно, что у каждого человека своё личное восприятие цвета и сочетания цветов. Однако есть закономерности, которые действительно работают и вызывают определённые эмоции, тем самым помогая авторам фильма правильно донести свою мысль.

Все потому, что они создают болезненный образ и ассоциируется с болезнью — как физической, так и умственной. Поэтому за счёт цвета автор вводит нас в сюрреализм. Но этот метод работает и в контексте сюжета, герой — по профессии драматург, смертельно болен. Этот цвет в полноте своей выражает драматургию сцены.

Затем используется элемент перевод фокуса. Благодаря переводу фокуса объектива с переднего плана на задний, внимание зрителей концентрируется на объектах в фокусе. При этом кадр на несколько секунд оставляет наше внимание вне фокуса, ни на заднем, ни на переднем плане. Мы находимся в пространстве нереальности, что ещё раз нам напоминает о сюрреалистическом сюжете сцены (рис. 10).

Затем в сцене возникает более крупный план. Чем крупнее план героя или объекта, тем больше внимания на нём концентрируется. Окружение отходит на второй план, и в фокусе остаётся только герой или объект, который нам интересен (рис. 11).

Затем автор меняет ракурс съёмки и вносит в монтаж субъективную камеру, тем самым помещая зрителя «в шкуру» персонажа



Рис. 10. Кадр из фильма «Это всего лишь конец света». Пример расфокусированного изображения

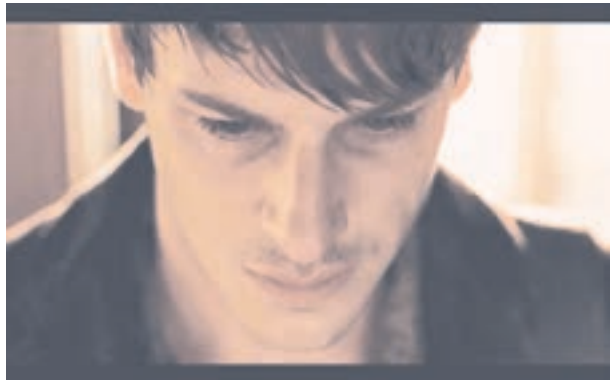


Рис. 11. Кадр из фильма «Это всего лишь конец света». Пример крупного плана

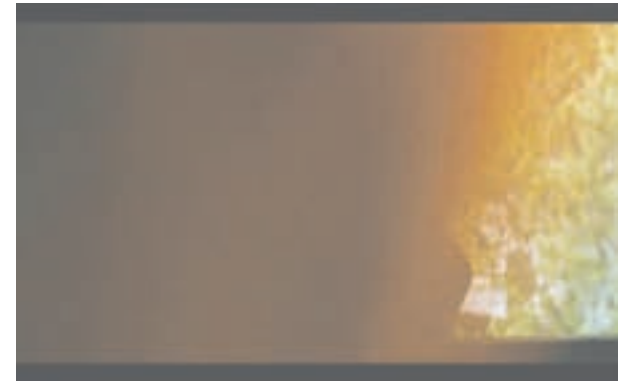


Рис. 12. Кадр из фильма «Это всего лишь конец света». Видна часть силуэта матери героя



Рис. 13. Кадр из фильма «Это всего лишь конец света». Пример отсутствия детализации за героем

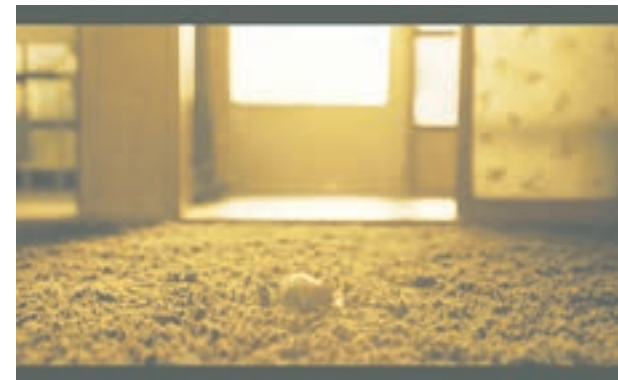


Рис. 14. Кадр из фильма «Это всего лишь конец света». Птичка в нижней трети экрана

и позволяя смотреть на мир его глазами. Мы с ним вместе видим силуэт, даже часть силуэта своей матери (рис. 12).

Обратите внимание на отсутствие детализации за героем, акцентирующее внимание (рис. 13).

Птичка расположена вдоль нижней трети экрана, чтобы дать ощущение простора. Размещение горизонта вдоль верхней трети даёт ощущение близости или интимности (рис. 14).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В обоих приведенных примерах выбор автором набора композиционных компонент для построения объёмных сцен выражает общую тенденцию — мысль в сцене за счёт чистой композиции.

Простота — главный способ чисто донести идею, а так как цель каждого фильма — это проецирование истории для зрителей, то простота — главный инструмент. Сценарий, звуковые эффекты, музыка и другие факторы несомненно помогают создавать впечатление от просмотра кино. Но фильм должен быть, в первую очередь, успешен визуально. Ведь фильм, в первую очередь, это визуальная среда, и большую часть времени зрителям нужна ясность происходящего на экране, хотя иногда по замыслу необходимо запутать или дезориентировать зрителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. 5 мифов о правиле третей. <http://say-hi.me/illustration/5-mifov-o-pravile-tretej.html>. Дата обращения: 30.03.2018.

2. Воздействие жёлтого. <https://www.petrick.ru/yellow>. Дата обращения: 02.04.2018.

3. Шейдинг и освещение. https://studopedia.ru/8_155006_sheyding-i-osveshchenie.html. Дата обращения: 29.03.2018.

Nadezhda E. Stepanova

SELECTION OF THE SET OF COMPOSITIONAL COMPONENTS FOR THE CONSTRUCTION OF 3D SCENES USING THE EXAMPLE OF THE MOVIES «MOMMY» (2014) AND «IT'S ONLY THE END OF THE WORLD» (2016) DIRECTED BY XAVIER DOLAN

Nadezhda E. Stepanova

E-mail: Nadezhdastepan@gmail.com

Russian Federation State Institute of Cinematography
named after S.A. Gerasimov

An array of compositional elements for constructing 3D scenes makes it possible to express the idea through pure composition. Simplicity is the main way to convey the idea, and since the purpose of each film is to project the story for the audience, simplicity is the main tool.

Key words: visual composition, medium shot, border expansion, 3D scene, rule of thirds.

REFERENCES

1. 5 mifov o pravile tretei. <http://say-hi.me/illustration/5-mifov-o-pravile-tretej.html>. Data obrashcheniya: 30.03.2018.

2. Vozdeistvie zheltogo. <https://www.petrick.ru/yellow>. Data obrashcheniya: 02.04.2018.

3. Sheyding i osveshchenie. https://studopedia.ru/8_155006_sheyding-i-osveshchenie.html. Data obrashcheniya: 29.03.2018.

УДК 778.534.5
ББК 85.3

Данилов Д.И.

РЕЖИССУРА ОБЪЁМНЫХ СВЕТОДЕКОРАЦИОННЫХ ТРЮКОВЫХ ЭФФЕКТОВ В ТЕАТРЕ, ЦИРКЕ И КИНО

Данилов Джан Иосифович
E-mail: dzhan.danilov@mail.ru

Всероссийский государственный институт кинематографии
им. С.А. Герасимова

В статье рассматривается проблематика использования светодекорационных эффектов с точки зрения практической постановочной режиссуры пространственно-временных видов искусства (в театральных, цирковых спектаклях, шоу-программах и т. д.), а также особенности современной экранизации трюкового исполнительского мастерства в контексте аудиовизуального оформления трюка (трюковых комбинаций).

Ключевые слова: светодекорационные эффекты, трюкодемонстрация, плоскостное и объёмное восприятие, канадский Cirque du Soleil, французский конный театр Zingaro, пространственно-временные виды искусств.

Компьютерные технологии являются неотъемлемой частью развития современного общества, практически любой отрасли жизнедеятельности человека. Активная интеграция технологических инноваций коснулась и культурной жизни современного социума, а именно той её части, которая связана непосредственно с пространственно-временными искусствами (кинематограф, цирко-

вое и театральное искусство и т. д.). Зрелищность демонстрационно-действенных эффектов (трюковое исполнительское мастерство, пиротехника и другие спецэффекты), существовавших до сегодняшнего дня, бесследно уходят в прошлое и, демонстрируя свою «несостоятельность» сегодня, становятся достоянием истории. Современные критерии зрелищности требуют совершенно иных психофизических, эмоционально-чувственных аспектов аудиовизуального восприятия.

Зрительская аудитория, особенно та её многочисленная часть, которую представляет молодёжь (в подавляющем большинстве своём, занимающаяся экстремальными видами спорта, сопряжёнными с реальным риском для жизни: бейсджампинг*, фрирайд**, кейв-дайвинг*** и множество других англо- и/или франкоязычных

* Один из самых экстремальных и опасных видов спорта, в котором используется специальный парашют для прыжков с фиксированных объектов. Высота, с которой осуществляется прыжок бейсджампера, может быть от 40 до 1000 метров, в то время как обычные парашютисты прыгают с высоты не менее 1000 метров. Для бейсджампинга используются специально разработанные парашюты, которые значительно отличаются от обычных. Запасной парашют не используется, так как он не пригодится на столь маленькой высоте, нет и страхующих приборов.

** Катание на сноуборде или горных лыжах вне подготовленных трасс и, как правило, вне области обслуживания горнолыжной индустрии. Считается, что именно при катании по нетронутому снегу наиболее полно раскрываются все возможности сноуборда и горных лыж. Вместе с тем, фрирайдовое катание сулит и немало опасностей, связанных с незнакомой местностью, например, возможность схода лавин. На протяжении последних лет ежегодно проводятся международные соревнования по фрирайду среди профессионалов и любителей.

*** Вид технических погружений, совершаемый в пещерах, где существует так называемая надголовная среда. По сути это тот же дайвинг, только в подводных пещерах. Основная опасность кейв-дайвинга в том, что затруднено или невозможно экстренное всплытие, а также существует реальный риск заблудиться или не рассчитать запас воздуха. Всегда есть вероятность остаться без искусственного света, поэтому нужно уметь плавать и ориентироваться в полной темноте. При этом не исключена опасность повреждения оборудования при ударе о стену или потолок. Большое количество ила может затруднить видимость на долгое время, в результате выход придётся искать вслепую в темноте.

наименований, основательно вошедших в речевой обиход современного молодого человека). Поэтому публика, заполняющая зрительные залы театров и киноконцертных комплексов, амфитеатры цирков и других зрелищно-массовых мероприятий, требует совершенно нового подхода к процессу демонстрации аудиовизуальных искусств [7]. Желание «острых ощущений», предчувствие реальной опасности, ощущение непосредственного участия, в той или иной событийной атмосфере постановки, сформировали необходимость углубления плоскостного аудиовизуального восприятия и совершенствование объёмного. Особенно если это напрямую связано с трюкодемонстрацией.

Любое современное зрелище является, как правило, синтезом различных видов пространственно-временных искусств. Иногда этот синтез парадоксальным образом репрезентирует свою постановочную деятельность [1]. Так, например, в канадском *Cirque du Soleil* полностью отсутствуют животные, а во французском конном театре *Zingaro* [4], наоборот, основная ставка делается как раз именно на животных — лошадей, главных действующих лиц спектаклей.

Трюковое исполнительское мастерство артистов цирка, актёров театра и кино приобретает совершенно иной эмоционально-зрелищный эффект, если оно демонстрируется с привлечением инновационных средств компьютерной графики, объёмно-проекционных изображений. Поскольку акцентуация на трюкодемонстрацию в большинстве случаев постановочной практики является приоритетной, то в режиссёрской практической постановочной работе появляется логическая потребность в соответствующей аудиовизуализации оформления трюка. Объёмная инсталляция, создаваемая посредством светодекорационных приёмов с адаптированным использованием компьютерной графики — наиболее приемлемый выход в создавшейся ситуации. Технологии 3D-изображений также были бы весьма уместны в контексте экранизации таких шоу-программ. Светодекорационная инсталляция становится повсеместно используемой. Режиссура таких спецэффектов, которые «оттеняют» трюк, придают сюжетно-смысловой линии постановки более наполненную художественно-эстетическую картину, является абсолютной необходимостью современного процесса демонстрации того или иного произведения искусства.

Рассмотрим спектакль «Лунгта» французского конного театра *Zingaro* [3]. «Лунгта», собственно говоря, — древний буддийский ритуал. Переезжая на новое место, тибетцы развешивают пёстрые флажки, на которых написаны мантры и изображены священные животные — тигр, лев, дракон и птица гаруда. <...> Считается, что сам шелест флажков на ветру заставляет мантры звучать. А суть обряда «Лунгта» — в мощной гармонизации окружающего пространства» [9]. Во время экранизации постановки передать атмосферу ассоциативно-действенных мизансцен спектакля проблематично. Плоскостное восприятие не может передать объём, глубину и, как следствие — контекстуальность трюкодемонстрации в нём. Здесь и масштабный философский смысл в ассоциативной схожести с платоновским «Мифом о Пещере» [8], и проекционная аналогия с действительностью (или ретроспективной реконструкцией прошлого), с абстрактно-символическим антагонизмом отзеркаливания метаморфоз современности и т. д. При такой постановке глобальности проблематики, конечно, необходимо использование объёмных технологий в экранизации этого спектакля. Гораздо информативнее в понятийно-смысловом отношении, вероятно, «считывались» бы именно те трюки (трюковые комбинации), которые были бы продемонстрированы в обрамлении компьютерной инсталляции светодекорационных эффектов.

Спектакль «Баттута», также хороший пример ещё одного режиссёрско-постановочного ноу-хау французского конного театра *Zingaro*. Сюжет — цыганская свадьба: музыка от молдавских и румынских музыкантов, мелодии а-ля Горан Брегович. Джигитовка, трюки высшей школы верховой езды — выше всяких похвал [5]. В спектакле просматриваются аллюзии с персонажами немого кино Мака Сеннетта, остроумных мультфильмов Текса Эвери и образами Федерико Феллини, с оригинальными джазовыми вариациями Сун Ра, где-то можно даже уловить аналогию с сюжетами с полотен Пабло Пикассо, или в большей степени Тулуза Лотрека [6]. По-итальянски *battuta* означает «шутка» [10]. В названии спектакля французских конников «Баттута» есть корень «*battu*» — бить, отбивать ритм. Идея связи ритма с лихостью, удалью, ловкостью, смелостью, в сочетании с цыганской музыкой, её задорностью в смешении с лошадиным галопом, весь этот ураган быстро сменяющих друг друга событий сам по себе является воплощением свободы.

«Плоскостное» восприятие ассоциативно-действенных спектаклей, таких как постановки Клемана Марти (режиссёр, актёр, создатель и бессменный художественный руководитель французского конного театра «Зингаро») [2], нуждаются в качественном подходе к их экранизации. Традиционный формат безнадежно устарел. Он напоминает экранизацию спектаклей советского периода истории развития отечественного кинематографа, когда театральные спектакли снимали двумя камерами (двумя планами: общим, с периодически вкраплением крупного).

Совсем по-другому обстоит дело в одном из самых коммерчески привлекательных бизнес-проектов прошлого столетия и современности, известного всему миру канадского Cirque du Soleil (Цирк Солнца). В экранизации шоу-программ Цирка Солнца всё подчинено трюкодемонстрации. Режиссура постановочно-демонстрационных приёмов охватывает весь спектр трюкового исполнительского мастерства, как наиболее выигрышной и помпезной части аудиовизуального искусства. Светодекорационные инсталляции продуманы режиссёрски абсолютно точно. Всё внимание сосредоточено на эффектной демонстрации самого трюка. Оригинальное постановочное декорационное обрамление, светоинсталляционные манипуляции, — всё это создаёт устойчивое представление о реальном нахождении в каком-то виртуальном пространстве (вымышленном самим собой) здесь и сейчас.

Экранизация шоу-программ канадского Cirque du Soleil это почти ещё один «Аватар» Джеймса Кэмерона. В качестве примера приведём экранизацию шоу «Toruk — the first flight»*. Шоу-спектакль «Toruk — the first flight» был создан как раз по мотивам вышеупомянутого фильма Джеймса Кэмерона «Аватар» (2009). Сам режиссёр Джеймс Кэмерон (выступивший творческим консультантом постановки в соавторстве с Ги Лалиберте — создателем и совладельцем корпорации Cirque du Soleil)**, охарактеризовал действие в шоу-спектакле как события, происходившие за тысячу лет до тех, которые были показаны в его фильме.

* «Toruk — the first flight» означает «Турук — первый полёт». Режиссёры постановки — Мишель Лемье и Виктор Пилон. Слово «турук» на языке народа, населяющего фантастическую планету Пандору, означает «хищник», который управляет небом Пандоры.

** Об этом информировалось на официальном сайте Cirque du Soleil.

Подсветка и освещение декораций, на которых исполняются трюки, световые эффекты и компьютерная графика — всё это работает не только и не столько на создание красивой визуализационной картинки, сколько на формирование целостного восприятия художественного образа в контексте смыслообразования, главной связующей нитью которого является — трюк. Использование объёмных технологий в экранизации шоу Cirque du Soleil позволяет перенестись в «виртуальное» пространство спектакля «Toruk — the first flight», и ощутить себя реальным участником событий. А режиссура сопровождающего трюк «оформления» становится по сути составной частью режиссуры самого трюка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Режиссура объёмных светодекорационных эффектов в использовании трюков в театре, цирке и кино не может быть вторичной. Это значительная часть первичной постановочной работы, о которой современный режиссёр-постановщик должен постоянно помнить.

ЛИТЕРАТУРА

1. Годер Д. Художники, визионеры, циркачи: Очерки визуального театра. М.: Новое литературное обозрение, 2012. 240 с.
2. Данилова О.В. Культурно-исторический аспект формирования нового театрального языка в конце 90-х годов XX столетия (на примере раннего творчества французского конного театра «Зингаро») // Дом Бурганова. Пространство культуры. 2017. № 3. С. 179–196.
3. Данилова О.В. Спектакли Зингаро как инициация с архаическими истоками бытия // Культура и искусство. 2016. № 3. С. 360–372.
4. Данилова О.В. Театральный экзистенциализм Клемана Марти (Бартабаса): вымысел или философский взгляд современного режиссёра-постановщика // Философия и культура. 2017. № 1. С. 67–76.
5. Должанский Р. Театр начинается с манежа. <https://www.kommersant.ru/doc/1168261>. Дата обращения: 17.04.2018.
6. Марманд Ф. Батгута. Конный театр Зингаро. <http://mosday.ru/afisha/event.php?event=45726&source=3>. Дата обращения: 17.04.2018.

7. Мотрошилова Н.В. Цивилизация и варварство в эпоху глобальных кризисов. М.: Канон+, Реабилитация, 2010. 480 с.
8. Платон. Собрание сочинений в 3-х т. Т. 3 (1). М.: Мысль, 1971.
9. Удар копытом по мировому хаосу // Новая газета. № 42. 16.06.2003. <https://www.novayagazeta.ru/articles/2003/06/16/18236-udar-kopytom-po-mirovomu-haosu>. Дата обращения: 17.04.2018.
10. Элио А. Баттута. Конный театр Зингаро. <http://mosday.ru/afisha/event.php?event=45726&source=3>. Дата обращения: 17.04.2018.

Данилов Д.И.

DIRECTING 3D LIGHTING STUNT EFFECTS IN THEATRE, CIRCUS AND CINEMA

Данилов Джан Иосифович
E-mail: dzhan.danilov@mail.ru

Russian Federation State Institute of Cinematography
named after S.A. Gerasimov

The article tackles the use of lighting effects in terms of practical directing spatiotemporal art forms (theatre, circus, shows, etc.) as well as modern methods of audiovisual recording stunt performances.

Key words: lighting effects, stunt performance, two-dimensional and three-dimensional perception, Cirque du Soleil (Canada), Circus Zingaro (France), spatiotemporal art forms.

REFERENCES

1. Goder D. Khudozhniki, vizionery, tsirkachi: Ocherki vizual'nogo teatra. М.: Novoe literaturnoe obozrenie, 2012. 240 p.
2. Danilova O.V. Kul'turno-istoricheskii aspekt formirovaniya novogo teatral'nogo yazyka v kontse 90-kh godov KhKh stoletiya (na primere rannego tvorchestva frantsuzskogo konnogo teatra «Zingaro») // Dom Burganova. Prostranstvo kul'tury. 2017. No 3. P. 179–196.
3. Danilova O.V. Spektakli Zingaro kak initsiatsiya s arkhaiskimi istokami bytiya // Kul'tura i iskusstvo. 2016. No 3. P. 360–372.
4. Danilova O.V. Teatral'nyi ekzistentsializm Klemana Marti (Bartabasa): vymysel ili filosofskii vzglyad sovremennogo rezhissera-postanovshchika // Filosofiya i kul'tura. 2017. No 1. P. 67–76.

5. Dolzhanskii R. Teatr nachinaetsya s manezha. <https://www.kommersant.ru/doc/1168261>. Data obrashcheniya: 17.04.2018.
6. Marmand F. Battuta. Konnyi teatr Zingaro. <http://mosday.ru/afisha/event.php?event=45726&source=3>. Data obrashcheniya: 17.04.2018.
7. Motroshilova N.V. Tsivilizatsiya i varvarstvo v epokhu global'nykh krizisov. М.: Kanon+, Reabilitatsiya, 2010. 480 p.
8. Platon. Sobranie sochinenii v 3-kh t. Т. 3 (1). М.: Mysl', 1971.
9. Udar kopytom po mirovomu khaosu // Novaya gazeta. No 42. 16.06.2003. <https://www.novayagazeta.ru/articles/2003/06/16/18236-udar-kopytom-po-mirovomu-haosu>. Data obrashcheniya: 17.04.2018.
10. Elio A. Battuta. Konnyi teatr Zingaro. <http://mosday.ru/afisha/event.php?event=45726&source=3>. Data obrashcheniya: 17.04.2018.

УДК 792.8: 621.391
ББК 32.94

Шабалин В.В.

СОВРЕМЕННЫЕ ТВОРЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЭКРАННОГО ПРОСТРАНСТВА

Шабалин Владимир Васильевич, кандидат искусствоведения
E-mail: v-shabalin@mail.ru
Аппарат Правительства Российской Федерации

Исследуются актуальные творческие подходы к организации экранного пространства кино-, телекадра, подчёркивающие монокулярный фактор как при создании стереоскопической картины пространства реальных объектов, так и при построении классической, двухмерной экранной композиции с помощью телевизионной съёмки изнутри условной полусферы события.

Ключевые слова: визуальный образ, дополненная реальность, событие, стереоизображение, телевизионный контент, экранное пространство.

Современные практики создания визуального образа события в информационном телевидении или его художественного прототипа в игровом кинематографе включают актуальные творческие подходы к организации экранного пространства как телевизионного, так и кинематографического кадра. Учитывая, что «пространство — это не среда (реальная или логическая), в которой расположены вещи, а средство, благодаря которому положение этих вещей становится возможным» [3, с. 312, 313], исследование композиционной структуры кадра выясняет определённое расположение объектов, в частности, в расстановке частей мизанкадра на «условной» плоскости,

совпадающей с поверхностью экрана. При рассмотрении стереокадра также необходимо вести речь о линии, указывающей вектор созерцательного соприкосновения зрителя с изображением.

По сути по этой прямой событие приближается к зрителю в виде выдвигающихся объектов объёмной экранной стереоскопической композиции. В контексте рассматриваемого вопроса Е. Сальникова справедливо отмечает, что «скорее цифровое изображение выйдет в пространство зрителя, нежели наоборот. Собственно, эффекты 3D подразумевают именно выход изображения в трёхмерную “нашу” среду, поскольку мы-то в электронную реальность точно не войдём» [5, с. 153]. Визуальное стремление объектов мизанкадра к реципиенту в коммуникативной ситуации, «при которой любой компонент видеоизображения эмоционально воздействует на зрителя» [1, с. 270], является основополагающим. Стереоформат сегодня не аттракцион, а скорее некий, по мнению Я. Гуляевой [1], «аттракционный эффект» при визуализации экранного пространства с присущей ему поэтической выразительностью изображения, его пластичностью, психологической направленностью сюжетной линии. Отсюда стереоэффект обрёл свойства художественного средства создания экранного пространства кино-, теле-, видеокадра, помогая весьма приближенно передавать пространственный образ объективной реальности.

Конструкт пространства в стереоформате, отличаясь от «плоского» аналога, вместе с тем имеет сходные с ним черты. Проанализируем экранные образы в картине «У самого синего моря» (режиссёр Б. Барнет, СССР, 1935) и «Марсианин» (режиссёр Р. Скотт, Великобритания, США, 2015). Борис Барнет отображает действие в чёрно-белом колористическом ключе, Ридли Скотт, напротив, преподносит в цвете красивейшие пейзажи «красной планеты». Зрительно сопоставляя песчаный пейзаж с водной гладью в этих фильмах, видим, как эмоционально передаётся в мизанкадре бушующий океан скалистой равнины, перекликающийся с морскими волнами Каспия. На примере не сложно установить практически равный зрительный эффект от применённых творческих подходов и объединяющий их фактор эмоционального воздействия на зрителя. Они могут конгруэнтно представлять объём экранного пространства. А это означает, что, например, деталь переднего плана или фоновый рисунок, находящиеся в расфокусе, дополнительно

усилят композиционный эффект глубины экранного пространства отдельно взятого стереокадра.

Монокулярный фактор учитывается не только в процессе создания стереоскопической картины пространства реальных объектов, но и в новых творческих подходах построения классической, двухмерной экранной композиции в современной визуальной культуре. Как показывает практика, телевизионная съёмка всё чаще проводится изнутри условной полусферы события. Открытия и теории известных учёных «отменили актуальность архаической модели Вселенной с Землёй, покоящейся в центре мироздания под твёрдым и надёжным куполом небес» [6, с. 41], что привело к рождению новых пространственных моделей в визуальных искусствах. Но потребность в «куполе небес» не отменилась навсегда, она возрождается, в том числе, в эстетике телевизионного материала.

Погружение телекамеры в полусферу, представляющую собой условный геометрический конструкт на поверхности павильона или съёмочной площадки вне помещения, продиктовано важностью эмоционального соучастия зрителя в происходящем явлении, пусть даже изложенном в «плоском» экранном варианте, в отличие от ощущения нахождения рядом с этим событием, отображённом в экранном пространстве объёмного стереокадра. «На исходе первого десятилетия XXI века преобразования стали явными, особенно в медийной сфере. Вызваны они внедрением информационно ком-



Рис. 1. Скриншот телевизионного кадра (камера-паук во время съёмочного процесса) из репортажа П. Краснова [2], программа «Время», Первый канал



Рис. 2. Скриншот телевизионного кадра из репортажа П. Краснова [2], программа «Время», Первый канал

муникационных технологий (ИКТ), которые формируют новую, неизвестную доселе среду», говорит С. Уразова [8, с. 179]. Среду, которую представляет хроникальная съёмка как своеобразный «способ восстановления реальности» [9, с. 140] с последующей качественно иной по стилю подачей телевизионного контента.

Сегодня практически отсутствует ограничение локации телекамеры в пространстве события. При его освещении посредством камеры-паука (от англ. Spidercam) (рис. 1) обеспечивается съёмка с заходом внутрь сферы происходящего (рис. 2), выполняющая задачу, в том числе, слежения за объектом (в случае футбольного матча за мячом как ядром события).

При просмотре трансляции зритель не только ощущает своё присутствие на матче, но и пространственную преференцию по отношению к болельщикам на стадионе. Фактически при телевизионном просмотре зритель попадает в точки наблюдения за матчем, близкие к локации игроков, что невозможно для находящихся на трибунах.

Более того, современным креативным репортёрам не чужд способ формирования экранного пространства, обеспеченный ещё одним творческим подходом — перманентным движением камеры в горизонтальной плоскости вокруг корреспондента и его собеседника (рис. 3). В этом примере телеоператором И. Бернацким выполняется визуальная фиксация внутреннего периметра сферы события. Таким образом, фоновый рисунок лежит на условной

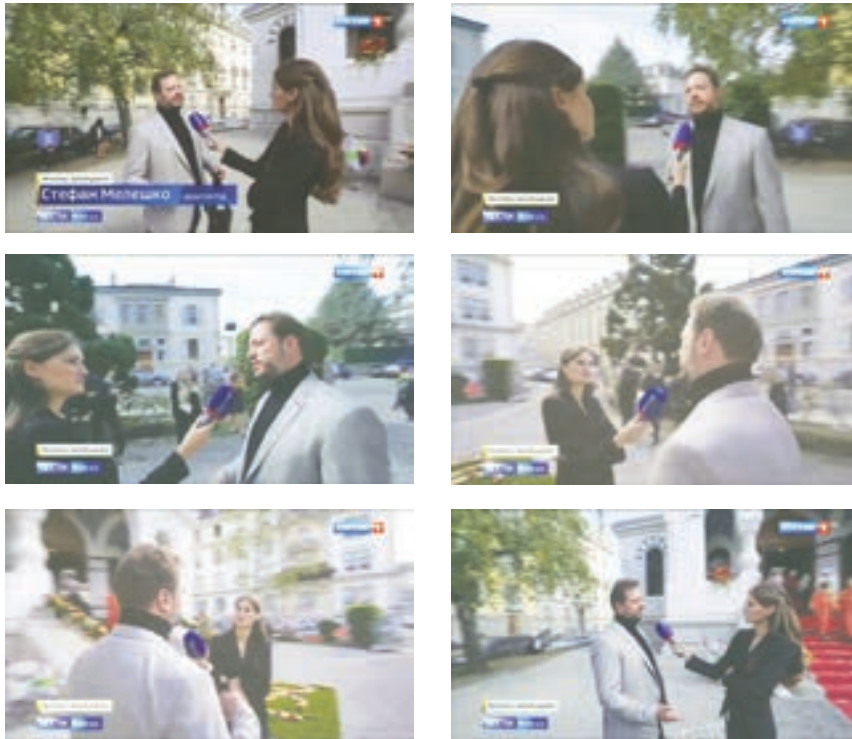


Рис. 3. Скриншоты телевизионных кадров из репортажа А. Поповой, программа «Вести в 20:00», Россия 1 HD [4]

оболочке сферического конструкта экранного пространства. При этом зритель получает от интервьюируемого, помимо вербальной информации, его эмоциональный посыл, а также обширный срез окружающего городского пейзажа, демонстрирующего местоположение события, о котором идёт речь в новостном материале.

Новые медиатехнологии позволяют индивидуально перемещать в произвольном направлении экран мобильного устройства для отображения определённой части условной сферы запечатлённого пространства окружающего мира. Так в мобильном приложении «RT 360» событие демонстрируется из его центра, предоставляя любую точку в границах сферы, сотканной компьютерным способом из нескольких изображений. Сферический условный экран «обволакивает» зрителя, создавая персональный телевизионный наблюдательный пункт. Экран, в его классическом пред-

ставлении, как бы раздвигает свои рамки, что приводит к увеличению амплитуды взгляда реципиента. Инновационный способ демонстрации образа пространства события зрителю подтверждает значимость сферического конструкта в основе как мизансцены, так и её экранного визуального эквивалента, при том, что зритель выбирает «самую привлекательную для него точку зрения в рамках одного кадра» [1, с. 271].

Вместе с тем, в экранную пространственную композицию видео формата «360» или телевизионного материала включаются синтезированные элементы в виде объектов дополнительной визуализированной информации. Наложение титров происходит таким образом, что буквы, составляющие надпись, смотрятся как находящиеся в реальном пространстве, отображаемом на экране (рис. 4). При изменении ракурса видеосъёмки очертания графических элементов, как и образов реальных объектов, трансформируются согласно правилу линейной перспективы. Они воспринимаются элементами внутренней структуры композиции кадра, задействованные в его фундаменте как объекты дополненной реальности (AR — augmented reality).

Подобное преобразование титра говорит о более высоком экранном статусе дополнительной визуализированной информации одновременно со зрительским ощущением объёмности изображаемого телекадра. То же самое применительно к графическим объектам в представленном на экранах кинозалов в 2017 году



Рис. 4. Скриншот телевизионного кадра с дополнительными визуализированными объектами, анонс программы «Итоги недели» с Ирадой Зейналовой», НТВ [7]

стереофильме «Терминатор 2: судный день» (США, Франция). В первых кадрах фильма движущаяся маска смотрится впечатляюще, поражая взгляд пластикой стереоскопической визуализации. В фильме «Первому игроку приготовиться» (США, 2018) объекты дополненной реальности вообще являются весьма значительной составляющей экранного пространства.

Современная стереоскопическая визуализация, в данном случае на примере кинокартины Спилберга, подтверждает актуальность стереотехнологий именно в кинематографе. Благодаря стереокадру на экране натуралистично представляется фактура объектов, естественным воспринимается свет в мизансцене [10]. В то же время художественная изысканность изображения может отвлекать от информационной картины события в телетрансляции. Если кинокадр, раскрывающий характер героя (футболиста) или всего события (матча), может обходиться без мяча в кадре, то кратковременное его отсутствие создаст напряжённость при просмотре игры. Для телезрителя важнее быть сопричастным изнутри к происходящему на экране, т. е. психологически находиться в гуще события. Поэтому при выборе выразительного средства преподнесения новостей на передний план выходит «где», а не «как». Таким образом, спайдеркам и видео 360 создают перцептивное (чувственное) погружение в пространство события, подчёркивая документализм телевизионного кадра, его правдивость.

ВЫВОДЫ

При всех затруднениях производства и нюансах в процессе восприятия, стереоконтент занимает, бесспорно, свою нишу в кинопрокате. Наравне с ним двухмерные изображения предоставляются на экране в устраивающей реципиента форме подачи. На этапе подготовительного периода необходим отбор творческих приёмов, с учётом их визуальной и содержательной приемлемости в стереоскопическом и двухмерном формате, в зависимости от применения в той или иной современной визуальной сфере. Вместе с тем, рассмотренные способы визуализации экранного пространства могут использоваться одновременно. Движение в этом направлении определённо имеет перспективу развития как коллаборация различных творческо-технических методов создания высококачественного кино-, теле- и видеоконтента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуляева Я.В. Аттракцион и аттракционный эффект видео виртуальной реальности // Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других областях: IX Международная научно-практическая конференция, Москва, 17–18 апреля 2017 г.: Материалы и доклады / под общей редакцией О.Н. Раева. М.: ВГИК, 2017. С. 268–274.

2. Краснов П. Главным событием года назвали болельщики матч Россия — Аргентина на обновлённом стадионе «Лужники»: телевизионный репортаж. https://www.1tv.ru/news/2017-11-11/336035-glavnym_sobytiem_goda_nazvali_bolelschiki_match_rossiya_argentina_na_obnovlennom_stadione_luzhniki. Дата обращения: 28.02.2018.

3. Мерло-Понти М. Феноменология восприятия. СПб.: Ювента, Наука, 1999. 605 с.

4. Попова А. Телевизионный репортаж: телевизионный эфир. https://russia.tv/video/show/brand_id/58500/episode_id/1549613/video_id/1681769/. Дата обращения: 01.10.2017.

5. Сальникова Е.В. Визуальная культура в медиасреде. Современные тенденции и исторические экскурсы. М.: Прогресс-Традиция, 2017. 552 с.

6. Сальникова Е.В. Эпоха диагоналей. Романтические высоты английского театра // Высокое и низкое в художественной культуре: сборник. В 3 т. : сборник. Т. 1. СПб.: Нестор-История, 2011. С. 41–67.

7. Телеанонс программы «Итоги недели» с Ирадой Зейналовой»: телевизионный материал. <http://www.ntv.ru/video/1555441/>. Дата обращения: 02.05.2018.

8. Уразова С.Л. Экранная культура в XXI веке. М.: ФГОУ ДПО ИПК работников телевидения и радиовещания, 2010. 480 с.

9. Хренов Н.А. Творчество А. Тарковского в контексте переходных процессов Культуры второй половины XX века // Русская художественная культура: Контуры духовного опыта. – СПб.: Алетейя, 2004. С. 122–163.

10. Шабалин В.В. Визуализация объёма пространства в телевизионном изображении новостного материала // Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других областях: VIII Международная научно-практическая конференция,

Москва, 25–26 апреля 2016 г.: Материалы и доклады / под общей редакцией О.Н. Раева. М.: ВГИК, 2016. С. 245–252.

Vladimir V. Shabalin

MODERN CREATIVE APPROACHES TO SCREEN SPACE VISUALIZATION

Vladimir V. Shabalin, PhD (Art Criticism)

E-mail: v-shabalin@mail.ru

Government of Russian Federation

The article investigates relevant creative approaches to the organization of the screen space of film- and TV shots, emphasizing the monocular factor in both the creation of the 3D picture of real objects and the construction of a classical 2D screen composition by means of television shooting from within an event's conditional hemisphere.

Key words: augmented reality, event, screen space, stereo image, television content, visual image.

REFERENCES

1. Gulyaeva Ya.V. Attraktsion i attraktsionnyi effekt video virtual'noi real'nosti // Zapis' i vosproizvedenie ob''emnykh izobrazhenii v kinematografe i drugikh oblastiakh: IX Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, Moskva, 17–18 aprelya 2017 g.: Materialy i doklady / pod obshchei redaktsiei O.N. Raeva. M.: VGIK, 2017. P. 268–274.

2. Krasnov P. Glavnym sobytiem goda nazvali bolel'shchiki match Rossiya — Argentina na obnovlennom stadione «Luzhniki»: televizionnyi reportazh. https://www.1tv.ru/news/2017-11-11/336035-glavnym_sobytiem_goda_nazvali_bolelschiki_match_rossiya_argentina_na_obnovlennom_stadione_luzhniki. Data obrashcheniya: 28.02.2018.

3. Merlo-Ponti M. Fenomenologiya vospriyatya. SPb.: Yuventa, Nauka, 1999. 605 p.

4. Popova A. Televizionnyi reportazh: televizionnyi efir. https://russia.tv/video/show/brand_id/58500/episode_id/1549613/video_id/1681769/. Data obrashcheniya: 01.10.2017.

5. Sal'nikova E.V. Vizual'naya kul'tura v mediasrede. Sovremennye tendentsii i istoricheskie ekskursy. M.: Progress-Traditsiya, 2017. 552 p.

6. Sal'nikova E.V. Epokha diagonalei. Romanticheskie vysoty angliiskogo teatra // Vysokoe i nizkoe v khudozhestvennoi kul'ture: sbornik. V 3 t. : sbornik. Vol. 1. SPb.: Nestor-Istoriya, 2011. P. 41–67.

7. Teleanons programmy «Itogi nedeli» s Iradoi Zeinalovoi»: televizionnyi material. <http://www.ntv.ru/video/1555441/>. Data obrashcheniya: 02.05.2018.

8. Urazova S.L. Ekrannaya kul'tura v KhKhI veke. M.: FGOU DPO IPK rabotnikov televideniya i radioveshchaniya, 2010. 480 p.

9. Khrenov N.A. Tvorchestvo A. Tarkovskogo v kontekste perekhodnykh protsessov Kul'tury vtoroi poloviny KhKh veka // Russkaya khudozhestvennaya kul'tura: Kontury dukhovnogo opyta. — SPb.: Aleteiya, 2004. P. 122–163.

10. Shabalin V.V. Vizualizatsiya ob''ema prostranstva v televizionnom izobrazhenii novostnogo materiala // Zapis' i vosproizvedenie ob''emnykh izobrazhenii v kinematografe i drugikh oblastiakh: VIII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, Moskva, 25–26 aprelya 2016 g.: Materialy i doklady / pod obshchei redaktsiei O.N. Raeva. M.: VGIK, 2016. P. 245–252.

УДК 778.534.19
ББК 37.95

Нагаева О.В.

СПЕЦИФИКА СОЗДАНИЯ СЦЕНАРИЕВ ДЛЯ СТЕРЕОКИНО

Нагаева Ольга Васильевна
E-mail: onagayeva@list.ru
Всероссийский государственный институт кинематографии
им. С.А. Герасимова

Статья посвящена особенностям драматургии стереоскопического кинематографа и техническим нюансам создания сценариев для фильмов и анимации в стереоформате. Проведено сравнение нескольких сценариев для стереофильмов и фильмов обычного формата.

Ключевые слова: стереоскопический кинематограф, сценарий, драматургия, стереосценарист, стереогеничность, жанр.

Актуальность темы подтверждает статистика — сейчас каждый второй блокбастер в мире выходит в прокат с версией в стереоформате [3]. Но практика производства таких картин, как в нашем кинематографе, так и за рубежом, показывает, что успех или неуспех «фильмов-раскладушек» зависит от правильного учёта специфики стереоизображений. Возникает вопрос, возможно ли при такой популярности объёмного видео обычному драматургу стать стереосценаристом? В настоящее время понятие «стереосценарист» не введено в широкую кинематографическую практику, термин «стереосценарист» не используется.

Сформулируем основные вопросы:

— Существуют ли принципиальные отличия сценариев для стереокино от традиционных?

— Что такое «стереогеничность», и зачем о ней нужно знать сценаристу?

— Каковы жанровые аспекты стереокино?

Выбор сценария для фильмов новых форматов — очень важный вопрос, это «фундамент» любого кинопроекта. Умело созданная во многих эпизодах демонстрация аттракционов убеждает, что введение стереоскопического метода показа требует новой формы сценария. Многие кинематографисты уверены — форма аттракционного зрелища — единственно приемлемая, ибо именно она вызывает немедленную восторженную реакцию зрителей. Для этого подбираются наиболее выгодные и удобные объекты для эффектной демонстрации преимуществ объёмного изображения. Но разве задача искусства — это демонстрация технических средств? Неужели в самом сценарии для стереокино уже априори заложен акцент на его аттракционную сущность? Однозначного ответа на этот вопрос нет! Легко попасть в жанровую «ловушку» стереокино.

Если взять за основу понятие «аттракцион» в трактовке С. Эйзенштейна [18], т. е. экшн-основу любого фильма — сцены с активными действиями, вовлечённость и интерес зрителя, то, на первый взгляд, можно легко определить жанры, подходящие и не подходящие для стереокино.

Менее подходящие (вязкое повествование, плавное развитие событий): детектив, драма, исторический, комедия, мелодрама.

Более подходящие (быстрое развитие событий, активные действия, необычная атмосфера, придуманные миры): приключения, триллер, ужасы, фантастика, боевик, вестерн.

Ловушка в таком выборе заключается в том, что зачастую, чтобы показать объёмность сцен, снятых в стереоформате, нужны длинные, протяжённые, медленные, а иногда и панорамные планы. Отсюда следует вывод — стереоформат может быть применим для всех жанров в кино без исключения.

Благодаря стерео зритель может ощутить себя частью предлагаемого на экране мира. Стерео даёт возможность погрузиться в это «другое» пространство, создать эффект присутствия. За счёт чего это происходит? За счёт так называемой стереогеничности

пространства и предметов. Этим понятием создатели фильмов оперируют, отбирая сюжеты, объекты и фактуры по принципу их выразительности в стереокино. Это понятие подобно «фотогеничности», которую привнёс в кинематограф Луи Деллюк [5, с. 120]. Режиссёр Жан Эпштейн дал следующее определение фотогеничности: «Я буду называть фотогеничным любой аспект вещей, существ и душ, который умножает своё моральное качество за счёт кинематографического воспроизведения».

Моё определение: стереогеничность — это особая степень выразительности сюжета, темы, пространства, объектов и фактуры в объёмных изображениях в кинематографе, которые, могут проникнуть в «окно» экрана — зальное пространство зрителя и обладают «глубиной» расслаивания кадра.

Если взять за основу это определение, то можно предположить, что стереогеничность бывает нескольких видов:

- жанровая (фэнтези, приключения);
- тематическая (лес, подводный мир);
- пространственная (захламлённая квартира, медицинская палата с аппаратами, трубками);
- предметная (падающие снежинки, летающие стрелы, ветки деревьев);
- сюжетная (36 ситуаций по Жоржу Польти: мольба, спасение, месть, преследующая преступление, месть близкому за близкого, преследуемый, внезапное несчастье, похищение, загадка и т. д.) [17].

Тогда возникает вопрос: как правильно пишутся и оформляются сценарии для стереофильмов? Удивительно, но этой теме практически не уделено внимания, но ведь «Аватар» — самый кассовый фильм всех времён и народов — был снят именно в стереоформате. Помимо финансового успеха, эта картина служит прекрасным примером концепции истории, центрального персонажа, структуры сюжета, эволюции героев, темы и описания сцен. Вероятно, он поможет понять, почему именно этот сценарий в стереоисполнении оказался таким успешным [16, с. 234]. Но кто знает, возможно, «Аватар» был бы успешен и без «объёма»? Конечно, многие ответят, что в фильмах с хорошим потенциалом должны коррелироваться оба фактора: интересный драматургический материал и выразительный фактурно-изобразительный ряд для стерео. Но это лишь теория...

Сравним сценарии двух коммерчески успешных блокбастеров «Аватара» и «Титаника», их стереогеничных сцен. Почему их? Потому что сценарии к обоим фильмам писал Джеймс Кэмерон. Один фильм он создавал изначально в обычном формате («Титаник»), другой был задуман и снят в стереоформате («Аватар»).

Начнём с «Аватара». Сразу отметим превосходный сценарий с классической трёхактной структурой. В каждом из актов у героя есть зримая внешняя мотивация. Каждая сцена, событие и персонаж приближают его к цели — спасти народ На`ви. Есть внешний и внутренний конфликт, сильный антагонист в лице полковника Майлза Куоритча и, наконец, красивая история любви с представительницей другой расы Нейтири. При этом в фильме постоянно что-то летит, стреляет, истекает кровью, падает со скалы, и среди всего этого видна человеческая история главного героя Джейка Салли.

Приведём в русском переводе 47 сцену из сценария «Аватара» [12].

«Сцена 47 (Нарезка сцен полёта)

ИНТ./НАТ. Грот/Монс Веритатис, день.

Нейтири сидит на корточках рядом с Джейком, жестами объясняя ему технику полёта, словно один боевой пилот другому.

Вид сверху вдоль отвесной скалы. Джейк и Нейтири пускают своих банши вертикально вниз, мимо камеры. Выходят из пикирования и выполняют серию трюков воздушной акробатики.

ДЖЕЙК

(ЗГ)

“Никогда не летал верхом, но, похоже, это у меня в крови”.

Джейк и Нейтири летят вместе с Цу`Тэем и молодыми охотниками — 5 банши разрезают крыльями туман.

Джейк поднимает голову и видит леоноптерикса, со свистом пикирующего на него. Похожий на банши, но в несколько раз больше размером, король всех воздушных хищников — Большой Леоноптерикс. Раскрас, состоящий из алых, жёлтых и чёрных полос, гребни тёмно-голубого цвета на голове — он одновременно великолепен и ужасен.

ДЖЕЙК (душераздирающе)

“Вниз!”

Охотник стал добычей. Джейк резко уклоняется, огромная ужасная пасть леоноптерикса защёлкивается в пустоте. Джейк устремляется вниз, под защиту леса. Он ныряет в темноту, когда — хрясь! — леоноптерикс прорывается сквозь листья, продолжая преследовать его с бешеной скоростью. Оба несутся как ракеты.

Джейк (Нейтири)
“Давай за мной!”

Джейк совершает очень резкий поворот, врывается в скопление стволов, прямо в брешь между двумя большими ветками.

Леоноптерикс, с шумом хлопая крыльями, вынужден прекратить погоню. Издавая крик, он делает вираж назад и в бессильной ярости улетает прочь. Два мощных взмаха крыльями, и он уже над лесным покровом.»

Фильм «Аватар», как кинематографическая шкатулка, написанная стереогеничностью. Она прослеживается во всём — в придуманном мире, в сказочных персонажах, в полётах. Стереогеничность или крепкий драматургический материал помог собрать «Аватару» более 2 млрд долларов в прокате?

Отметим, что очевидной разницы в сценарной записи не прослеживается.

Не менее стереогеничен и «Титаник» — фильм, который был выдвинут на соискание кинопремии «Оскар» в 14 номинациях, в результате получил 11 из них.

Примечательно, что в 2012 году картина всё-таки вышла на экраны объёмной, но изначально в 1997 году фильм создавался в обычном формате. Вот одна из первых сцен:

«Сцена 1.

В свете субмарин становится различим невыразительный серый ил, покрывающий дно. Бодин смотрит на дисплей гидролокатора, где видны очертания огромного объекта. Анатолий управляет субмариной, лёжа ничком. Его лицо прижато к центральному порту.

БОДИН:

Немного левее. Он прямо
напротив нас,
в 18 метрах. 15. 13...
сейчас ты его увидишь.

АНАТОЛИЙ:

Ты его видишь?

Я не вижу... а, вот!

Из темноты подобно призрачному видению появляется нос корабля. Его остриё надвигается прямо на нас; кажется, он, как и дно, изборождён осадочной породой. Корабль возвышается над морским дном, сохранившись точно в таком положении, как опустился 84 года назад «Титаник». Или то, что от него осталось. «Мир-1» поднимается и проплывает над перилами носа, невредимыми за исключением каменных наростов, задрапировавших их подобно мутировавшему испанскому лишайнику. (Ужать: изображение на мониторе портативной видеокамеры. Лицо Брока Лавита заполняет чёрно-белый экран.»

Есть ли принципиальные отличия записи, ремарки, сноски, уточнения для стереоформата? Нет.

Проанализируем ещё несколько сценариев для «объёмных» картин отечественного производства. Вот короткая специфическая сцена из российского фильма с говорящим названием «Самый лучший фильм 3D». Стереосцена чуть ли не единственная во всём фильме. В сценарии она отмечена красным цветом:

«НОВЫЙ ГЭГ ДЛЯ 3D

В этот момент мальчик, играющий в парке, сильно пинает мяч и он выкатывается в зрительный зал.

МАЛЬЧИК

Дядь, подайте мячик!

Макс встаёт и идёт к мячу. Пытается дотянуться до него, то рукой, то подцепить ногой, но мяч далеко.

МАКС

Долбаный 3D! Пацан,

иди сам доставай! Некогда!

Возвращается и садится на лавочку.»

Концептуально, эта сцена нарочито оригинальнее всех остальных. Это скорее исключение. Но даже при таком исключении принципиальных отличий в записи не видно.

Обратимся к анимации. «Чучело» — первый в мире экспериментальный стереоскопический кукольный фильм, переведённый из цифрового формата на киноплёнку в формате IMAX 3D в 2007 году совместно НИКФИ и студией «NUKUFILM» (Эстония) по технологии, разработанной А. Мелкумовым и С. Рожковым [13].

Вот отрывок из сценария:

«...Высокое дерево, это об него ударились Курица. Но странно, что под деревом её нет. Она сидит высоко на ветке, судорожно вцепившись в неё, дрожит, боится открыть глаза, клюв на клюв не попадает...

Потом вдруг слышит, что её зовут.

Курица открывает глаза, улыбается.

Малыш бежит от одного дерева к другому, в страхе оглядывается назад и налетает на дерево, как раз на то дерево, на суку которого сидит Курица, от такого толчка Курица теряет равновесие и падает вниз. Бах!»

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализируя приведённые сценарные записи, можно отметить, что принципиальной разницы между ними нет. Сценарии для обычных фильмов пишутся точно так же. Поэтому нет необходимости «изобретать» новую профессию стереосценариста. Для работы над сценарием стереофильма современным драматургам скорее надо учитывать особенности технологии стереофильмов в области идеи, героев, жанров фильма.

Конечно, сейчас в мировом кинопроизводстве существует большое количество различных методик создания сценариев. Например, у нас в России в напряжённой конкуренции существуют две школы — отечественная и американская. Но если все методики предельно упростить, то всё сведётся к четырём основным пунктам [10, с 230]:

1. Художественный замысел или идея. Определение жанра истории.
2. Главный герой, его цель и основной конфликт.
3. Развитие событий, драматические ситуации, перипетии, развязка.
4. Проработка сцен: диалоги, детали, «фишки».

Так на каком из этих этапов нужно учитывать специфику стереосценария? Анализируя выше сказанное, конечно, на первом этапе с анализом темы на стереогеничность и, пожалуй, на четвёртом, как некая дополнительная техническая опция, над которой работают режиссёр, художник-постановщик и оператор без участия самого сценариста.

Сегодня стереокино — это создание невероятных визуальных эффектов, эмоционально воздействующих на зрителя. Конечно, сказочные джунгли Пандоры или морские просторы «Титаника» становятся для нас более осязаемыми, почти настоящими. Но вопрос остаётся открытым, был бы «Аватар» менее успешен, если бы был снят в обычном формате? Ответ, скорее, отрицательный. Ведь крепкая драматургия решает всё, а стереоформат лишь как вишенка на и без того вкусном торте.

Во время подготовки статьи выяснилось, что стереоформат приемлют и уважают далеко не все. Многие жалуются, что он и вовсе может отвлечь от основной драматургической линии повествования. Но это уже тема для следующего исследования...

ЛИТЕРАТУРА

1. Арабов Ю.Н. Кинематограф и теория восприятия: Учебное пособие. М.: ВГИК, 2003.
2. Дауров И.Г. Изобразительно-выразительные средства 3D-кино // Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других областях: V Международно-техническая конференция, Москва, 18–19 апреля 2013 г.: Материалы и доклады / под общей редакцией О.Н. Раева. М.: МКБК, 2013. С. 237–254.
3. Зайцев П. 3D-кино: Всё, что нужно знать // Мир фантастики и фэнтези. 2010. № 88. <http://old.mirf.ru/Articles/print4396.html>. Дата обращения: 15.04.2018.
4. Макки Р. История на миллион долларов: Мастер-класс для сценаристов, писателей и не только. М.: Альпина нон-фикшн, 2008.
5. Мелкумов А.С. Стереоскопический кинематограф: учебное пособие. М.: ВГИК, 2013.
6. Митта А.Н. Кино между адом и раем. М.: Подкова, 1999.
7. Михальченко С.А. Азбука киносценария. Пособие для будущего драматурга. М.: ВГИК, 2002.
8. Орлов П. Титаник: Как это снято. <https://tvkinoradio.ru/article/article12502-kak-eto-snyato-titanik>. Дата обращения: 12.04.2018.
9. Раев О.Н. Глубина пространства в кинофильме // Инновационные технологии в кинематографе и образовании: II Международная научно-практическая конференция, Москва, 21–25 сентября 2015 г.: Материалы и доклады / под общей редакцией О.Н. Раева. М.: ВГИК, 2015. С. 30–45.

10. Соловьёва М.В. Особенности драматургии в стереокино // Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других областях: VIII Международная научно-практическая конференция, Москва, 25–26 апреля 2016 г.: Материалы и доклады / под общей редакцией О.Н. Раева. М.: ВГИК, 2016. С. 228–235.
11. Стереоскоп // Большая советская энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 1976. Том 24. Книга 1. С. 495. Ст. 1471.
12. Сценарий «Аватар» / пер. А. Беляев. <https://Denisorlovmusic.ru/screenplay/avatar.htm>. Дата обращения: 08.04.2019.
13. Сценарий «Чучело». <http://cinemafirst.ru/чучело-2007/>. Дата обращения: 08.04.2019.
14. Тарковский А. Запечатлённое время. М.: Подкова, 2001.
15. Филд С. Киносценарий: основы написания. М.: Эксмо-Пресс, 2016.
16. Хейг М. Анализ Аватара. Голливудский стандарт: Как написать сценарий для кино и ТВ, который купят. М.: Альпина нон-фикшн, 2017.
17. Эйзенштейн С.М. Драматургия киноформы // Эйзенштейн С.М. Монтаж. М.: Музей кино, 2000.
18. Эйзенштейн С.М. О стереокино / Собр. соч. Т. 3. М.: Искусство, 1964.
19. Georges Polti G. The Thirty-Six Dramatic Situations. France, 1920.

Olga V. Nagayeva

SPECIFIC FEATURES OF WRITING SCRIPTS FOR STEREO CINEMA

Olga V. Nagayeva
 E-mail: onagayeva@list.ru
 Russian Federation State Institute of Cinematography
 named after S.A. Gerasimov

The article is devoted to the dramatic peculiarities and technical nuances of writing scripts for stereo animation and live action movies as exemplified by comparing several scripts for 3D and 2D films.

Key words: stereoscopic cinema, screenwriting, script, dramatic device, stereo scriptwriter, stereogenicity, genre.

REFERENCES

1. Arabov Yu.N. Kinematograf i teoriya vospriyatiya: Uchebnoe posobie. M.: VGIK, 2003.
2. Daurov I.G. Izobrazitel'no-vyrazitel'nye sredstva 3D-kino // Zapis' i vosproizvedenie ob'emykh izobrazhenii v kinematografe i drugikh oblastiakh: V Mezhdunarodno-tekhnicheskaya konferentsiya, Moskva, 18–19 aprelya 2013 g.: Materialy i doklady / pod lyushchei redaktsiei O.N. Raeva. M.: MKBK, 2013. S. 237–254.
3. Zaitsev P. 3D-kino: Vse, chto nuzhno znat' // Mir fantastiki i fentazi. 2010. № 88. <http://old.mirf.ru/Articles/print4396.html>. Дата obrashcheniya: 15.04.2018.
4. Makki R. Istoriya na million dollarov: Master-klass dlya stsensaristov, pisatelei i ne tol'ko. M.: Al'pina non-fikshn, 2008.
5. Melkumov A.S. Stereoskopicheskiy kinematograf: uchebnoe posobie. M.: VGIK, 2013.
6. Mitta A.N. Kino mezhdum adom i raem. M.: Podkova, 1999.
7. Mikhal'chenko S.A. Azbuka kinostsenariya. Posobie dlya budushchego dramaturga. M.: VGIK, 2002.
8. Orlov P. Titanik: Kak eto snyato. <https://tvkinoradio.ru/article/article12502-kak-eto-snyato-titanik>. Дата obrashcheniya: 12.04.2018.
9. Raev O.N. Glubina prostranstva v kinofil'me // Innovatsionnyye tekhnologii v kinematografe i obrazovanii: II Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, Moskva, 21–25 sentyabrya 2015 g.: Materialy i doklady / pod obshchei redaktsiei O.N. Raeva. M.: VGIK, 2015. S. 30–45.
10. Solov'eva M.V. Osobennosti dramaturgii v stereokino // Zapis' i vosproizvedenie ob'emykh izobrazhenii v kinematografe i drugikh oblastiakh: VIII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, Moskva, 25–26 aprelya 2016 g.: Materialy i doklady / pod obshchei redaktsiei O.N. Raeva. M.: VGIK, 2016. S. 228–235.
11. Stereo // Bol'shaya sovetskaya entsiklopediya. M.: Sovetskaya entsiklopediya, 1976. Vol. 24. Kniga 1. P. 495. St. 1471.
12. Stsenarii «Avatar» / per. A. Belyaev. <https://Denisorlovmusic.ru/screenplay/avatar.htm>. Дата obrashcheniya: 08.04.2019.
13. Stsenarii «Chuchelo». <http://cinemafirst.ru/chuchelo-2007/>. Дата obrashcheniya: 08.04.2019.
14. Tarkovskiy A. Zapечатlennoe vremya. M.: Podkova, 2001.

15. Fild S. Kinostsenarii: osnovy napisaniya. M.: EksmoPress, 2016.
16. Kheig M. Analiz Avatara. Gollivudskii standart: Kak napisat' stsenarii dlya kino i TV, kotoryi kupyat. M.: Al'pina non-fikshn, 2017.
17. Eizenshtein S.M. Dramaturgiya kinoformy // Eizenshtein S.M. Montazh. M.: Muzei kino, 2000.
18. Eizenshtein S.M. O stereokino / Sobr. soch. Vol. 3. M.: Iskusstvo, 1964.
19. Georges Polti G. The Thirty-Six Dramatic Situations. France, 1920.

УДК: 778.6.01(014)

ББК: 85.374

Ермакова Е.Ю.

ИНТЕРАКТИВНОСТЬ ТРЕТЬЕГО ИЗМЕРЕНИЯ В КИНЕМАТОГРАФЕ КАК ЭЛЕМЕНТ РЕЖИССУРЫ

Ермакова Елена Юрьевна, кандидат искусствоведения

E-mail: krissssss7262@gmail.com

Московский государственный психолого-педагогический университет

Выполнен анализ взаимоотношения зрителей и киноизображения, с акцентом на эмоциональном восприятии кинозрелища, на возможности общения с ним. Режиссура в данном случае понимается как эмоциональный каркас фильма. Рассмотрены варианты такой интерактивности на примере кинофильмов «Аватар» режиссёра Джеймса Кэмерона и «Алиса в Стране чудес» режиссёра Тима Бёртона, где кинозрелище становится близким и сопереживаемым только в том случае, если спецэффекты вплетаются в драматургию фильма.

Приведён наглядный пример первой в истории кинематографа успешной реализации возможности общения зрителей и самого режиссёра с изображением — с анимационным персонажем динозавром Герти в анимационном фильме Уинзора Маккея.

Отмечено, что освоение стереоскопического пространства киноизображения проявилось как яркий режиссёрский приём в фильме Фридриха Мурнау «Фауст» (1926). В 2000 году в сферическом кинотеатре IMAX Лас-Вегасе (США) стереоскопическая анимационная вселенная была представлена как «опасный» трюк с использованием шлемов виртуальной реальности. Атракционы «King Kong 360 3D» и «The Simpsons Ride» в

Лос-Анджелесе на Universal Studios Hollywood, связанные с виртуальными путешествиями в мир Кинг-Конга и динозавров, усовершенствовали эту развлекательную функцию стереоскопического изображения. Но с выходом в прокат документальных лент «Пина. Танец страсти 3D» режиссёра Вима Вендерса и «Пещера забытых снов» Вернера Херцога началось новое режиссёрское освоение возможностей стереоизображения в кинематографе.

Актуальность изучения взаимодействия зрителей со стереоизображением подтверждается и такими современными разработками, как «псевдоголография» и «виртуальная реальность в формате VR-360».

Ключевые слова: стереоскопическое изображение, режиссура, киноизображение, интерактивность.

Это такая форма чистого творчества, когда вы полностью контролируете элементы создаваемого мира — по собственному желанию вы можете перемещать деревья, горы, небо или изменять время суток.

Джеймс Кэмерон

(О съёмках фильма «Аватар»).

Джеймс Кэмерон жил фильмом «Аватар» 13 лет. В 1995 году он начал писать сценарий. Перед глазами уже был удивительный мир планеты Пандора, но Кэмерон понимал, что пока не существует кинотехнологии, которая сможет воплотить его мечты на экране. И он ждал...

А в это время его предыдущий фильм «Титаник» (1997) удерживал первенство в прокате, собрал за первый год проката более 1,8 миллиардов долларов.

Почему зрителей так восхитил фильм «Титаник»? Подавляющее большинство зрителей хорошо знало трагическую историю этого корабля. Но им обещали невиданное зрелище, которое готовилось много лет и стоило 200 миллионов долларов. Джеймс Кэмерон для съёмок фильма погружался в батискафе на палубу реального «Титаника». Для этого он зафрахтовал крупнейший в мире исследовательский центр на плаву — российский корабль «Академик Мстислав Келдыш». Всего было 12 погружений. Кэмерон провёл на «Титанике» более 120 часов — больше, чем его реальные выжившие пассажиры. Режиссёр, по сути дела, предложил

зрителям почувствовать себя виртуальными пассажирами «Титаника», стать очевидцами давно произошедшего события.

«По-настоящему я постиг катастрофу лишь при втором погружении... Я буквально видел капитана Смита, прощавшегося с командой, а волна уже накрывала капитанский мостик... Когда я вернулся на «Келдыш», чувства переполняли меня. Я досконально изучил все нюансы катастрофы, а сейчас побывал на борту, и эмоции буквально обрушились на меня. Я рыдал при мысли о невинных жертвах. В ту ночь я понял, что фильм обречён на провал, если мне не удастся донести до зрителя пережитое мной» [12, с. IX].

Не случайно в 2012 году в Лос-Анджелесе в связи со столетием легендарного крушения состоялась повторная премьера фильма «Титаник», но уже в формате IMAX 3D. Кэмерон дождался того момента, когда зрители, пусть только иллюзорно, смогли «войти» в плоскость экрана и ощутить пространство происходящего.

«Аватар» обогнал своего предшественника по кассовым сборам и стал первым фильмом в истории кинематографа, который заработал в прокате около 3 миллиардов долларов. Он получил три «Оскара»: «Лучшая операторская работа», «Лучшие визуальные эффекты» и «Лучшая работа художника-постановщика». А ещё с этим фильмом связаны так называемая цифровая революция в кинематографе и полная победа цифрового стереоскопического киноизображения.

Кэмерон не просто ждал «Аватара» 13 лет — он готовил невиданное до того времени кинозрелище, которое позволит зрителям погрузиться в третье измерение киноизображения, ощутить его объём, увидеть созданный режиссёром мир вокруг себя, который на 60% состоит из компьютерных элементов. Для этого Джеймс Кэмерон и Винс Пейс разработали цифровую систему 3D Fusion Camera System, которая при съёмке увеличивает частоту кадров для получения более чёткого изображения [1]. И тогда нереальные, анимированные элементы становились реальными, знакомыми зрителям. Создавая свою Пандору и её синих жителей На'ви, Кэмерон хотел, чтобы зрители смогли взаимодействовать с ними, «потрогать» созданный мир, который окружал их и был «осязаем» на расстоянии вытянутой руки. Осуществлялась некая интерактивность, взаимодействие зрителя с изображением. И не случайно этот фильм снимался не в простом формате стереоскопического кино, а

по технологии IMAX 3D. Премьера «Аватара» по всему миру прошла в 261 кинотеатре IMAX, а корейское подразделение компании 20th Century Fox выпустило 4D-версию фильма, которая включала в себя двигающиеся кресла, запахи, брызги воды и дуновение ветра. Доход от продажи билетов в кинотеатрах IMAX составил около 228 миллионов долларов, более чем в два раза превысив сборы предыдущего стереоскопического рекордсмена — «Transformers: Revenge of the Fallen» («Трансформеры: Месть падших», режиссёр Майкл Бэй, 2009 г.).

Все эти технические достижения можно было бы отнести к категории «удивительных» трюков стереоскопии, если бы не один важный момент. Кинозрелище во всех этих случаях становилось близким и сопереживаемым только в том случае, если спецэффект вплетался в драматургию фильма, т. е. эмоциональная составляющая виртуального пространства экрана была рассчитана не только на удивление, испуг, неожиданный восторг или физиологическое желание прикоснуться к персонажам фильма, но и на то, чтобы затронуть эмоции зрителей неожиданной формой рассказа истории, заставляя сопереживать героям.

Так произошло с фильмом «Алиса в стране чудес» режиссёра Тима Бёртона. Этому фильму не повезло во всех отношениях. Он вышел в 2010 году, сразу после «Аватара», но своей стереоскопической зрелищностью не мог с ним соперничать. Фильм из экономических соображений снимали в обычном формате с последующей конвертацией в стереоформат. Исключение составляли дополнительно снятые сцены и доработки изображения для версии IMAX 3D [6], самым зрелищным из которых стал Чеширский Кот, вываливающийся из экрана прямо на зрителей.

И всё-таки Тиму Бёртону удалось совершить небольшую революцию в современном киноязыке: сделать стереоскопический трюк смысловым и художественным приёмом. Он зрелищно, на уровне киноизображения, разделил реальный и нереальный миры. Нарочито деформированный объёмный реальный мир, где нарушаются все каноны «классической» стереоскопической эстетики, не просто плох — он отвратителен, уродлив по сравнению с сумасшедшим, алогичным, но милым, «мультикшным» миром кроличьей норы. Другими словами, реальный мир, часто снимаемый крупными планами в странных ракурсах, стал более неправдоподобным

для зрителей, чем театральный, декоративный мир Алисы. Таким образом, стереоэффект у Бёртона читается как семантическая единица киноязыка или кинообразности [5, с. 24].

Фильм «Алиса в стране чудес» стал первым фильмом, где средствами современного стереоскопического кинематографа режиссёр показал своё отношение к происходящему на экране, т. е. от эффектного трюка режиссёр перешёл к осмыслению драматургии стереоскопического кинематографа. К сожалению, на тот момент результатом восприятия такого подхода к стереоизображению стало лишь то, что Чеширский Кот приводил в восторг, а деформированный мир английских снобов воспринимался большинством как ошибка режиссёра. Почему? Да потому что зритель с изображением Кота мог общаться, буквально протянув руку и попытавшись потрогать «пушистую» иллюзию, а с деформированным реальным миром — нет.

Заглянем в историю кинематографа и вспомним наглядный пример успешного общения зрителей с изображением — один из первых мультипликационных опытов американского карикатуриста и аниматора Уинзора Маккея с его анимационным персонажем — динозавром Герти. Исследователь анимации Пол Уэллс отмечал, что «в образе Герти впервые проявилась эмоциональность, и зрители могли ощущать сопричастность происходящему на экране» [14].

В 1914 году Маккей решил сам пообщаться в качестве режиссёра и своеобразного зрителя с созданным им изображением на экране. Это было что-то среднее между кинофильмом и театральной постановкой. Премьера состоялась в чикагском театре «Палас». Реальный Маккей стоял около экрана и как укротитель подавал команды своему анимационному творению — Герти. Динозавр выполнял все его приказания: поднимал поочерёдно лапы и проглатывал протянутую тыкву. В конце выступления Маккей прятался за экран, на котором появлялся его экранный образ.

Свою Герти Маккей создал специально для интерактивного общения со зрителями. А себе отвёл роль скромного посредника. Фильму удалось войти в историю кинематографа как успешный визуальный сценический эксперимент. Фильм интересен и как режиссёрская работа. В 2004 году компания Milestone Film & Video отреставрировала фильм и вместе с другими работами Уинзора Маккея выпустила его в прокат на DVD.

Стереоскопическое пространство киноизображения как режиссёрский приём осваивалось и в самом зрелищном фильме Фридриха Мурнау «Фауст» (1926). Мало кто знает, что этот фильм снимался в стереоформате двумя 35-мм камерами. Сохранились стереопары кадров, в которых режиссёр создавал образ взаимодействия реального и сакрального миров — Дьявол насылает чуму на мир людей. Его чёрные крылья простираются над зрительным залом, охватывая и наводя ужас на участников зрелища. Так рядом соседствовали эмоциональный трюк и смысловой режиссёрский приём, придавая третьему измерению особый священный смысл.

Стереоскопии как эмоциональному трюку в кинематографе повезло намного больше, чем драматургическому режиссёрскому освоению третьего измерения экрана. В сфере аттракционов технология IMAX творила чудеса. Приведу пример из собственного опыта. Первое моё настоящее путешествие в трёхмерную кино вселенную произошло в Лас-Вегасе (США) в 2000 году в полусферическом кинотеатре IMAX в отеле «Цезарь», где демонстрировался стереоскопический анимационный фильм «Космический рейс к Атлантам» в формате IMAX 3D с использованием специальных шлемов. На билетах было написано предупреждение: не рекомендуется смотреть людям с повышенным кровяным давлением, с сердечной недостаточностью, болями в голове, позвоночнике и шее, с плохим вестибулярным аппаратом, эпилептикам, а также беременным женщинам. Зрительный зал представлял купол с полусферическим экраном. Кресла, как в самолёте, были снабжены ремнями безопасности, всех попросили пристегнуться. Экран уходил под ноги. Погас свет, и исчезли стены, пол, потолок. Я оказалась в кабине звездолёта. Подо мной бесконечность космоса, и я влетаю в него по спирали со страшной скоростью... Полное ощущение ускоренного падения вниз! Такого ужаса я никогда не испытывала. Вжавшись в кресло, которое «кидает» из стороны в сторону, практически до полного переворота, пытаюсь удержать равновесие, упираясь ногой в переднее кресло. Я закрываю глаза. Космос исчезает, чувствуется лишь лёгкое покачивание кресла, которое смещается едва ли на несколько сантиметров. Оказывается, всё остальное дорисовало моё воображение. Я снова открываю глаза. Космический ужас, смешанный с диким восторгом от фантастически красивых пейзажей Вселенной, начинается заново.

В 2010 году, приехав в Лас-Вегас, я узнала, что сферический IMAX закрыт, а шлемы сняты с производства. Видимо, для кого-то приключения в виртуальной Вселенной закончились не совсем удачно. Сферические экраны и «очковый» метод демонстрации стереоэффекта я нашла в Лос-Анджелесе в парке развлечений на Universal Studios Hollywood. На аттракционе «The Simpsons Ride» («Поездка Симпсонов») полёт по компьютерному космическому пространству на полусферическом экране мало чем отличался от полёта в кинотеатре IMAX со шлемом. Только теперь глаз зрителя мог зацепиться и за оправу очков, и за сделанную специально перед экраном прямоугольную стойку. Предметы из реального мира, естественно, нарушали иллюзию присутствия, зато оберегали наше здоровье в прямом смысле слова.

Не так давно, побывав в Диснейленде и опробовав все аттракционы в парках для детей и для взрослых, я могу с уверенностью сказать, что самыми «страшными» и эмоциональными были те, в которых использовались трюки с кинопроекцией. Никакие «американские горки» с «мёртвыми петлями» не могут соперничать с невероятной трансформацией кинообразов в человеческом сознании.

Непревзойдённым хитом, где использовалось стереоскопическое изображение, до недавнего времени по праву считалось виртуальное путешествие в мир Кинг-Конга и динозавров «King Kong 360 3D», открывшееся 6 июля 2010 года на Universal Studios Hollywood. В создании 3D-шоу принимал участие Питер Джексон, режиссёр трилогии «Властелин колец» (2001–2003) и фильма «Кинг Конг» (2005). Вполне реальный вагончик привозит зрителей в павильон. На вогнутые стены натянуты экраны 54×12 метров. Изображение одновременно проецируют 16 проекторов. Зрители попадают в джунгли, где разворачивается битва огромной «хорошей» обезьяны с «плохими» динозаврами. Кинг-Конг спасает сидящих в вагончике, движения которого синхронизированы с внешними «ударами» и прочими проявлениями битвы. Это представление даже сложно сравнить с ощущениями в кинотеатре. Проекция очень чётко «очерчивает» форму персонажей. Но это был всего лишь трюк, который волновал и пугал, но не мог претендовать на драматическое и эстетическое освоение стереоскопического пространства в кино.

О возможности освоения третьего измерения в кинематографе не как трюка, а как эмоциональной режиссёрской составляющей, заговорили в связи с появлением качественного стереоскопического изображения в документальном кино, потому что в документалистике познавательная составляющая превосходит развлекательную. Фильм «Космическая станция 3D» режиссёра Тони Майерс вышел в прокат в кинотеатрах IMAX в 2002 году. Специалисты канадской кинокомпании IMAX Corporation при сотрудничестве с космическим агентством NASA с 1990 года проводили съёмки в космосе специальными стереоскопическими камерами IMAX [13]. Это первый стереофильм, снятый в открытом космосе. Его актёрами стали астронавты, находившиеся в момент съёмок на Международной космической станции. Фильм демонстрировался по всему миру как учебный и научно-популярный. Главные его зрители, школьники и студенты, — аудитория, с которой корпорация IMAX во многих странах не берёт плату за просмотры.

В 2011 году в режиссуре документального стереоскопического кинематографа произошли ещё два знаменательных события. Практически одновременно в прокат вышли документальные стереофильмы — «Пина. Танец страсти 3D» режиссёра Вима Вендерса и «Пещера забытых снов» режиссёра Вернера Херцога. Два мировых киноклассика обратились к стереокино, потому что не представляли реализации своих замыслов без освоения третьего измерения экранного пространства.

Вим Вендерс стереоскопическим изображением превратил экран в продолжение зрительного зала, в театральные подмостки, предлагая зрителям стать соучастниками танцевального представления Пины Бауш. «С форматом 3D наш проект станет возможным! Только таким образом, включая пространственное измерение, я осмелюсь перенести “Танцтеатр” Пины в соответствующей форме на экран», — скажет режиссёр в одном из интервью [7]. И этот возврат театрального пространства в кинематограф становится знаменательной вехой в развитии стереоскопического изображения как элемента кинорежиссуры, а не как составной части сценической декорации, который был присущ театру со времён изобретения «волшебного фонаря» [10].

Вернер Херцог в фильме «Пещера забытых снов», самом кассовом документальном фильме 2010 года, использует стереоскопи-

ческое изображение, чтобы оживить наскальную живопись в пещере Шове на юге Франции. Режиссёр предлагает зрителям увидеть закономерность именно такого расположения древних петроглифов, вписанных первобытным художником в природную архитектуру пещеры. Рельеф камня и рисунки, соединяясь в пространстве, порождают движение. Легенда о скульпторе и изобретателе Дедале, чьи каменные творения оживали, становится зримой. А если представить, что эти картины творились и воспринимались зрителями при отблесках огня, то можно предположить создание первой настенной анимации, сотворение иллюзии движения рисунков, которым 30 000 лет. И режиссёр дал почувствовать это зрителям, используя возможности стереоскопического киноизображения.

Эстетическое освоение третьего измерения в кинематографе и возможное взаимодействие с ним зрителей — важный момент в понимании эволюции киноязыка в целом. В современном кинематографе традиционный литературный (драматический) герой начинает трансформироваться в некую визуализацию определённых состояний физических динамических объектов, т. е. режиссёр сегодня может предложить зрителю не последовательную, нарративную драматургию, а изобразительную, основанную на деформациях реального мира, отдельных его предметов и их состояний. Визуализироваться могут такие понятия, как скорость, полёт, парение, сон, тревога, страх, восторг и прочие эмоциональные состояния, при которых изменяется восприятие физической реальности. Яркий пример такой деформации — использование крупного плана в стереоскопическом кинематографе.

Не так давно крупный план в этой области был персоной нон грата. Фильм «Матрица» режиссёров Эндрю и Лоуренса Вачовски в 1999 году стал одним из первых фильмов, конвертированных в формат IMAX 3D. Стереоскопическая версия потерпела полный провал. Зрители не приняли так называемый «эффект гигантизма». Сегодня публику не беспокоит, что многие фильмы, которые сняты в 2D без соблюдения каких бы то ни было правил стереоскопического киноизображения, конвертируются прокатчиками для показа в стереоформате. Мы привыкли к третьему измерению и предпочитаем его как спецэффект, независимо от драматургии фильма. И именно такое изображение выбирают новые зрители, приученные к стерео.

В восприятии стереоскопического изображения очень важны качество проекции, размеры и яркость экрана, технология съёмки. Если смотреть фильм, который снят по технологии IMAX 3D дома на компьютере, — нас ждёт разочарование. Именно так и произошло с фильмом «Дюнкерк» режиссёра Кристофера Нолана, снятого в формате IMAX в 2017 году. Фильм получил трёх «Оскар» — за лучший монтаж, лучший звук и лучший монтаж звука. Среди них нет награды за операторское мастерство Хойте ван Хойтема. Но именно операторская работа и режиссёрское видение такого изображения выявили новые перспективы использования стереоскопии в кинематографе. Зрителей поместили внутрь режиссёрских эмоций, на физическом уровне заставив почувствовать запах крови, ужас от разрывающихся снарядов, вкус горького морского песка, в который хочется зарыться, спасаясь от свистящих пуль. Я повела своих студентов из МГППУ, будущих режиссёров мультимедиа, на просмотр фильма «Дюнкерк» в кинотеатр IMAX. Многие из них уже видели фильм в обычных кинотеатрах. После просмотра стереофильма мнения были одинаковыми — эффект присутствия ощущается только тогда, когда фильм смотришь в том формате, в котором он был задуман, и в кинотеатрах, специально предназначенных для его демонстрации. Сложная технология съёмки требует адекватного воспроизведения созданного изображения. И если мы хотим понять и почувствовать режиссёрское решение фильма, осуществлённое на определённом технологическом уровне, мы просто обязаны следовать правилам его восприятия.

Технологические открытия в области объёмных изображений в кинематографе за последние пять лет породили такие направления, как «псевдоголография» и «виртуальная реальность в формате VR-360». Эти направления ещё не чётко оформлены и сформулированы. Их становление и освоение проходят сегодня на наших глазах. Эти эксперименты делают первые шаги на пути создания эффектных трюков, в которых зрители общаются с изображением.

Иногда ещё не освоенный, не вписанный в режиссуру новый эффект использования объёмного изображения может повредить восприятию смысла и основной задаче мультимедийного произведения. Недавно на Международной конференции #EDCRUNCH 2017 специалисты Московского института открытого образования демонстрировали свои виртуальные метапредметные образова-

тельные экскурсии в режиме VR-360 [8] для учителей и учащихся. Группе студентов из МГППУ предложили надеть специальные очки со вставленными в них смартфонами и совершить виртуальные путешествия: «Освоение космоса», «Вопросы и проблемы экологии» и «Московские адреса Серебряного века». Большую часть 15-минутных программ студенты рассматривали пол и окружающую их виртуальную среду. Информация, которую они должны были усвоить, потерялась в великолепии и неожиданности трёхмерного видеointерьера. Но, несомненно, как только пользователи привыкнут к такому виду изображения и к такой подаче учебного материала, а режиссёры программ научатся учитывать специфику объёмного изображения, в центр которого попадает зритель, эффект от усвоения интересного и зрелищного материала будет значительным. Но пока на первом месте стоит эмоциональное восприятие неожиданного трюка и общение с изображением.

Похожая ситуация складывается и в освоении эффекта так называемой «псевдоголографии». В 2015 году в Интернете появилось видео из гонконгского центра Tai Koo Shing City Plaza. Посетители общались с объёмными изображениями пингвинов, белого медведя и морских котиков, находясь на специально отведённых для них местах, куда проецировалось изображение [4]. В Интернете начали появляться предложения от защитников животных, чтобы подобными визуальными программами заменяли реальных животных в зоопарках.

В 2016 году в галерее «Центр искусств. Москва» коллекционера Андриана Мелихова состоялась премьера «псевдоголографического» выступления балерины Большого театра Натальи Филиной, которая исполняла отрывки из балетов П.И. Чайковского «Спящая красавица» и «Лебединое озеро» [5, 11]. Чёткое объёмное изображение было создано российскими разработчиками. Но гвоздём программы стало общение ведущего с изображением. Он поднялся на сцену к «балерине» и показал, что её изображение настолько реально, что можно «зайти» за него, т. е. изображение перекрывало реального человека.

Настоящий фурор в 2017 году произвело видео голографического кита [6]. И если это не «фейк», который сделали в Photoshop, а такие мнения тоже есть, то на сегодня это самое впечатляющее общение зрителей с объёмным изображением [9].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стереоскопическое изображение для кинематографа не было чем-то вдруг неожиданно возникшим. Освоение третьего измерения экранном изображением и поиски возможной интерактивности зрителей с изображением велись режиссёрами в разных направлениях со времени возникновения кинематографа. Сегодня можно с уверенностью говорить о том, что с развитием технических возможностей создания реалистического, трёхмерного мира на экране появляются новые пока ещё не вполне драматургически освоенные инструменты эмоционального воздействия на зрителя. Одновременно с привыканием зрителей к качественному стереоскопическому изображению меняется и эстетика этого изображения в кинематографе. Исчезают технические ограничения в использовании тех или иных стереоэффектов, появляются новые возможности создания аудиовизуальных образов, с которыми зрители могут взаимодействовать, превращаясь из пассивных наблюдателей в соучастников виртуальных путешествий в созданный режиссёрами киномир.

Сегодня, как никогда раньше, освоение технологий творческими работниками идёт в ногу с передовыми техническими открытиями, а многие разработки осуществляются под конкретные заказы кинематографистов. При этом современные зрители, что очень важно, адекватно оценивают технические достижения в области объёмных изображений и в трюковой индустрии, и в авторском, режиссёрском творчестве искусства кино.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аватар (фильм, 2019). Википедия. Свободная Энциклопедия. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%B0%D1%80_\(%D1%84%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BC,_2009\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%B0%D1%80_(%D1%84%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BC,_2009)). Дата обращения: 10.04.2018.
2. Будущее наступило. Они ненастоящие. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=105o9XcvCsI>. Дата обращения: 10.04.2018.
3. Голограмма 3D. Балерина Наталья Филина. <https://www.youtube.com/watch?v=P31ZaAfMdgw>. Дата обращения: 10.04.2018.
4. Голограмма кита в спортзале. <https://www.youtube.com/watch?v=YYiE4KCsPA>. Дата обращения: 10.04.2018.

5. Ермакова Е.Ю. Практическая магия кинематографа. Часть 1. Мультимедийность как пространство кинообраза. М.: МГППУ, 2013. <http://psychlib.ru/resource.php/pdf/documents/EPm1-2013.pdf>. Дата обращения: 10.04.2018.
6. Ллойд Б. Зазеркалье Тима Бёртона // Техника и технология кино. 2010. № 2. С. 12–18.
7. Пина (фильм) [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B8%D0%BD%D0%B0_\(%D1%84%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BC\)#cite_note-2](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B8%D0%BD%D0%B0_(%D1%84%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BC)#cite_note-2). Дата обращения: 10.04.2018.
8. Путешествия в формате VR-360. Московский Центр развития кадрового потенциала образования. <https://mcrkpo.ru/mediateka/puteshestviya-v-formate-vr-360.html>. Дата обращения: 10.04.2018.
9. Раскрываем тайны Magic Leap: что это такое и как работает? <https://rb.ru/story/magic-leap-explained>. Дата обращения: 10.04.2018.
10. Ростовский Е.Г. Мультимедийное пространство театра. <http://docplayer.ru/44270913-Udk-multimediyное-prostranstvo-teatra-multimedia-space-of-the-theatre.html>. Дата обращения: 10.04.2018.
11. Технологии экранов псевдоголографии. <https://geektimes.ru/post/158231/>; <https://www.youtube.com/watch?v=P31ZaAfMdgw>. Дата обращения: 10.04.2018.
12. Титаник Джеймса Кэмерона. http://titanicsociety.ru/titanic_nachalo/. Дата обращения: 10.04.2018.
13. Camera, ICBC, 70 mm, IMAX. Search Results. http://collections.si.edu/search/results.htm?q=record_ID%3AAnasm_A20120259000&repo=DPLA. Дата обращения: 10.04.2018.
14. Wells P. Understanding Animation. New York: Routledge, 2006. <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1470412903002003013?journalCode=vcsua>. Дата обращения: 10.04.2018.

Elena Y. Ermakova

**THE INTERACTIVITY OF THE THIRD DIMENSION
IN CINEMA AS AN ELEMENT OF DIRECTING**

Elena Y. Ermakova, PhD (Art Criticism)

E-mail: krissssss7262@gmail.com

Moscow State University of Psychology and Education

The article analyzes the relationship between the viewers and motion pictures, emphasizing the emotional perception of the moving spectacle and

the possibility of communicating with it. Directing in this case is understood as an emotional frame of the movie. Variants of such interactivity are considered by the case of James Cameron's «Avatar» and Tim Burton's «Alice in Wonderland», where moving spectacle evokes empathy only if special effects are woven into the movie's dramatic structure. The author's ideas are illustrated by the first successful example of communication of the audience and the director with an animated character was Gerty the Dinosaur created by Winsor McCay.

It is noted that the exploration of stereoscopic space was manifested itself in Friedrich Murnau's «Faust» (1926). In 2000, a stereoscopic animation universe was presented as a «dangerous» trick using virtual reality helmets in the IMAX spherical cinema, Las Vegas (United States). Attractions related to virtual journeys into the world of King Kong and the dinosaurs in «King Kong 360 3D» and «The Simpsons Ride» produced by the Universal Studios, Hollywood have perfected this entertaining function of stereoscopic images. But the release of documentaries like Wim Wenders's «Pina» and Werner Herzog's «Cave of Forgotten Dreams» heralded a new ways of using the potential of stereo filmmaking.

The relevance of the interaction between the audience and 3D image is proved by such modern inventions as 'pseudo-holography' and VR-260.

Key words: 3D image, film direction, image, interactivity.

REFERENCES

1. Avatar (fil'm, 2019). Vikipediya. Svobodnaya Entsiklopediya. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%B0%D1%80_\(%D1%84%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BC,_2009\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%B0%D1%80_(%D1%84%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BC,_2009)). Data obrashcheniya: 10.04.2018.
2. Budushchee nastupilo. Oni nenastoyashchie. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=105o9XcvCsI>. Data obrashcheniya: 10.04.2018.
3. Gologramma 3D. Balerina Natal'ya Filina. <https://www.youtube.com/watch?v=P31ZaAfMdgw>. Data obrashcheniya: 10.04.2018.
4. Gologramma kita v sportzale. <https://www.youtube.com/watch?v=YYiE4KCsPA>. Data obrashcheniya: 10.04.2018.
5. Ermakova E.Yu. Prakticheskaya magiya kinematografa. Chast' 1. Mul'timediinost' kak prostranstvo kinoobraza. M.: MGPPU, 2013. <http://psychlib.ru/resource.php/pdf/documents/EPm1-2013.pdf>. Data obrashcheniya: 10.04.2018.
6. Lloid B. Zazerkal'e Tima Bertona // Tekhnika i tekhnologiya kino. 2010. No 2. P. 12–18.

7. Pina (fil'm) [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B8%D0%BD%D0%B0_\(%D1%84%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BC\)#cite_note-2](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B8%D0%BD%D0%B0_(%D1%84%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BC)#cite_note-2). Data obrashcheniya: 10.04.2018.

8. Puteshestviya v formate VR-360. Moskovskii Tsentr razvitiya kadrovogo potentsiala obrazovaniya. <https://mcrkpo.ru/mediateka/puteshestviya-v-formate-vr-360.html>. Data obrashcheniya: 10.04.2018.

9. Raskryvaem tainy Magic Leap: chto eto takoe i kak rabotaet? <https://rb.ru/story/magic-leap-explained>. Data obrashcheniya: 10.04.2018.

10. Rostovskii E.G. Mul'timediinoe prostranstvo teatra. <http://docplayer.ru/44270913-Udk-multimediynoe-prostranstvo-teatra-multimedia-space-of-the-theatre.html>. Data obrashcheniya: 10.04.2018.

11. Tekhnologii ekranov psevdogolografii. <https://geektimes.ru/post/158231/>; <https://www.youtube.com/watch?v=P31ZaAfMdgw>. Data obrashcheniya: 10.04.2018.

12. Titanik Dzheimsa Kemerona. http://titanicsociety.ru/titanic_nachalo/. Data obrashcheniya: 10.04.2018.

13. Camera, ICBC, 70 mm, IMAX. Search Results. http://collections.si.edu/search/results.htm?q=record_ID%3Anasm_A20120259000&repo=DPLA. Data obrashcheniya: 10.04.2018.

14. Wells P. Understanding Animation. New York: Routledge, 2006. <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1470412903002003013?journalCode=vcua>. Data obrashcheniya: 10.04.2018.

УДК 778.534.1
ББК 37.95

Ильшев П.В.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВОСПРИЯТИЯ ПРОСТРАНСТВА И СОЗДАНИЯ ОБЪЁМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ЯПОНИИ: ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ

Ильшев Павел Витальевич
E-mail: p.ilyshv@list.ru
Всероссийский государственный институт кинематографии
им. С.А. Герасимова

В статье анализируются объективные факторы (географические, религиозные и др.), повлиявшие на формирование специфики восприятия пространства в Японии. Выделяются две основные тенденции в этом процессе: эстетическое освоение и совершенствование технических средств. Особое внимание уделяется модельному подходу и методам создания объёмной достоверности. Рассмотрены конкретные виды произведений искусства в этой области на примере коллекции музея Иокогамы (укиё-э, оси-э и др.), а также основные направления развития визуального и стереоскопического оборудования, в частности объёмной фотографии. Дается описание современной ситуации в области создания пространственных и объёмных артобъектов в Японии в кино, изобразительном и других видах искусства, включая анимацию и тактильную голографию.

Ключевые слова: восприятие пространства, объёмные изображения, модельный подход, эстетическое освоение пространства, объёмная достоверность, стереоскопическое оборудование, пространственные артобъекты, анимация, тактильная голография, укиё-э, оси-э.

В Японии в силу ряда объективных факторов (ограниченность территории, доступной для проживания, стихийные бедствия, густонаселённость и т. д.) исторически сложилось специфическое отношение к пространству.

Существенное влияние оказали две господствующие религии: буддизм и синтоизм. Согласно синтоистской традиции, все живые и неживые существа могли быть предметами поклонения. Соответственно, массово изготавливались объёмные изображения. Однако именно буддизм предложил, может быть, наиболее разработанное учение о бытии, одним из базисных компонентов которого является «среда обитания» (включающая природу как таковую) и которое подчёркивает принципиальное единство человека (как живого существа) и природы (как «среды обитания»). Средневековая японская интеллигенция (литераторы, художники, учёные-монахи, философы, наконец, государственные деятели, т. е. все те, кто «творил» культуру и «воспитывал» народ) знала (хорошо или плохо) буддийскую догматику, в большей или меньшей степени испытывала на себе, точнее говоря, в своём творчестве или деятельности её влияние. Во всяком случае, соприкосновение в той или иной форме с буддийской философией не проходило бесследно.

У японской нации рано сформировалось стремление упорядочить пространство, расширить его пределы всеми возможными способами, в том числе средствами искусства. Таким образом, выявилось эстетическое освоение пространства. Это видно, например, в японских гравюрах Хиросигэ и Хокусаё. В отличие от европейской традиции, перспектива в них передавалась одинаковыми уменьшающимися предметами. Сложилась другая вариация изображения перспективы: горизонтальная, вертикальная, кольцевая. Можно сказать, что зритель невольно двигался по картине, т. е. пространство передавалось движением. Образовались традиции объёмной гравюры укиё-э и объёмного копирования картин.

Что касается изучения пространства, то один из способов — это построение некой модели (пусть и конструируемой в нашем подсознании), по которой уже можно сделать некоторый объективный вывод и создать некое достоверное представление о том или ином объекте.

При плоскостном выражении у японцев была тенденция к созданию объёмной достоверности. Это нашло отражение и в длин-

ных горизонтальных или вертикальных свитках (какемоно) и при подробном изучении одного и того же объекта (100 видов Фудзи) и др.

На примере коллекции музея искусств Иокогамы (автор контактирует с ним с 1990 г.) можно продемонстрировать некоторые примеры восприятия пространства. Это сравнительно новый музей. У него не очень большая классическая коллекция, поэтому он нашёл свою «нишу» в том, чтобы развивать новые виды искусства, включая мультимедиа.

Среди экспонатов музея можно увидеть гравюры укиё-э (в переводе с японского: «картинка плавающего, меняющегося мира») с горизонтальной и вертикальной перспективой. Они отражают сформировавшиеся на протяжении истории представления о пространстве, предполагающие его изображение с помощью демонстрации определённого движения, соответственно, в горизонтальной плоскости — справа налево, а в вертикальной плоскости — сверху вниз.

На рис. 1 видна горизонтальная перспектива с движением персонажей справа налево. При этом движение передаётся рядами одинаковых фигурок так, что создаётся впечатление о последовательных кадрах движения одного персонажа или одного ряда.



Рис. 1. Небесные обитатели. Ширма. XVIII в.

На рис. 2 изображена вертикальная перспектива пространства на японской гравюре. Пространство здесь передаётся длинной дорогой, по которой взглядом скользит зритель, моделируя движение фигуры крестьянина вверху картины.

Ещё одним видом создания пространственной перспективы на японской гравюре является кольцевая композиция (рис. 3). Здесь движение глаза зрителя осуществляется по круговой панораме. При этом создаётся впечатление покадрового движения одного из семи персонажей.

Издавна японцы пытались придать изображениям объёмность и достоверность: в частности техника оси-э — одном из видов рукоделий, появившийся в Японии ещё в XVII веке и до сих пор не утративший свою популярность.

Изначально в оси-э применялись обрезки тканей, из которых шились кимоно. Выкидывать их у мастериц просто не поднимались руки, по этой причине и возникло искусство составления картин из кусочков картона, обёрнутых в кусочки тканей.

Когда из Китая в Японию была завезена бумага, мастера оси-э стали рассматривать её в качестве альтернативы дорогим тканям. Однако китайская бумага не годилась для оси-э — она была хрупкой, легко рвалась в местах сгиба и не была пластичной. И только после того, как китайское изобретение было усовершенствовано японцами, оно действительно стало альтернативным материалом

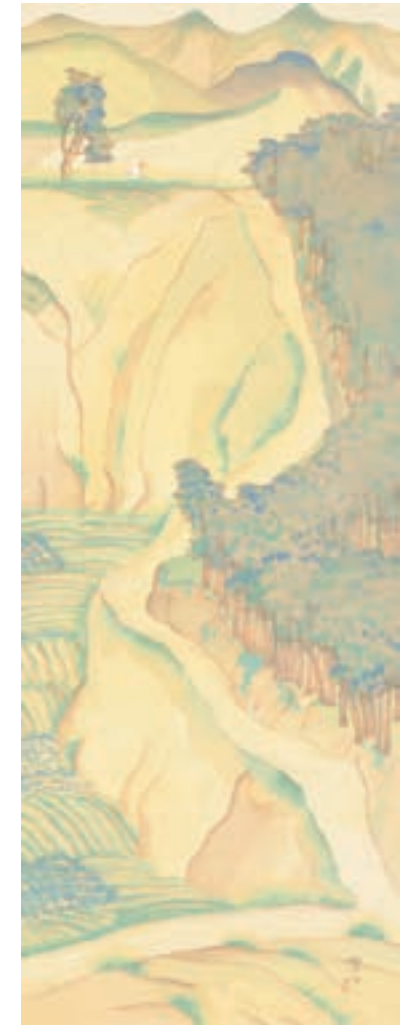


Рис. 2. С. Имамура. Склон Сиоми. XIX в.



Рис. 3. Неизвестный художник. Лодка семи богов счастья. Гравюра XVII в.

для оси-э. Речь идёт о японской бумаге васи — бумаге, в основе которой лежит не древесная целлюлоза, а волокна кодзо (тутового дерева), гампи, мицумата и других растений. Благодаря волокнам японская бумага гораздо прочнее и пластичнее, чем традиционная, она более других видов бумаги по свойствам напоминает ткань, поэтому и нашла применение в оси-э.

Традиционно на картинах в технике оси-э (рис. 4) изображались маленькие дети в национальных костюмах, гейши, самураи, сказочные сцены. Сегодня эти темы не принципиальны, ведь главное здесь — техника.

Позже, в конце XIX века под влиянием западной модернизации и развитием техники стали превалировать технические, в частности оптические методы создания пространственных объёмных изображений. Например, с помощью стереоскопа. Американцы, попавшие в то время в Японию и посетившие различные уголки страны, поражались, как были распространены там стереоскопы и объёмные фотографии, созданные по принципу «просмотра двумя глазами». Интересно, что когда первая официальная японская делегация посетила США в 1862 году, то японцы заказывали в фотостудиях много двойных фотографий для последующего распространения в Японии. В начале XX века в Иокогаме образовалось несколько крупных фотостудий, занимавшихся объёмными изображениями, в частности студия Энами.

После войны быстрое развитие промышленности привело к созданию передовой фото-, кино-, а потом и видеотехники, однако с 1980-х годов эстетическое направление в создании объёмных изображений вновь стало активно проявляться. Этот процесс осуществлялся на базе новых музеев искусств, у которых не было своих крупных классических коллекций. Именно эти музеи стали лидерами арт-мультимедиа в Японии. Мне довелось столкнуться с одним из них — музеем современного искусства Иокогамы (г-н Фукада — теперь директор этого музея). В 1990-х годах они разрабатывали новые виды искусства — арттехническое моделирование, всякого рода видеоинсталляции. Многие находки и приёмы рождались на почве анимации, что способствовало её быстрому совершенствованию. Современная японская анимация — это, по сути, особая философия пространства. Японцы очень любят аниме, манга и т. д., они мыслят движущимися образами, поскольку японский язык анимационен, он состоит из иероглифов, которые являются зашифрованными картинками.

Япония сейчас выходит на новый уровень синтеза техники и искусства в области освоения пространства. Последний пример — молодой профессор университета Цукуба и института «Цифровой Голливуд» Ёити Отиаи, который недавно провёл в «Роппонги Хиллз» (музей Мори) выставку объёмных изображений нового поколения. Речь идёт о голографии, которую можно пощупать в пространстве. Кстати, её японцы собирались показать на Красной площади в конце мая 2018 г. на церемонии открытия «перекрёстных годов» России в Японии и Японии в России.

Дальнейшее совершенствование этой сферы может обеспечить прорыв в японском кино. В частности, только что в Японии вышел фильм «Железный алхимик» с супермасштабными стереоэффектами (режиссёр Ф. Сори — художник Дж. Кэмерона по фильмам «Аватар» и «Титаник»).



Рис. 4. Новогоднее Оси-э — Год обезьяны (автор — г-н Фукико). 2016 г. Ручная работа

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исторические и современные факторы, базирующиеся на традиционных особенностях восприятия пространства, позволяют Японии эффективно разрабатывать новые формы и приёмы изобразительного моделирования, успешно применять их и интегрировать в различные виды искусства, включая кинематограф, анимацию, артмультимедиа.

В настоящее время автор ведёт занятия во ВГИКе на факультете анимации и мультимедиа по виртуальному пространству, ранее — занятия по рисунку и живописи на художественном факультете. Имеющийся преподавательский опыт позволяет сделать вывод, что формирование пространственного мышления у художников и специалистов по анимации прямо влияет на их творческий прогресс и рост профессионального мастерства. Считаю, что надо шире задействовать в обучении классические традиции отечественного и зарубежного, в том числе японского, восприятия и изображения пространства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каталог коллекции Музея искусств Июкогамы. Токио, 1990.
2. Рейнольдс Д. Аллегория времени и пространства в японской фотографии и архитектуре. США, Гавайский Университет, 2015.
3. Степанова Т.В. К проблеме организации пространства в искусстве Дальнего Востока на примере японской гравюры «укиё-э» XVIII–XIX вв. и японского кинематографа XX в. СПб., 2003.
4. Хорошилов П.В. Японская фотография эпохи Мэйдзи. М., 2011.

Pavel V. Ilyshev

SOME SPECIFICS OF THE SPACE PERCEPTION AND CREATION OF THE VOLUMABLE PICTURES IN JAPAN IN THE PAST AND PRESENT PERIODS

Pavel V. Ilyshev
E-mail: p.ilyshev@list.ru
Russian Federation State Institute of Cinematography
named after S.A. Gerasimov

The article analyzes the objective factors (geographical, religious, etc.) that influenced the formation of specific space perception in Japan. Two major trends in the process — esthetic exploration and modernization of technical devices — are highlighted. Special attention is paid to the modeling approach and methods of creating credible 3D images. Specific art examples (Ukiyo-e, Oshi-e, etc.) from the collection of Yokohama Museum of Art and major directions of the development of visual and stereoscopic equipment, including stereo photography, are studied. The article also presents the current situation in creating spatial and 3D art objects in Japan in cinema, art, animation and tactile holography.

Key words: space perception, 3D objects, modelling approach, esthetic space exploration, credible 3D images, stereoscopic equipment, art examples, animation, tactile holography, Ukiyo-e, Oshi-e.

REFERENCES

1. Katalog kolekcii Muzeya iskusstv Iokogamy. Tokio, 1990.
2. Reinol'ds D. Allegoriya vremeni i prostranstva v yaponskoi fotografii i arkhitekture. SShA, Gavaiskii Universitet, 2015.
3. Stepanova T.V. K probleme organizatsii prostranstva v iskusstve Dal'nego Vostoka na primere yaponskoi gravyury «ukie-e» XVIII–XIX vv. i yaponskogo kinematografa XX v. SPb., 2003.
4. Khoroshilov P.V. Yaponskaya fotografiya epokhi Meidzi. M., 2011.

УДК 7.015
ББК: 87.8

Бохоров К.Ю.

АНТИТЕЗЫ КУРИРОВАНИЯ VR-ПРОЕКТОВ НА ПРИМЕРЕ ИММЕРСИВНОЙ ИНСТАЛЛЯЦИИ «BJORK DIGITAL» НА 7-й МОСКОВСКОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ БИЕННАЛЕ СОВРЕМЕННОГО ИСКУССТВА

Бохоров Константин Юльевич, кандидат культурологии
E-mail: bororo@mail.ru
Московский государственный психолого-педагогический
университет

Специфика курирования проектов на выставках современного искусства заключается в выявлении их критического потенциала в отношении самого медиа их производства. Проект «Bjork Digital» стал событием 7-ой Московской международной биеннале современного искусства, контекстуализировав в ней медиум объёмного изображения и звуковоспроизведения. В выставочной среде виртуальная реальность, созданная Бьорк, подняла на новый уровень репрезентацию образов и концепций, что позволило ей на новом уровне поставить вопросы экологии, идентичности, тотального наблюдения. В то же время она продемонстрировала, как технологии создания объёмной реальности фиксируют зрителя на сообщении, навязывают смыслы, преувеличивают значение личности художника.

Рассмотрены творческие противоречия, порождаемые проектами с использованием виртуальной реальности, в критически заряженной среде современного художественного дискурса.

Ключевые слова: Бьорк, виртуальная реальность, курирование, мультимедиа, современное искусство.

«Изменения, происходящие в искусстве с распространением цифровых технологий, настолько значительны, а темпы этих изменений настолько высоки, что их философско-эстетическое осмысление порой не успевает за ними» — писал в своей книге «Цифровое компьютерное искусство» исследователь цифровых медиа Семён Ерохин [3, с. 145].

Современное искусство, активно использующее цифровые технологии виртуальной реальности (VR), тоже ищет теоретические подходы к этому новому медиа.

Проблема усугубляется тем, что в современной культуре существует высокая степень специализации её областей. В одних областях культуры VR органически дополняет эволюцию изобразительных и выразительных средств (например, кино). Тогда как в других, например, в современном искусстве дело обстоит сложнее. Оно, с одной стороны, в силу своей футуристической предопределённости экзальтированно реагирует на развитие технологий, а с другой — как форпост эстетической критической рефлексии, должно осмыслять технологическое развитие искусства теоретически.

Это теоретическое осмысление имеет давнюю историю. Своими корнями оно восходит к началу широкого использования в изобразительном искусстве оптической перспективы. Уже тогда художники трактовали изобразительные средства построения объёмного изображения в соответствии со своими мировоззренческими принципами: например, прогрессивистски — как Леон Баттиста Альберти, или консервативно — как Пьетро да Кортона или Андреа дель Поццо.

Объёмное изображение, как и условность изображения, как известно, были отвергнуты в модернизме XX века. Искусство модернизма, осуществляясь как искусство, рефлексивирует свои средства. Его принцип заключается в том, что если в произведении к художественному средству (медиуму) есть критическое отношение, существенное для его понимания в истории, то оно является фактом искусства.

В популярной культуре дело обстоит иначе: главная её задача донести некое сообщение до как можно более широкой аудитории в возможно более ярких формах, и чем более успешен акт коммуникации, чем более эффективно использованы технические средства, тем больше котируется её продукция. Таким образом, можно

сказать, что модернизм рефлексует свои средства, а популярное искусство — эксплуатирует.

В связи с этими эстетическими принципами обсудим курирование проектов виртуальной реальности на выставках современного искусства.

ПЕРВЫЕ УСПЕШНЫЕ ПРОЕКТЫ

Заметные проекты, в которых использовалось объёмное изображение, полученное техническими средствами, в современном искусстве стали появляться в основном в Европе и Америке на рубеже 1980-х годов. Насколько можно говорить, что эти проекты исследовали виртуальную реальность?

Автор обзора цифрового искусства Кристиан Пол даёт следующее определение виртуальной реальности: «это реальность, полностью охватывающая пользователя трёхмерным миром, сгенерированным компьютером, и позволяющая ему взаимодействовать с виртуальными объектами, входящими в этот мир» [8, с. 125].

Как пишет Пол, важны глубина погружения и интерактивность с пространством и средой искусственного мира. В то же время должен ли этот мир имитировать реальный мир — не утверждается. Скорее наоборот. Это возможный, условный, кажущийся мир. Тем самым Пол развивает идеи Джарона Ланье.

Ключевым проектом для понимания, как художники исследовали медиа VR, следует считать проект Джеффри Шоу «Читаемый город» (The Legible City) 1989–1991 годов. В проекте в качестве «джойстика» использовался велотренажёр, на движения которого реагировала большая видеопроекция на экране, изображавшая как бы перспективы улиц, дома которых были большими буквами. Пользователь мог ездить по этим объёмным виртуальным улицам, считывая их как текст (например, человек мог выехать на площадь, дома на которой состоят из букв ТРАМП СИТИ).

Значение проекта Шоу было в том, что виртуальность понималась семиотически, как текст, а физическое общение пользователя с текстом — как принцип конструирования реального. При этом пользователь, вращая педали, как бы превращался в машину текста, т. е. своего собственного мира. В этом смысле Шоу развивает в «Читаемом городе» идеи постструктуралистской философии, в частности идеи Мишеля Фуко. Здесь текст порождает реальность

и является инструментом её критического преобразования. Именно этим и занимался пользователь, выбирающий свой маршрут по читаемым городским улицам, осуществляя свой интерактивный авангардистский* акт.

Подчеркнём, что проект 30-летней давности «Читаемый город» — артикулированное критическое высказывание о виртуальной реальности, использующий необходимый и достаточный набор технических средств для его оформления в модернистскую форму. Технология в нём использовалась не для психофизиологического воздействия на сознание пользователя, а для создания ситуации, в которой пользователь мог на физическом уровне осознать суть идеи семиотической природы виртуальных расширений реального.

7-я МОСКОВСКАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ БИЕННАЛЕ СОВРЕМЕННОГО ИСКУССТВА

В конце второго десятилетия XXI века критика семиотического идеализма (прочно утвердившаяся как состояние после постмодерна) стала всеобщей. Художественные проекты исследуют различные расширения субъективизации, перенося, в том числе, её признаки на неперсонифицированное природное. Этими тенденциями была обусловлена концепция 7-й Московской международной биеннале современного искусства, работавшей в Новой Третьяковке с сентября 2017 года по март 2018 года. Её куратор Юко Хасегава дала название биеннале «Заоблачные леса», подчеркнув взаимопроникновение «вегетативного» и «цифрового» в современном мире, как новое состояние модерности и условий модернизации.

В рамках выставки Хасегавы был представлен проект Björk Digital, который рассмотрим как пример использования VR в контексте современного искусства. Бьорк Гудмундсдоттир (1965 год рождения), выдающаяся исландская певица и музыкант, разработала собственный стиль альтернативной электронной музыки с сильными автохтонными элементами. В 1990-е годы она стала звездой поп-культуры, сохраняя репутацию новатора и экспериментатора.

Во время премьеры фильма Ларса фон Триера «Танцующая в темноте» в 2000 году, в котором Бьорк исполнила главную роль, она познакомилась с художником Мэтью Барни, одним из ярчай-

* Авангардистский здесь — направленный на преобразование реальности.

ших представителей современного искусства Америки. Вместе они сделали проект, который можно отнести к современному искусству — фильм «Проводя различия» (2005). После этого и музыкальное творчество Бьорк было с восторгом принято в мире современного искусства — в 2010 году её ретроспектива была организована в музее современного искусства MoMA, а в журнале Time, включившем её как «икону» в число 100 наиболее влиятельных фигур искусства, художник Марина Абрамович заявила, что «Бьорк учит нас храбрости быть самими собой» [2].

В 2015 году Бьорк представила в MoMA две работы с использованием технологий виртуальной реальности. Автохтонный элемент анатомируется в цифровой лаборатории Бьорк и возвращается к слушателю в потустороннем техногенном звучании, насыщенном обертонами её собственных переживаний. Цель её музыки — как можно глубже воздействовать на слушателя, вызывая у него бессознательный аффект. Бьорк говорит: «Моё намерение заключается в том, чтобы достичь близости с моими слушателями и показать им, что существует так много разных способов быть близкими. И один из них — это VR. В определённом смысле это более интимный вид творчества, чем концерт, и даже более интимный, чем альбом» [1].

На выставке «Заоблачные леса» Бьорк показала пять своих клипов из альбома «Vulnicura» («Лекарство от ран»), вышедшего в 2015 году, и образовательную инсталляцию по альбому «Biophilia» (2011). В экспозиционном пространстве биеннале они территориально располагались на границе «лесной» и «облачной» зон в пяти залах, как самостоятельная выставка. Клипы инсталлировались в таком порядке, чтобы возникало ощущение нарастания виртуальности выразительных средств, заканчиваясь «Биофилией», как бы превращавшей пользователя в виртуального мага, получившего силу своими руками творить музыкальные гармонии.

Первый клип «Black Lake» был инсталлирован как синхронизированная видеопроекция на двух противоположных стенах, возникновение объёмного ощущения пространства в нём происходит благодаря тому, что изображение переходило с экрана на экран и жесты певицы, начинаясь с одной стороны, заканчивались с другой. Этот эффект усиливало использование объёмного звука, ещё больше усложняя структуру пространства вокруг зрителя.

Клип «Stonemilker» создавал эффект круговой или сферической панорамы, и для его просмотра выдавалась VR-гарнитура. Зрителю предлагалось разместиться на крутящемся стуле и, поворачиваясь, ловить взглядом фигуру певицы, появляющуюся то с одной стороны, то с другой, в разных зонах исландского прибрежного пейзажа.

Особенно впечатляющим был клип «Mouthmantra», созданный с использованием многокадровой съёмки, погружавшей зрителей в рот и глубже в гортань певицы. В клипе певица рассказывала о пережитой операции на горле, так что пользователь виртуальной гарнитуры как бы становился свидетелем извлечения звуков изнутри восстановленного человеческого звукового аппарата.

Некоторые авторы выражают сомнение, что использование сферической панорамной съёмки или многокадровых изображений можно отнести к тому, что называется виртуальной реальностью. Например, Михаил Львов в журнале «MediaVision» пишет: «понятие “виртуальная реальность”, ранее применявшееся в основном для обозначения компонентов и целых сред, созданных компьютерными средствами, теперь всё чаще используется как синоним круговой и/или сферической панорамной съёмки. Хотя, собственно, к виртуальной реальности это имеет весьма опосредованное отношение» [4].

Возвращаясь к определению Кристиана Пола, считаем, что виртуальность возникает скорее тогда, когда объёмное изображение становится объектом манипуляции, причём в этом взаимодействии имитируется взаимодействие не столько с физической реальностью, сколько с воображаемой искусственно сфабрикованной средой и её компонентами, созданными по иным онтологическим принципам.

В этом смысле в финальном клипе «Vulnicura» Бьорк увлекала пользователя за собой в виртуальность. Для просмотра этого клипа выдавалась головная гарнитура виртуальной реальности и манипулятор, с помощью которого можно было «лечить рану Бьорк», принимавшую образ сияющего неоновых демона, выполненного в технологии 3D-графики и имевшего оболочку как бы сотканную из пучков энергии. Демон реагировал на выбросы света из виртуальной руки пользователя и становился всё более энергичным.

В следующем клипе «Notget» (для просмотра использовалась та же гарнитура с манипулятором) демон уносился куда-то в фантастическое световое измерение, к зияющему сердцу-вагине.

В последних клипах контакт с виртуальностью устанавливался благодаря взаимодействию с искусственной средой, с её фантастическими физическими параметрами и компонентами.

Сюжетно Björk Digital был посвящён расставанию певицы с её мужем Мэтью Барни. Можно подробно говорить, как певица через родную природу, собственное тело и душу переживала свою драму. Вся история о превращении демонического автохтона, появляющегося в «Чёрном озере», и эманация его в неоновом ангела сопровождалась трансформацией природного окружения, эволюционировавшего от состояния тёмной первоматерии к чистому свету, через конфликт природного порядка и человеческой хаотичности.

В идее виртуально-цифрового мира Бьорк как раз и видит снятие этих противоречий, выступая носительницей идей глубокого экологизма. В созданных ею образах проглядывает философская интерпретация технологии. Как уже сказано, её цель — увлечь за собой своего слушателя/зрителя, чтобы он познал освобождающую силу безграничного виртуального мира.

Не ставя под сомнение значение этой технологической концепции Бьорк, посмотрим, как корреспондировался её проект с дискурсивными установками современного искусства, в контексте которых он был представлен.

Бьорк создала впечатляющую картину переноса субъективности на персонифицированное природное. В этом отношении она идеально вписалась в концепцию Хасегавы: «Проект «Заоблачные леса» показывает нам новое креативное племя — художников, которые перестают жить в «лесах» и вслед за развитием технологий перемещаются в «облака». Эти художники — живое доказательство того факта, что жизни в новых условиях требуется креативность. Экология не ограничивается природой, но оказывается неразрывно связана с человеческой психологией, поэтому внимание куратора при отборе художников было направлено на тех, кто приносил свежий взгляд на новые технологии, придавал новую жизнь старым художественным языкам, не забывал о культурных корнях, и рассматривал мир, как единую экосистему для того, чтобы осмыслить искусство — его историю, жанры и медиа» [5].

Но даже в эпоху «заоблачных лесов» «креативное племя» так или иначе создаёт фактор социальности в перспективе самого глубокого экологизма. А современное искусство — это тот дискурс, который осмысливает стыки антропологического с социальными и другими расширениями, даже при условии того, что оно утверждается как полное растворение субъективного в объективном. Таким стыком виртуального и антропологического на самом человеческом теле, покинутом собственной субъективностью и поглощённом виртуальной реальностью, но тем не менее реально присутствующее в тёмном зале в экипировке из наушников, очков, джойстиков и кабелей. Социальность в этой ситуации реально воплощали выставочные ассистенты, приставленные специально наблюдать за конвульсиями субъективности.

Художественный критический дискурс, открытый модернизмом, подразумевает «остранение» такой ситуации, говоря языком представителей русского формализма, выявление её условностей, или «деконструкции», говоря языком французского постструктурализма, предполагавшего креативное отношение не собственно к системам языка, а к парергону.

Парергональной же в проектах с использованием объёмного изображения является ситуация его потребления, представляющая расколотость субъект-объектной идентичности пользователя. Бьорк, конечно, не рефлексировала этот момент, но её работа непроизвольно предьявляет наличие раскола, трещины, благодаря которой и осуществляется воздействие медиа на структуру идентичности, так ярко описанное когда-то Маклюэном.

По мнению постструктуралиста Бенжамина Бухло (возможно, одного из самых авторитетных критиков современного искусства, который не просто выдвигает критические теории в области искусства, но и яростно разоблачает современный художественный процесс), идентичность зрителя является сейчас полем боя авангардных и консервативных тенденций в современном искусстве. В статье 2012 года «Прощание с идентичностью» [7] Бухло указывает на внедрение в современный художественный процесс шоу-бизнеса, в том числе активных деятелей Голливуда, как на один из негативных факторов развития современного художественного процесса. Критическая позиция Бухло построена на положении, что жизнестроительный потенциал авангарда, пусть

даже и утопический, подменяется фантазматическими формами художественной продукции, не столько настраивающими зрителя на сознательную перестройку реальности, сколько заставляющими зрителя переживать её как сон, в котором он может участвовать только как субъект воображения.

Поэтому участие Björk Digital в Московской биеннале помимо большого интереса вызвало и вполне очевидную критику части аудитории, ищущей в современной художественной продукции принципы авангардной субверсивности. Например, Дай Ненашев писал, что «само шоу Björk к современному искусству имеет мало отношения, это скорее Космик, где в главной роли везде сама Björk на излом» [6]. Ненашев, видимо, имеет в виду, что шоу Бьорк — это большой парк развлечений, предлагающий зрителю некий вид эмоциональной разрядки в связи с участием в дигитальных превращениях эмоционально фрустрированной певицы. В этом как раз и состоит проблема её проекта в рамках выставки современного искусства. Бьорк обращается напрямую к чувственности зрителя, естественной, природной, ища у чувственности поддержки. На самом деле в современной критической теории чувственность зрителя постулируется как сконструированная. Поэтому эстетическое переживание, в которое увлекается зритель произведением современного искусства, направлено на возвращение восприятия технической вещи адекватного сознанию. А это уже не физиологическая чувственность, а чувственность, основанная на информационных кодах. Ценностью «Читаемого города» Джеффри Шоу как раз и было, что на том низком уровне развития технологий Шоу установил принцип пост-хьюман, превратив его в фундаментальную метонимию виртуального и антропологического.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итогом рассмотрения проектов с использованием виртуальной реальности в критически заряженной среде современного художественного дискурса является вывод о комплексной анти-тетичности, порождаемой, в частности, проектом Björk Digital на Московской биеннале. С одной стороны, Бьорк произвела художественный продукт высочайшего уровня, безусловно, новаторский, и в то же время заставляющий зрителя переживать его как эмоциональное приключение, с завязкой, кульминация-

ми, развязкой, транслирующий и чувство азарта, и саспенса. С другой стороны, в свете критической теории особенно очевидно становится, что проект певицы — это фантазматическая машина, затягивающая зрителя внутрь её личных проблем и таким образом сбивающая его с толку, лишаящая воли действовать. С одной стороны — это мастерское использование технологий объёмного изображения и виртуальной реальности и творческое их осмысление. С другой — это их некритическая эксплуатация, не рефлексирующая порождаемые ими проблемы нивелирования идентичности. С одной стороны — это создание образа мира возможного освобождения и выхода за пределы физической реальности. С другой — это «Must Go On Show» и парк развлечений, наоборот закрепощающий субъективность. И наконец, с одной стороны — это яркий выставочный проект, а с другой — произведение, порождающее вопросы его экспозиционной контекстуализации, поскольку по своим культурным параметрам он входит в конфликт с идеей экспонирования современного искусства.

Впрочем, Бьорк репрезентацию своего «Врачевания ран» сама, видимо, видела иначе, скорее как самостоятельный мультимедийный комплекс, что-то вроде виртуального храма. Участие инсталляции Björk Digital в Московской биеннале объясняется отчасти тем, что при таком сотрудничестве проще было обеспечить техническую базу его осуществления в Москве. В других странах Björk Digital представлялся обычно в рамках музыкальных мероприятий.

При всём этом крене проекта Бьорк в развлекательный жанр и аттракцион, проект для большинства не выглядел чужеродным рядом с почти лабораторными исследованиями современных художников.

Юко Хасегава не первая показывала технологические инсталляции Бьорк в контексте современного искусства, продолжая опыты Нью-Йоркского музея современного искусства. Как бы то ни было, она следовала в русле уже сложившейся практики. За счёт союза популярного искусства и современного искусства большие выставки становятся доступнее для широкой аудитории и привлекают более разнообразную публику. А для знатоков современного искусства такая кураторская катахреза делает взгляд на проблемы авангарда сегодня более объёмным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Басманов М. Бьорк — это жидкость. <http://www.zvuki.ru/R/P/77557/>. Дата обращения: 14.03.2018.
2. Бьорк. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Бьорк>. Дата обращения: 14.03.2018.
3. Ерохин С.В. Цифровое компьютерное искусство. СПб.: Алетейя, 2011.
4. Львов М. Виртуальна ли она — реальность? // MediaVision. 2018. № 02/82. С.
5. На Московскую биеннале современного искусства придет Бьорк. <http://www.timeout.ru/msk/feature/470851>. Дата обращения: 14.03.2018.
6. Ненашев Д. О выставке «Заоблачные леса». <https://www.afisha.ru/exhibition/182276/review/1141329/>. Дата обращения: 14.03.2018.
7. Buchloh B.H.D. Farewell to an identity. <http://undpun.blogspot.ru/2013/01/farewelltoidentity>. Дата обращения: 14.03.2018.
8. Paul Ch. Digital Art. London: Thames and Hudson, 2003.

Konstantin Y. Bokhorov

**ANTITHESES OF MANAGING VR PROJECTS
ON THE EXAMPLE OF «BJORK DIGITAL» IMMERSIVE
INSTALLATION AT THE 7TH MOSCOW INTERNATIONAL
BIENNALE OF CONTEMPORARY ART**

Konstantin Y. Bokhorov, PhD (Cultural Studies)

E-mail: bororo@mail.ru

Moscow State University of Psychology & Education

The goal of managing projects at contemporary art exhibitions is to identify their critical potential in relation to the media of their production. The Bjork Digital project became a highlight of the 7th Moscow international Biennale of contemporary art, introducing a medium of three-dimensional image and sound reproduction. In the exhibition environment, the virtual reality created by Björk raised the representation of images and concepts to a new level, which made it possible to question the issues of ecology, identity, total observation. At the same time, it demonstrated how the technologies of creating three-dimensional reality fix the viewer on the message, impose meanings, exaggerate the importance of the artist's personality. The article

deals with the creative contradictions generated by projects using virtual reality in a critically charged environment of contemporary art discourse.

Key words: Björk, contemporary art, managing, multimedia, virtual reality.

REFERENCES

1. Basmanov M. B'ork — eto zhidkost'. <http://www.zvuki.ru/R/P/77557/>. Data obrashcheniya: 14.03.2018.
2. B'ork. <https://ru.wikipedia.org/wiki/B'ork>. Data obrashcheniya: 14.03.2018.
3. Erokhin S.V. Tsifrovoye komp'yuternoye iskusstvo. SPb.: Aleteya, 2011.
4. L'vov M. Virtual'na li ona — real'nost'? // MediaVision. 2018. № 02/82. P.
5. Na Moskovskuyu biennale sovremennogo iskusstva priedet B'ork. <http://www.timeout.ru/msk/feature/470851>. Data obrashcheniya: 14.03.2018.
6. Nenashev D. O vystavke «Zaoblachnye lesa». <https://www.afisha.ru/exhibition/182276/review/1141329/>. Data obrashcheniya: 14.03.2018.
7. Buchloh B.H.D. Farewell to an identity. <http://undpun.blogspot.ru/2013/01/farewelltoidentity>. Data obrashcheniya: 14.03.2018.
8. Paul Ch. Digital Art. London: Thames and Hudson, 2003.

УДК 778.5(032)^{“Эйзенштейн С.М.”}
ББК 85.374

Попова Л.В.

ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ В ХУДОЖЕСТВЕННОМ ПРОИЗВЕДЕНИИ В ПОНИМАНИИ С.М. ЭЙЗЕНШТЕЙНА

Попова Лиана Владимировна, кандидат культурологии
E-mail: pliana@mail.ru
Московский гуманитарный университет

В статье рассматриваются теоретические взгляды С.М. Эйзенштейна на кино и другие виды искусств. Согласно Эйзенштейну, кинокадр представляет собой пространственно-временную форму, сочетание «духа пластики» и «духа музыки», аполлонического и дионисийского. Звук и изображение связываются между собой в единый образ путём «обертоного монтажа».

При просмотре зритель включается в творческий акт. Достигается это силой монтажа. Индивидуальность зрителя раскрывается в слиянии с авторским смыслом. Так зритель участвует в создании образа.

Ключевые слова: С.М. Эйзенштейн, П.А. Флоренский, кино, пространство, время, кинокадр, музыка, монтаж, ритм, движение.

Кинематограф, созданный потомственными фотографами братьями Люмьер, представлял в начале своего существования движущуюся фотографию. Движение достигалось простым соединением кадров, но эффект был ошеломительным. Это было новое, ранее не виданное искусство.

Сначала обратимся к предпосылкам возникновения кинематографа.

Эпоха рубежа XIX–XX веков сложная и неоднозначная. Это эпоха эстетизма и декаданса в Западной Европе и Серебряного века в России. Декаданс принято считать синонимом упадка. С другой стороны, он явился некоей эстетической революцией. Искусство получило полную автономию, с него были сняты все ограничения. Воспевалось и «светлое», и «тёмное». Искусство оказалось в ситуации безграничного выбора. Но в этом-то и таилась опасность, так как возрастала ответственность творческого деятеля за своё творчество. В то время главным властителем дум был Ф. Ницше, который определил творческого деятеля как человека, который «сам завоёвывает себе свою культуру и принуждает богов вступить с ним в союз, ибо в своей самоприобретённой мудрости он держит в руке их существование и пределы» [7, с. 90]. Свои эстетические взгляды Ницше выразил в трактате «Рождение трагедии из духа музыки». Искусство, в представлении Ницше, — синтез двух противоборствующих начал: аполлонического и дионисийского. Аполлон — бог света, Солнца, гармонии, искусства в целом. Дионис — бог вина, веселья, эйфории. У древних греков Аполлон является и богом музыки, недаром его атрибутом служит лира. Ницше наделяет этим свойством Диониса. Аполлон — бог пластических образов, он олицетворяет форму, меру, гармонию. Дионис — связан с непластическим искусством — искусством музыки [8, с. 268–272]. Относительно происхождения Диониса существует много различных мифов, но во всех мифах Дионис — бог «дважды рождённый».

Аналогии Диониса можно встретить в мифах других народов. Ярчайший пример тому — Осирис, бог возрождения и царь загробного мира в древнем Египте, убитый своим братом Сетом и изрезанный на части.

От Диониса ведёт своё происхождение греческий театр. Хор трагедии рождается из ритуального плача по Дионису.

По мнению С.М. Эйзенштейна, в основе киноискусства лежит «Дионис в чистом виде» или «метод Осириса» [12, с. 241]. Мистерии Диониса, раздирание Диониса на части, по Эйзенштейну, есть порог, за которым «фактическое культовое действие постепенно переходит в символ обряда с тем, чтобы затем стать образом в ис-

кусстве» [12, с. 223]. Формы обряда, считал Эйзенштейн, сохранились в разных формах культуры, в том числе в играх, ритуалах, например, коррида в Испании с последующим поеданием «тотемного зверя» [12, с. 223] в ресторанах, или пасьянс, кроссворд. Дионисизм нашёл отражение и в спортивных праздниках — создание определённой фигуры из тел гимнастов (пирамида). «Метод Осириса» присутствует и в литературе. Эйзенштейн видит его в центоне — сочинении, составленном из стихов или прозаических отрывков, взятых у одного или разных авторов, в детективных романах, особенно в романах о Шерлоке Холмсе (создание образа преступника по уликам). Итак, «Метод Осириса» связан с игрой. Образ же создаётся соединением определённых «кусков». В кинематографе — соединением кадров. Кинематограф превратил фотографию, искусство, останавливающее момент, мгновение, в «образ—движение», как определил его Ж. Делез [4]. Это определение до Ж. Делеза дал С. Эйзенштейн, согласно которому «не движение получается в этом случае, а наше сознание обнаруживает при этом способность два разобщённых явления сводить в обобщённый образ: две неподвижные фазы сводить в образ движения» [12, с. 168]. Образ рождается в монтаже: «Изображение — в кадре. Образ — в монтаже» [12, с. 297]. По мнению Ж. Делеза, в кино «визуальный образ исходит от Аполлона», музыкальный образ — «дионисийский» [4, с. 505].

Кинематограф явился, своего рода, ответом на вызовы эпохи, которая представляла собой сгусток противоречий — социально-политических, религиозно-мистических, этических и эстетических. Эпоха начала XX века, по мнению Н. Бердяева, самая «невоплощённая и незаконченная», в ней «дух музыки господствует над духом пластики» [1, с. 238]. Великая культура создаёт красоту в пластике. Такой была греко-латинская культура. Германский дух музыки пророчествует о культуре. Таким пророком был Бетховен. Но музыка перестала быть пророчеством, стала развлечением буржуазии, архитектура погибла, скульптура стала «нескульптурной». Музыка, в лице Скрябина, пророчествует о новой мировой эпохе. «Пророческое будущее не принадлежит ни германскому духу музыки, ни латинскому духу пластики, а лишь синтетическому теургическому искусству... переходящему за пределы культуры к новому бытию» [1, с. 238]. Новое искус-

ство, по мнению Н. Бердяева, лишено «катарсиса». Латинский дух пластики уступает место германскому «духу музыки», ярчайшим выражением которого явилось творчество Р. Вагнера. Музыка Вагнера — синтетическое искусство. Блестящим теоретиком синтетического искусства оказался Вяч. Иванов с его проповедью соборности. Выразителем синтетических стремлений в живописи Бердяев называет М. Чурлениса, который стремился синтезировать живопись с музыкой. Ещё более могущественный выразитель синтетических устремлений — А. Скрябин. Он «не довольствовался музыкой и хотел выйти за её пределы» [2, с. 402]. Скрябин хотел сотворить мистерию, в которой синтезировались бы все искусства. «Мистерию он мыслил эсхатологически. Она должна была стать концом этого мира» [2, с. 402]. Но этой мечте не суждено было осуществиться.

Выход из кризиса Бердяев видел лишь в теургическом искусстве. Но оно осталось прекрасной мечтой. Из символистов ближе всех к идеям теургии оказался Н. Рерих с его «Гималайской серией». А ценности элитарной культуры Серебряного века, по мнению Н.А. Хренова, стремились прорваться в массы.

И всё же «дух пластики» и «дух музыки» соединились в новом искусстве — кинематографе. При этом вопрос о теургии режиссёрами не обсуждался, но кинематографический процесс того времени свидетельствует, что «теургия развёртывалась в формах массового искусства» [10, с. 102]. «Не будет ошибкой утверждать, — считает Н. Хренов, — что С. Эйзенштейн подхватывает идеи символистов и развивает их применительно к осмыслению природы кино...» [10, с. 88].

Согласно С. Эйзенштейну, кино — столкновение двух методов: «метода изображения и метода образного становления» [12, с. 211]. Л. Кулешов выявил горизонтальный и вертикальный виды монтажа [6]. Эйзенштейн уточнил эти понятия: горизонтальный монтаж есть «монтаж в пластической области» [12, с. 355], т. е. рождается путём соединения кадров между собой; вертикальный монтаж — внутрикадровый. С этими понятиями Эйзенштейн связывал специфику кино, в которой «эти элементы в желаемой последовательности и акцентировке (размером во времени — метраж, или размером в пространстве — степень «крупноты») создают в восприятии тот образ явления, ... каким художник хочет

заставить видеть свою модель» [12, с. 406]. Обозначение «вертикальный монтаж», по Эйзенштейну, «вообще уместно для монтажа этапа звукового кино». Он ввёл также понятие «тонфильма» — синтетического зрелища, объединяющего многообразие средств, среди которых: «...игра человека. Игра звуков. Музыки и голосов. Игра объёмов. Игра ситуаций. Игра образов и мыслей» [12, с. 464]. А средство приведения всех этих величин в «партитуру тонфильма — монтаж» [12, с. 464].

И всё же Эйзенштейн двояко высказывался по поводу звука в кино. Звук в кино был изобретен Ли Де Форестом, и в 1927 году появились первые звуковые фильмы. В 1928 году С. Эйзенштейн, В. Пудовкин и Г. Александров выступили с «Заявкой», где оценивали звук как «обоюдоострое изобретение» [12, с. 482], опасность которого таится в том, что он будет использован «для «высококультурных драм» и прочих «сфотографированных» представлений театрального порядка» [12, с. 482, 483]. Таким образом, звук будет уничтожать культуру монтажа. Они предвидели ошибки кинодеятелей будущего и поэтому предлагали выработать «контрапунктический метод сочетания зрительного и звукового образа» [12, с. 488], т. е. «аполлонического» и «дионисийского», «духа пластики» и «духа музыки».

Согласно Эйзенштейну, кинокадр следует рассматривать не как пластическую единицу, а как «монтажный комплекс» [11, с. 393]. Неподвижный кадр ничем не отличается от живописного и представляет собой «закреплённый контур» [11, с. 393]. Подвижный кадр — след движения. Композиционной разницы между ними нет. Разница — в динамике.

Примечательно, что П. Флоренского, одного из основоположников учения о теургии, и С. Эйзенштейна волновали одни и те же теоретические вопросы. Согласно П. Флоренскому, композиция есть «форма изображаемого изображения как такового, т. е. способ взаимоотношения и взаимодействия изобразительных средств» [9, с. 128], которые применены в данном произведении. Конструкция, в отличие от композиции, как форма изображаемого произведения, есть «способ взаимоотношения и взаимодействия сил реальности, перелитой с помощью произведения, воспринимаемой через него» [9, с. 128]. Конструкции подчинено не произведение, а «действительность, произведением изображаемая», композиции — «самоё

произведение» [9, с. 121]. Всё вышеуказанное Флоренский относит к живописному произведению. С. Эйзенштейн, говоря о композиции отдельного кадра, считал, что искать его «предков» стоит в живописи. Произведения живописи содержат в себе движение, для того чтобы передать движение, нужно разложить неподвижное изображение на отдельные фазы. Художники XI–XIII веков, считал Эйзенштейн, ещё не умели схватить динамику. Совершенства в динамике, в передаче движений достигли, по его мнению, О. Домье, ещё раньше — Тинторетто, а ещё ранее — Леонардо да Винчи, кумир Эйзенштейна. У Домье — Тинторетто «фазы, сцены развёртываются между группами действующих лиц, которые, по существу, изображают стадии одного и того же акта, одного и того же поступка» [12, с. 394]. Классическим примером этого, согласно Эйзенштейну, служит «Путешествие на остров Цитеры» А. Вагто. Примечательно, что аналогичный пример приводит и П. Флоренский: «Все эти пары вполне объединены и сюжетно, и живописно, так что всё это движение справа налево представляется сплошным потоком...» [9, с. 248]. Кинематографический приём Эйзенштейн находит у Эль Греко. В его «Плане Толедо» он видит кинематографический приём показа архитектурно-пейзажного ансамбля, где все соотношения по высоте «даны в реальности, а не в перспективе» [12, с. 409].

Скульптура, согласно Эйзенштейну, пользуется монтажным приёмом ещё шире, чем живопись. Так поступает Микеланджело. «Анатомическая деформация и гипертрофия форм человеческого тела скрывают под собой тот же приём» [12, с. 162]. Неспроста Эйзенштейн обращается к исследованиям французского врача-невролога Г. Дюшена, который проводил опыты электрического раздражения отдельных мышц человека и описал это в труде «Механизм движения физиономии человека или электрофизиологический анализ выражения страстей» (1876). Дюшен представил голову «исправленного Лакоона». Оказалось, что в «анатомически возможном» Лакооне «нет и доли той динамики страдания, которая достигнута киноприёмом, сделала Лакоона бессмертным в веках!» [12, с. 163]. Античность, по мнению Эйзенштейна, «знала этот метод монтажа, и не только по линии подъёма интенсивности выражения страдающего лица» [12, с. 163], но и пользовалась тем же приёмом «для повышения выразительности характеристики» [12,

с. 163]. Сокращения мышц «Лакоона» взяты в разные промежутки времени. Это есть кинематографический приём.

«Четвёртое измерение?!», — восклицал Эйзенштейн, — «Эйзенштейн? Мистика? Пора перестать бояться этой “бяки” — четвёртого измерения» [12, с. 507]. Эйзенштейн ставит вопрос и о «пятом измерении». И этим измерением является «обертонный монтаж». Для того чтобы разобраться с этим понятием, следует обратиться к исследованию Эйзенштейном видов монтажа по линии кинетического ряда. Эйзенштейн разделяет монтаж на метрический, ритмический, тональный, обертонный и, наконец, интеллектуальный, как развитие обертонного.

Метрический монтаж — самый, казалось бы, простой, имеющий основным критерием построения повествования «абсолютные длины кусков» [12, с. 508], сочетающихся между собой согласно схеме. Но этот вид монтажа — сильное орудие психологического воздействия: «Его чёткость приводит в унисон “пульсирование” вещи и “пульсирование” зрительного зала» [12, с. 509].

При ритмическом монтаже фактическая длина кадра не совпадает с математической. Здесь важен ритм, темп. Ярчайший пример — «одесская лестница» в фильме «Броненосец “Потёмкин”». Сошествие ног солдат переходит в скатывание коляски, которая работает по отношению к ногам как ускоритель.

Тональный монтаж идёт по признаку «эмоционального звучания» куска. Этот кусок, как правило, доминантный. Эйзенштейн выделяет два вида тональности: световую и графическую. Световая тональность связана со степенью «светоколебания». «Светомонтажом», по мнению Эйзенштейна, владел ещё Эль Греко. Именно у него появляется «рембрантовский» свет задолго до рождения Рембранта, что проявилось в его картинах «Испанская поговорка» (вариант 1576–1577), «Мальчик, задувающий свечу» (1574–1576). Так или иначе, световая тональность связана с игрой света и тени. Графическая тональность даёт «резко звучащий кусок»: «Туманы в одесском порту (начало “Траура по Вакулинчуку” в “Потёмкине”» [12, с. 511].

Тональный монтаж имеет эмоциональную окраску. Обертонный монтаж есть его продолжение, но он отличается от него «суммарным учётом всех раздражителей от куска» [12, с. 513]. Обертон в кино сродни обертону в музыке, когда параллельно

основному звучанию вступают так называемые «биения»: очень большие турецкие барабаны, колокола, орган. «Это относится к резко выраженным тембровым инструментам с большим прева-лированием обертонного начала» [12, с. 514, 515]. Обертонный монтаж выводит восприятие из «мелодически эмоциональной окрашенности в непосредственно физиологическую осязаемость» [12, с. 513], т. е. воздействует на «психофизиологический» комплекс воспринимающего.

Четыре категории монтажа становятся монтажным построением тогда, «когда они вступают в конфликтные взаимоотношения друг с другом...» [12, с. 513]. Переход от метрического монтажа к ритмическому есть конфликт между длиной куска и внутрикадровым движением. И это очень мощное орудие воздействия на зрителя. Так Эйзенштейн монтирует сцену сенокоса в «Генеральной линии». Отдельные куски взяты «из бока кадра в бок» [12, с. 514]. Эйзенштейн приводит пример, когда зрители в зале начинали раскачиваться.

Переход к тональному монтажу есть конфликт между ритмическим началом и тональным. Обертонный монтаж — конфликт между тональным началом и обертонным. Четвёртая категория приливом физиологизма повторяет «в высшем разряде категорию первую, снова обретя стадию усиления непосредственной моторики» [12, с. 514]. Разрешить конфликт обертонов физиологических и обертонов интеллектуальных, считал Эйзенштейн, сможет «интеллектуальное кино» [12, с. 516]. Оно создаст особую кинематографию, что будет особым вкладом в историю культуры, соединив в себе науку и искусство.

Кино, по Эйзенштейну, — зрелищное искусство. Зритель включается в творческий акт. Достигается это силой монтажа. Индивидуальность зрителя «не только поработается индивидуальностью автора, но раскрывается до конца в слиянии с авторским смыслом...» [11, с. 171]. Образ, который являет нам искусство кино, есть «образ, который задуман и создан автором, но этот образ одновременно создан и собственным актом зрителя» [11, с. 171]. Н. Бердяев писал, что современное ему искусство лишено катарсиса. Кинематограф явил собой нечто новое, объединившее, подобно греческой трагедии, зрителей всех слоев общества и позволившее им испытать катарсис.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Появление такого искусства, как кино, было вполне закономерным. Кинематограф явился неким синтезом «духа пластики» и «духа музыки», сочетанием аполлонического и дионисийского. Кинокадр представляет собой единичный пространственно-временной комплекс, сочетание пластической и ритмической составляющих, имеет свою композицию, что роднит его, с одной стороны, с живописью, с другой — с наличием ритма и звуков — с музыкальным произведением. В монтаже соединением кадров рождается смысл произведения. Зритель становится соучастником этого рождения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бердяев Н.А. Философия творчества, культуры и искусства. В 2-х т. Т. 1. М.: Искусство, 1994. 542 с.
2. Бердяев Н.А. Философия творчества, культуры, искусства. В 2-х т. Т. 2. М.: Искусство, 1994. 510 с.
3. Грейвс Р. Мифы Древней Греции. М.: Прогресс, 1992. 624 с.
4. Делез Ж. Кино. М.: Ад Маргинем Пресс, 2013. 560 с.
5. Иванов В.И. Дионис и прадиониссийство. СПб.: Алетейя, 1994. 350 с.
6. Кулешов Л.В. Собрание сочинений В 3-х т. Т. 1. Теория. Критика. Педагогика. М.: Искусство, 1987. 448 с.
7. Ницше Ф. Сочинения в 2-х т. Т. 1. М.: Мысль, 1990. 829 с.
8. Попова Л.В. Интерпретация «демонического» в философии и эстетике Серебряного века // Знание. Понимание. Умение. 2013. № 2. С. 268–272.
9. Флоренский П. Анализ пространственности и времени в художественно-изобразительных произведениях. М.: Прогресс, 1993. 324 с.
10. Хренов Н.А. Образы «Великого разрыва». Кино в контексте смены культурных циклов. М.: Прогресс-Традиция, 2008. 536 с.
11. Эйзенштейн С.М. Избранные произведения в 6 т. Т. 2. М.: Искусство, 1964. 684 с.
12. Эйзенштейн С.М. Монтаж. М.: Музей кино, 2000. 592 с.

Liana V. Popova

SPACE AND TIME IN THE WORK OF ART
IN S.M. EISENSTEIN'S INTERPRETATION

Liana V. Popova, PhD (Cultural Studies)

E-mail: pliana@mail.ru

Moscow University for the Humanities

The article considers of S.M. Eisenstein's theoretical views of cinema and arts forms. According to Eisenstein, the shot represents a certain spatiotemporal form, a combination of «the spirit of plastics» and «the spirit of music», the Apollonian and the Dionysian. The sound and the image communicate between themselves in a uniform image by «overtone montage».

The viewer joins in the creative act. It is reached by editing. The identity of the viewer reveals in the merge with the author's message. Thus the viewer participates in the creation of an image.

Key words: S.M. Eisenstein, P.A. Florensky, cinema, space, time, shot, music, montage, rhythm, movement.

REFERENCES

1. Berdyaev N.A. Filosofiya tvorchestva, kul'tury i iskusstva. V 2-kh t. T. 1. M.: Iskusstvo, 1994. 542 p.
2. Berdyaev N.A. Filosofiya tvorchestva, kul'tury, iskusstva. V 2-kh t. T. 2. M.: Iskusstvo, 1994. 510 p.
3. Greivs R. Mify Drevnei Gretsii. M.: Progress, 1992. 624 p.
4. Delez Zh. Kino. M.: Ad Marginem Press, 2013. 560 p.
5. Ivanov V.I. Dionis i pradionissiistvo. SPb.: Aleteiya, 1994. 350 p.
6. Kuleshov L.V. Sobranie sochinenii V 3-kh t. T. 1. Teoriya. Kritika. Pedagogika. M.: Iskusstvo, 1987. 448 p.
7. Nitshe F. Sochineniya v 2-kh t. T. 1. M.: Mysl', 1990. 829 p.
8. Popova L.V. Interpretatsiya «demonicheskogo» v filosofii i estetike Serebryanogo veka // Znanie. Ponimanie. Umenie. 2013. No 2. P. 268–272.
9. Florenskii P. Analiz prostranstvennosti i vremeni v khudozhestvenno-izobrazitel'nykh proizvedeniyakh. M.: Progress, 1993. 324 p.

10. Khrenov N.A. Obrazy «Velikogo razryva». Kino v kontekste smeny kul'turnykh tsiklov. M.: Progress-Traditsiya, 2008. 536 p.
11. Eizenshtein S.M. Izbrannye proizvedeniya v 6 t. Vol. 2. M.: Iskusstvo, 1964. 684 p.
12. Eizenshtein S.M. Montazh. M.: Muzei kino, 2000. 592 p.

УДК 778.5.05:621.391
ББК 85.374

Гуляева Я.В.

**ПРЕОДОЛЕВАЯ АТТРАКЦИОН: ОСВОЕНИЕ
ДРАМАТУРГИЧЕСКОГО КОНФЛИКТА
В ФИЛЬМАХ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ**

Гуляева Яна Викторовна
E-mail: yanakinoed@gmail.com
Всероссийский государственный институт кинематографии
им. С.А. Герасимова

В статье выявлена аттракционная сущность фильмов виртуальной реальности, которая преодолевается в некоторых фильмах посредством разработки драматургической основы.

Приведена классификация драматургических конфликтов в фильмах виртуальной реальности, а также выявлены их основные характеристики.

Ключевые слова: виртуальная реальность, фильм виртуальной реальности, аттракцион, аттракционный эффект, драматургический конфликт.

Спрос на VR-развлечения основывается на нескольких факторах.

Во-первых, рынок предлагает всевозможные технические приспособления и программное обеспечение, доступные массовому пользователю.

Во-вторых, крупные интернет-игроки поддерживают рост популярности контента виртуальной реальности. Характерный

пример — организация специального канала VR-видео на видеостринге YouTube, агрегирующем самые востребованные у пользователей ресурса ролики в формате виртуальной реальности. На момент написания статьи количество подписчиков канала составило 2,8 миллиона человек.

В-третьих, с достижениями VR-индустрии можно познакомиться в режиме офлайн. Например, в Москве функционирует крупнейший парк аттракционов виртуальной реальности, представленный симуляторами и играми Oculus Rift и HTC Vive. Проводятся фестивали фильмов виртуальной реальности: VR Cinema Weeks 3008, EMC VR Film Festival.

Развивающаяся индустрия виртуальной реальности привлекает крупные студии и независимых авторов, создающих уникальный контент виртуальной реальности. Большинство выпускаемой продукции представляет собой аттракцион в эйзенштейновском понимании этого термина как «всякий агрессивный момент... подвергающий зрителя чувственному или психологическому воздействию, опытно выверенному и математически рассчитанному на определённые эмоциональные потрясения воспринимающего» [3, с. 270].

Если следовать терминологии Т. Ганнинга, развившего идеи русского авангардизма на примере ранних немых кинопримитивов, то можно говорить об аттракционе виртуальной реальности [4]. Современный этап развития VR-эстетики имеет много общих черт с эпохой рождения кинематографа как самостоятельного вида искусства.

Аттракционный эффект — коммуникативная ситуация, при которой какой-либо компонент изображения тем или иным образом воздействует на сознание зрителя.

Аттракционный эффект раскрывается в рамках коммуникативной системы «камера — виртуальное пространство — зритель». Качество взаимодействия этих элементов системы влияет на качество аттракционного эффекта.

В случае виртуальной реальности аттракционный эффект строится на основе нескольких факторов:

- 1) выбор необычных тем, сюжетов, локаций;
- 2) ослабление сюжетной составляющей;
- 3) эффект «полного погружения»;
- 4) отсутствие авторской интенциональности;

5) формирование специфического художественного пространства, взаимодействующего со зрителем.

Аттракционный эффект выполняет задачу вывести зрителя из пассивного состояния наблюдателя для того, чтобы превратить его в действующее лицо развёртывающегося перед ним пространства.

Творческий поиск средств выразительности и авторское осмысление эстетических возможностей языка виртуальной реальности привели к появлению первых VR-фильмов. Их отличие от VR-видео заключается в разработке самостоятельной драматургической основы с чётко определёнными темой, фабулой и персонажами.

На наш взгляд, ключевой эстетической проблемой фильмов виртуальной реальности является освоение драматургического конфликта. «Конфликт — (от лат. *conflictus* — столкновение) художественный — противоположность, противоречие как принцип взаимоотношений между образами художественного произведения» [1, с. 165].

Драматургический конфликт, как отмечает Л. Нехорошев, отличается тем, что «а) он создан и прочувствован автором и б) выражает определённую тему и идею произведения» [2, с. 158].

Драматургические конфликты в фильмах виртуальной реальности классифицируются следующим образом:

- 1) конфликт на уровне системы персонажей;
- 2) конфликт на уровне тематической оппозиции;
- 3) конфликт на уровне идеи.

Конфликт на уровне системы персонажей характерен, как правило, для фильмов, выпущенных крупными голливудскими киностудиями в соответствии с классической драматургической традицией тщательной проработкой сюжета.

Например, фильм «Invasion!» («Вторжение!», 2016) режиссёра Эрика Дарнелла разыгрывает классический сюжет голливудского фантастического фильма о космических пришельцах, стремящихся захватить Землю. Действие разворачивается на льду замёрзшего озера, куда приземляется корабль с двумя комическими инопланетянами на борту. Вступая в конфликт с белым кроликом, они по своей вине проваливаются под лёд и затем в ужасе покидают планету.

Драматургический конфликт проявляет себя в антагонизме между пришельцами и землянами. Вступая в условную «схватку»

с врагом, по форме напоминающую комический этюд, земле выходят победителями.

Действие разворачивается по классической схеме и имеет экспозицию, развитие, кульминацию и развязку.

Конфликт на уровне тематической оппозиции используется в большинстве фильмов виртуальной реальности с ослабленной сюжетностью. Для этого вида фильмов характерно наличие контурно прописанных персонажей, олицетворяющих определённую тему.

На наш взгляд, наиболее ярко конфликт тематической оппозиции проявляет себя в фильмах-хоррорах, составляющих весомую часть в выпускаемой VR-продукции.

Например, в фильме «IT: FLOAT — A Cinematic VR Experience» («IT: FOAT — Опыт кинематографического VR») киностудии Warner Bros. Pictures за основу взят эпизод из романа «Оно» Стивена Кинга. Единственный персонаж — клоун, заманивающий зрителя в канализационную трубу. Попадая под землю, жертва проходит через ужасающие испытания и в финале навечно остаётся в потустороннем мире.

Драматургический конфликт формируется на основе тематической оппозиции «жертва — палач». Развитие действия сопровождается последовательностью шокирующих (аттракционных по своей сути) ситуаций, которыми управляет персонаж клоуна. Такой тип конфликта в хоррорах, как правило, разрешается полной победой «зла», что свидетельствует о расхождении с повсеместно принятой в большом жанровом кинематографе доктриной «хэппи-энда».

Фильмы с конфликтом на уровне идеи характеризуются отсутствием сюжета и какой-либо персонализации. Тем не менее в их драматургической структуре можно проследить своеобразное развитие наррации и вычленить поворотные точки.

Так, фильм «Longing for Wilderness» («Тоска по дикой природе») режиссёра Марка Циммермана построен на противопоставлении среды мегаполиса и мира дикой природы. Повествование, лишённое сюжетных перипетий, строится на своеобразном побеге из бездуховного города. В финале зритель оказывается парящим на многокилометровой высоте над раскинувшейся бездной дикой природы.

Поворотная точка повествования — начало движения «вверх» и «вглубь». Зритель совершает стремительный переход границы

физической (между двумя мирами) и границы философской (цивилизационный разрыв).

Способ организации материала с опорой на конфликт на уровне идеи даёт возможность режиссёрам создавать личностные послания с подчёркнуто гуманистическим пафосом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современный уровень развития видеопродукции виртуальной реальности позволяет говорить о становлении феномена VR-фильма.

Режиссёры фильмов виртуальной реальности, разрабатывая драматургический конфликт, пытаются преодолеть аттракционность эстетики виртуальной реальности.

Драматургические конфликты в VR-фильмах можно поделить на три основных вида:

- 1) конфликт на уровне персонажей;
- 2) конфликт на уровне тематической оппозиции;
- 3) конфликт на уровне идеи.

Драматургический конфликт на уровне персонажей наследует традиции классического сюжетостроения.

Для драматургического конфликта на уровне тематической оппозиции свойственна ослабленная сюжетность с контурно прописанными персонажами.

Для драматургического конфликта на уровне идеи характерно отсутствие сюжета как такового и концентрация на выражении персонального послания.

Наличие видовой классификации драматургических конфликтов в фильмах виртуальной реальности позволяет говорить о становлении в пространстве массмедиа новой повествовательной системы, лежащей на границе традиционных нарративных моделей литературы и кинематографа и современных принципов изложения художественного материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Литературный энциклопедический словарь / под общ. ред. В.М. Кожевникова, П.А. Николаева. М.: Советская энциклопедия, 1987.

2. Нехорошев Л.Н. Драматургия фильма. М.: ВГИК, 2009.
3. Эйзенштейн С.М. Избранные произведения в 6-ти тт. Т. 2. М.: Искусство, 1964–1971.
4. Gunning T. The Cinema of Attraction: Early Film, Its Spectator, and the Avant-Garde // *Wide Angle*. 1986. № 8. P. 3–4.

Yana V. Gulyaeva

OVERCOMING THE ATTRACTION: MASTERING DRAMATIC CONFLICT IN VIRTUAL REALITY FILMS

Yana V. Gulyaeva

E-mail: yanakinoed@gmail.com

Russian Federation State Institute of Cinematography
named after S.A. Gerasimov

The article explores the problem of mastering the dramatic conflict in VR films. The author reveals the attraction essence of VR products which is overcome in some films by developing a dramatic basis. It gives the classification of dramatic conflicts in virtual reality films and identifies their main characteristics.

Key words: virtual reality, VR film, attraction, attraction effect, dramatic conflict.

REFERENCES

1. Literaturnyi entsiklopedicheskii slovar' / pod obshch. red. V.M. Kozhevnikova, P.A. Nikolaeva. М.: Sovetskaya entsiklopediya, 1987.
2. Nekhoroshev L.N. Dramaturgiya fil'ma. М.: VGIK, 2009.
3. Eizenshtein S.M. Izbrannye proizvedeniya v 6-ti tt. Vol. 2. М.: Iskusstvo, 1964–1971.
4. Gunning T. The Cinema of Attraction: Early Film, Its Spectator, and the Avant-Garde // *Wide Angle*. 1986. No 8. P. 3–4.

**Часть VI. ОБЪЁМНЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ
В ДРУГИХ ОБЛАСТЯХ**

УДК 792.5
ББК 85.335.42

Шульц С.А.

К ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ БАЛЕТА

Шульц Сергей Анатольевич, доктор филологических наук
E-mail: s_shulz @ mail.ru

Потенциал феноменологической философии позволяет в балете зафиксировать роль пространственно-телесно-спиритуального начала в его объёмности (идеаторной и физической), в его сопричастности непосредственно «жизненному миру», в его допредикативности и формам сознания/мышления индивида.

Ключевые слова: балет, феноменология, идеаторное, физическое, пространственная линия, объёмность, «жизненный мир».

Балет отличается от других видов искусства особым акцентированием пространственности, специфика чего может быть проанализирована с позиций феноменологической философии.

В XX веке философы М. Хайдеггер, П.А. Флоренский, А.Ф. Лосев и др. отметили неправомочность постулирования некоего абстрактного и всегда равного себе пространства и, вместе с тем, факт пространствосоздающего потенциала самих внутримировых вещей [8, 12, 16]. Хотя идея была не нова, но она существенно повлияла на развитие последующей гуманитарной мысли.

Балет (подобно всякой вещи мира в широком значении и в частности всякому танцу) не существует в пространстве, он сам создаёт пространство и является им в обязательной объёмности

последнего, в его глубине и вышине, многомерности, причём пространство не может существовать без этих качеств. Эстетическая организация пространства балетом означает акцентирование модуса фикциональности (вымысла) в творимом пространстве. То, что в балете организуемое (произведённое) пространство не только эстетическое, но и физическое, реальное в прямом значении, подразумевает его бóльший вес и бóльшую наполненность (в том числе в плане объёмности), бóльшую онтологическо-онтическую укоренённость, а также допущение различных игровых переворачиваний измерений собственно эстетического и собственно реального пространства.

Объёмный пространственный рисунок балета проявляется в телесных линиях исполнителей, т. е. через телесный семантический код, в данном случае существующий также в виде реального. Телесный семантический код претерпевает в балете некую спиритуалистическую трансформацию, что допустимо выразить словами А.А. Ахматовой: «...Плоть, почти что ставшая духом...» [1, с. 330].

Модернистка Ахматова набрасывала либретто балета по своей «Поэме без героя» (откуда взята цитата), выражая не только идею синтеза искусств (или синэстетизма) и их «переводимости» на «языки» друг друга, но косвенно задавая также неизменно присущую балету идею некоей модерности через его связь с современностью.

Телесность (так же и спиритуализованная) хронотопична: обладает пространственностью и временем (через свою «длительность»), в этом её объёмность. Личный хронотоп каждого исполнителя, представляющего персонаж, вписан в общий хронотоп балетного спектакля, причём этот общий хронотоп не должен и не может быть только обрамляющим, внешним*: он тесно сцеплён со всеми личными и иными хронотопами внутри их общности, общности балетной постановки.

Личные хронотопы также и личностные: иначе говоря, они провоцируют ансамбль индивидуальных импровизаций в зависимости от индивидуальных особенностей каждого исполнителя и репрезентируемого (точнее: символизированного) им персонажа.

* Принципиальность не только обрамляющей роли хронотопа отмечалась Л. Витгенштейном [17].

Пространственные линии, создаваемые исполнителем балета (несмотря на потенциал их вольной импровизации, вообще их различных «неправильностей»), почти геометрические. Эти телесно-спиритуальные линии составляют главный смысл балета, его формальное (без их фактуры балета вообще нет) и содержательное условие как «чистого акта бесконечных метаморфоз» [4, с. 196] (каковым и выступает балет).

П. Валери в эссе «Дега, танец, рисунок» приводит субъективистскую трактовку линий, объясняемую лишь усилиями «наших глаз»: «Все те формы, какие являет нам в виде контуров наше зрение, рождаются в восприятии при синхронных смещениях двух наших глаз, удерживающих чёткий образ. Это удерживающее движение и есть линия» [3, с. 247]. В этом случае объёмность видения скорее коренится в наших собственных усилиях, чем в качествах самого объекта. Такая оценка восходит к ницшевской идее «воли к оптике» [9, с. 169], т. е. к идее самого желания (и вообще способности) видеть.

Кроме того, П. Валери рассуждает об участии памяти в появлении линий (общих всем пространственным искусствам): «Каждый взгляд на модель, каждая линия, проводимая глазом, становятся мгновенными элементами воспоминания, и в этом-то воспоминании рука на бумаге и почерпнёт закон своего движения. Визуальное начертание преобразуется в начертание ручное» [3, с. 247]. Иначе говоря, объёмное видение переходит в некое объёмное «технэ» (ср. аналогичные процессы в искусстве кино в статье [14]). Балет через процедуры памяти обращается в том числе к другим формам разных других линий, различных исторически (в частности, к формам восходящей к землемерию геометрии, на чём сфокусировал внимание Э. Гуссерль, о чём далее).

Вместе с тем в диалоге П. Валери «Душа и танец», посвящённом классическому балету, намечена объективистская концепция танца, связывающая его с сократовской идеей самопознания (тем самым — с сознанием и мышлением): «...ты находишь в этой танцовщице что-то сократическое, раз она учит нас, посредством ходьбы, немножко лучше себя понимать?» [4, с. 190]. Далее танец связывается с музыкой как его основой, и о танцовщице говорится: «Музыка заменяет ей душу» [4, с. 191]. Скорее всего, объёмность музыкального звука позволяет, неизбежно переакцентировавшись,

перейти звуку в объёмность танцевальных линий. Объёмность звука музыки — не только реализация/раскрытие её содержания (как тех или иных чувственных идей), но и реализация/раскрытие её формы, т. е. способа звучания.

Э. Гуссерль в «Началах геометрии» определил точку отсчёта, исток геометрии как землемерие, т. е. как некие сугубо жизненные и даже просто «житейские» практики, базирующиеся на допредикативном, довербальном восприятии целого «жизненного мира» вообще [6]. «Жизненный мир» — в основе наук и искусств, которые должны помнить о своём истоке. Память о «жизненном мире» в линиях балета проявляется в проступающей через них объёмности их истока, даваемой благодаря способности ощутить тактильность, непосредственную данность самой реальности, причём до её логицистского освоения*.

Балет, в силу условности искусства, то приподнимается над непосредственными практиками «жизненного мира», то, напротив, «упадает» в самый этот мир — это когда балет «вспоминает» о своих основах. Это во многом соответствует описанному Гуссерлем процессу «смыслообразования и смыслооседания» в построении и данности явлений жизненного мира. Не надо думать, что две стороны процесса (образование и оседание) просто сменяют друг друга: они сосуществуют совершенно одновременно (симультанно), в чём их парадоксальный историзм.

Балетные движения условны и символичны, но они обобщают безусловный (полностью конкретный) опыт различных практик тела в их философско-жизненной (неотвлечённой) идее.

Геометричность пространственного рисунка балета способна напомнить об опыте авангарда XX века, с его попыткой возвращения к геометрическим фигурам и линиям (в живописи супрематизма, кубизма, абстракционизма и др.; в театральном опыте В.Э. Мейрхольда и т. д.) В этом отношении балет всегда «авангарден» — однако, точнее, будет сформулировать через более общий термин: «модернен». Однако и архаическое искусство часто геометрично в буквальном значении. Интерес к архаике в модерне (например, «Улисс» Джойса) означал — через ряд исторических редукций и инверсий — именно интерес к современности.

* Пространственно-тактильное начало получило в современной философии название «топология» [12].

В.А. Подороге принадлежит ценное наблюдение о «диапазоне телесных движений» Ф. Кафки как автора текстов: «<...> обращают на себя внимание два постоянно повторяющихся (движения. — С. Ш.): *вытягивание* и *свёртывание*» [10, с. 408] (выделено В.А. Подорогой).

Это наблюдение о ярчайшем представителе искусства модернизма полностью относимо ко многим балетам Дж. Ноймайера, также ярко модернистским. Например, в «Русалочке» исполнители в создаваемых ими образах последовательно то выходят «из себя» за счёт движений вверх, в стороны и т. п., то напротив, возвращаются «в себя» благодаря отказу от «вытягиваний», преодолению их. Подобный двигательный диапазон символизирует то трансгрессию (преступание границ, выход за пределы) «я» и его тела, то некое «самоумаление» «я» как возвращение к своему отказывающемуся от поиска каких-то других положений месту. Тело понято здесь в виде инстанции, единственно неотчуждаемой от индивида. Последовательность и плавность такого диапазона, т. е. ритма в целом, у Ноймайера оформляет и гармонизирует мир во фрагментарной цельности последнего, т. е. парадоксально.

М.М. Бахтин в ранних работах 1920-х годов (где, подобно более поздним сочинениям, налицо рефлексы феноменологии) ввёл различие внешнего тела и внутреннего тела: в различных «этико-религиозно-эстетических концепциях тела» «преобладает то внутреннее, то внешнее тело, то субъективная, то объективная точка зрения, то в основе живого опыта, из которого вырастает идея человека, лежит самопереживание, то переживание другого человека» [2, с. 130].

Бахтин объясняет это разностью воспринимающих установок в отношении «я» и «другого» (т. е. в аспекте диалогизма и предвосхищаемой более поздней идеи карнавальности): «В одном случае процесс построения идеи человека (человек — как ценность) может быть выражен так: человек — это я — как я сам себя переживаю. Другие — такие же, как и я. Во втором случае: человек так: человек — это окружающие меня другие люди, как я их переживаю, я — такой же, как и другие. <...> Конечно, дело идёт лишь о преобладании того или иного момента, <...> оба входят в целое человека» [2, с. 130].

В балете оба отмеченных Бахтиным момента неизбежно существуют, и они никогда не могут быть разорваны, отмежёваны друг от друга (так и в карнавале)*. Одно не может отменить другое: внутреннее тело — только для внешнего, и наоборот. Это означает, в рамках темы данной статьи, наличие в телесно-пространственно-спиритуальных линиях балетного рисунка внутренней и внешней объёмности. В каком виде существуют две последние? В обоих случаях — также через некую вполне тактильную, осязательную объёмность. Всякая идеаторность сама по себе также осязательна [15] — и уже тем самым объёмна.

Критикуя чрезмерное акцентирование на самопереживании, Бахтин имел в виду прежде всего некие возможные в связи с этим уклонения от идеи диалога, однако же самопереживание в его значимости для другого — неопределимо; оно особенно важно для романтических форм балета (например, для М. Петиша).

Бахтинские термины по поводу внутреннего и внешнего тела так или иначе коррелируют с гуссерлевскими категориями «тело — субъект» и «тело — объект» [7] (так категории названы у В. Подороги [11, с. 125, 126]): дело не только в том, что Бахтину, скорее всего, могла быть известна данная работа Гуссерля, но и в конструировании обоими авторами парадигм телесного кода.

Кроме того, Бахтин отмечал: «Ясно, что при определяющем значении категории “другого” в созидании идеи человека будет преобладать эстетическая и положительная оценка тела: человек воплощён и живописно-пластически значителен. Внутреннее же тело только примыкает к внешнему, отражая его ценность, освящаясь им. Таков человек в античности в эпоху расцвета» [2, с. 130]. Эстетическая пластичность балета подразумевает специфическую пространственную объёмность, выделяющую себя на фоне других объёмностей (например, полностью непластичных), сосуществующую с ними. Здесь мы выходим уже к теме места балета в ряду различных искусств и вещей (явлений) мира в целом.

Потенциал феноменологической теории позволяет зафиксировать в балете роль пространственно-телесно-спиритуального начала в его объёмности (идеаторной и физической), в его сопри-

* Яркие карнавализованные формы балета — вплоть до по-феллиниевски цирковых — мы сегодня видим у Ж.-К. Майо. Построения Майо, уже через одно использование карнавальности, непосредственно причастны «жизненному миру».

частности непосредственно «жизненному миру» в его допредикативности и формам сознания/мышления индивида.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Балет, причастный, подобно другим наукам и искусствам, «жизненному миру», создаёт свою объёмную и тактильную спиритуализованную пространственность/телесность, не забывающую о своём истоке. «Жизненные» основы балета выказывают себя через его пластический пространственно-телесный язык.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахматова А.А. Поэма без героя / Сочинения в 2 т. М.: Правда. 1990. Т. 1. С. 319–345.
2. Бахтин М.М. Автор и герой в эстетической деятельности / Собрание сочинений в 7 т. М.: Языки славянской культуры, 2003. Т. 1. С. 69–263.
3. Валери П. Дега, танец, рисунок (1936) // Валери П. Об искусстве. 2-е изд. / пер. с фр. В. Козового. М.: Искусство, 1993. С. 241–259.
4. Валери П. Душа и танец (1921) // Валери П. Об искусстве. 2-е изд. / пер. с фр. В. Козового. М.: Искусство, 1993. С. 183–204.
5. Гоголь Н.В. Мёртвые души / Полное собрание сочинений и писем в 17 т. М., Киев: Издательство Московской Патриархии, 2009. Т. 5. С. 6–485.
6. Гуссерль Э. Идеи к чистой феноменологии и феноменологической философии. Кн. 1. (1913). / пер. с нем. А.В. Михайлова. М.: Академический проект, 2009.
7. Гуссерль Э. Начало геометрии (1936) / Введение Ж. Деррида. / пер. с нем. М. Маяцкого. М.: Ad Marginem, 1996. С. 210–245.
8. Лефевр А. Производство пространства. М.: Streike Press, 2015. 432 с.
9. Ницше Ф. Воля к власти. Опыт переоценки всех ценностей. / пер. с нем. Е. Герцык и др. М.: Культурная Революция, 2005. 880 с.
10. Подорога В.А. Выражение и смысл. Ландшафтные миры философии. М.: Ad Marginem, 1995. 428 с.
11. Подорога В.А. Феноменология тела. Введение в философскую антропологию. Материалы лекционных курсов 1992–1994 годов. М.: Ad Marginem, 1995. 340 с.

12. Проценко Н.П. Перспективы применения топологической перспективы в современном социально-философском анализе. Таганрог: ЮФУ, 2010. 90 с.

13. Хабермас Ю. Модерн — незавершённый проект / Хабермас Ю. Политические работы. М.: Праксис, 2005. С. 16–28.

14. Шульц С.А. К феноменологии визуальности в кино // Человек. 2016. № 4. С. 86–99.

15. Шульц С.А. Стендаль, Пушкин, Гоголь: к метафизике «памятника» // Вопросы литературы. 2018. № 1. С. 87–112.

16. Шульц С.А. П.А. Флоренский и М. Хайдеггер: поэтика пространственности // Восток—Запад: пространство природы и пространство культуры в русской литературе и фольклоре. Волгоград: Перемена, 2011. С. 97–103.

17. Шульц С.А. Хронотоп драмы А.В. Вампилова «Прошлым летом в Чулимске» (с интертекстуальными параллелями) // Кризисные ситуации и жанровые стратегии / ред.-сост. В.В. Савелов, В.И. Тюпа, О.В. Федунина. М.: Эдитус, 2017. С. 172–180.

Sergey A. Shulz

TO THE PHENOMENOLOGICAL THEORY OF BALLET

Sergey A. Shulz, PhD, Sc. D. (Philological Sciences)

E-mail: s_shulz@mail.ru

The potential of the phenomenological theory of ballet allows us to fix the role of the space-corporeal-spiritual principle in its bulk (ideational and physical) and in its direct involvement in the «life world» in its pre-anticipation and the forms of consciousness / thinking of the individual.

Key words: ballet, phenomenology, ideational, physical, spatial lines, volume of space, «life world».

REFERENCES

1. Akhmatova A.A. Poema bez geroya / Sochineniya v 2 t. M.: Pravda. 1990. Vol. 1. P. 319–345.

2. Bakhtin M.M. Avtor i geroi v esteticheskoi deyatelnosti / Sobranie sochinenii v 7 t. M.: Yazyki slavyanskoi kul'tury, 2003. Vol. 1. P. 69–263.

3. Valeri P. Dega, tanets, risunok (1936) // Valeri P. Ob iskusstve. 2-e izd. / per. s fr. V. Kozovogo. M.: Iskusstvo, 1993. P. 241–259.

4. Valeri P. Dusha i tanets (1921) // Valeri P. Ob iskusstve. 2-e izd. / per. s fr. V. Kozovogo. M.: Iskusstvo, 1993. P. 183–204.

5. Gogol' N.V. Mertvye dushi / Polnoe sobranie sochinenii i pisem v 17 t. M., Kiev: Izdatel'stvo Moskovskoi Patriarkhii, 2009. Vol. 5. P. 6–485.

6. Gusserl' E. Idei k chistoi fenomenologii i fenomenologicheskoi filosofii. Kn. 1. (1913). / per. s nem. A.V. Mikhailova. M.: Akademicheskii proekt, 2009.

7. Gusserl' E. Nachalo geometrii (1936) / Vvedenie Zh. Derrida. / per. s nem. M. Mayatskogo. M.: Ad Marginem, 1996. P. 210–245.

8. Lefevr A. Proizvodstvo prostranstva. M.: Streike Press, 2015. 432 p.

9. Nitsche F. Volya k vlasti. Opyt pereotsenki vseh tsennostei. / per. s nem E. Gertsyk i dr. M.: Kul'turnaya Revolyutsiya, 2005. 880 p.

10. Podoroga V.A. Vyrazhenie i smysl. Landshaftnye miry filosofii. M.: Ad Marginem, 1995. 428 p.

11. Podoroga V.A. Fenomenologiya tela. Vvedenie v filosofskuyu antropologiyu. Materialy lektсионnykh kursov 1992–1994 godov. M.: Ad Marginem, 1995. 340 p.

12. Protsenko N.P. Perspektivy primeneniya topologicheskoi perspektivy v sovremennom sotsial'no-filosofskom analize. Taganrog: YuFU, 2010. 90 p.

13. Khabermas Yu. Modern — nezavershennyi proekt / Khabermas Yu. Politicheskie raboty. M.: Praksis, 2005. P. 16–28.

14. Shul'ts S.A. K fenomenologii vizual'nosti v kino // Chelovek. 2016. No 4. P. 86–99.

15. Shul'ts S.A. Stendal', Pushkin, Gogol': k metafizike «pamyatnika» // Voprosy literatury. 2018. No 1. P. 87–112.

16. Shul'ts S.A. P.A. Florenskii i M. Khaidegger: poetika prostranstvennosti // Vostok—Zapad: prostranstvo prirody i prostranstvo kul'tury v russkoi literature i fol'klore. Volgograd: Peremena, 2011. P. 97–103.

17. Shul'ts S.A. Khronotop dramy A.V. Vampilova «Proshlym letom v Chulimske» (s intertekstual'nymi parallelyami) // Krizisnye situatsii i zhanrovye strategii / red.-sost. V.V. Savelov, V.I. Tyupa, O.V. Fedunina. M.: Editus, 2017. P. 172–180.

УДК 004.9
ББК 32.81

Кувшинов С.В., Харин К.В., Усков Г.Н.

ОБРАЗОВАНИЕ СРЕДСТВАМИ ИСКУССТВА В ТРЁХМЕРНОЙ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Кувшинов Сергей Викторович, кандидат технических наук
E-mail: kuvshinov@rsuh.ru
Международный институт новых образовательных технологий
Российского государственного гуманитарного университета

Харин Константин Викторович
E-mail: kharin.k@rggu.ru
Международный учебно-научный центр перспективных медиа
технологий Российского государственного гуманитарного
университета

Усков Глеб Николаевич
E-mail: gleb.uskov@gmail.com
Компания «3D Лига»

Новые технологии виртуальной и дополненной реальности существенно меняют формы подачи учебного материала и формы коммуникации, требуют нового типа учебного пространства, построенного по образу визионариума и методических разработок, учитывающих новый стиль подачи и анализа учебного материала.

Ключевые слова: виртуальная реальность, дополненная реальность, визионариум, интерактивные технологии.

Современная ситуация в профессиональном образовании, подготовленная как внутренними процессами, так и общим ходом на-

учно-технического и социокультурного развития, радикально отличается от «классического» периода, характерного для XX века [5].

Во-первых, стало совершенно очевидно, что работа в научно-исследовательских и культурно-просветительских областях и соответствующее им преподавание — это два принципиально отличных вида деятельности. У них не совпадают как предметы, так и методы. Эти виды деятельности требуют разных навыков, склонностей и мотивов. Что у них во многом совпадает, так это информационное обеспечение. Причём старое разделение знания на учебное и научное потеряло информационный смысл и приобрело новый — методический.

Во-вторых, стало отчётливо ясно, что считать и дальше студента «чёрным ящиком» неразумно — при таком подходе невозможно адекватно оценивать «педагогический эффект».

В качестве примера так называемых «познавательных затруднений» приведём одну из проблем, известную в психологии развития, — так называемую проблему сохранения Пиаже [8]. Из анализа этой проблемы можно вывести многие следствия фундаментального характера. В частности:

1) Существуют (индивидуально) такие «зоны» в изучаемом материале, что даже целенаправленные упражнения не дают каких-либо успехов в их усвоении (что называется, «не даётся» тема, форма, расчёт...). Важно такие области своевременно диагностировать и преодолевать «затруднения» с помощью специальных методик, включающих эти «зоны» в общий контекст восприятия студента (понятие «контекст», вместе с такими как «фоновое знание», «неявное знание» и др. требуют специальной разработки в психологии образования).

2) Необходимо значительно глубже учитывать влияние среды (за пределами и помимо организованного учебного процесса, особенно в условиях бурного развития сетевых технологий), в которой происходит обучение. Эта среда непостижимо сложна, насыщена самой разнообразной, постоянно меняющейся и потенциально не ограниченной по объёму информацией. Учёт такой информации, с помощью специальных методик, должен быть, естественно, многосторонним, в том числе и как гигантское приращение учебно-познавательных ресурсов, и как источник множества различных неосознаваемых ошибок и заблуждений, например, только за счёт непроизвольной подмены одной информации другой.

3) Обучение человека — это совсем не кумулятивный «порционный» процесс наращивания объёмов информации и её упорядочивания с помощью каких-то самоконтролирующихся механизмов.

Люди учатся через опыт, но восприятие и усвоение информации осуществляется через знания. В данном случае это понятие из области интеллектуальных, экспертных систем, означающее информацию типа правил игры, описываемую декларативным языком; этимологически исходное — «знать» соответствует таким понятиям как: «уметь», «соблюдать», «признавать», «быть в состоянии (мочь)». Каково происхождение и форма этих знаний — вопрос открытый, однако экспериментально установлено, что наши знания специализируются в зависимости от контекста, в котором они были приобретены, и от ситуации, в которой они чаще всего использовались. Часто в ином информационном поле они не эффективны. Таким образом, эти знания не слишком универсальны и существенно ограничиваются конкретным опытом.

Ясно, что не только психологически, но и концептуально меняется роль преподавателя в учебном процессе. Часто из практически единственного источника знаний он превращается в организатора учебного процесса и его деятельность направлена не на объект, а на процесс обучения средствами, методам и, в целом, культуре исследования и изучения. Главной целью является выработка навыков и умений самостоятельно выбирать и обосновывать цели и находить оптимальные способы их достижения.

Наличие и невероятно стремительное развитие новых информационных, компьютерных и аудиовизуальных технологий, в том числе и в образовании, резко, до минимальных пределов сужает возможности «классической модели» учебного процесса. И вопрос не в том, применять или не применять эти технологии, и даже не в том, как их применять, а в том, как найти такую новую модель учебного процесса, в которой любое развитие новых технологий только расширяло бы возможности педагогического процесса. Тем самым мы вновь возвращаемся к исходной проблеме современного образования — необходимости новой формулировки целевых ориентиров: кого учить, для чего учить и как учить.

Информационные, коммуникационные и аудиовизуальные технологии становятся фундаментом, основой для построения структуры новой образовательной среды, организации учебно-исследовательского пространства нового типа [7]. В результате этого

возможно осуществление перехода с репродуктивного типа обучения на креативный. Одним из действенных способов решения этой задачи является организация учебного процесса в новом пространстве, которое сегодня называют виртуальным!

Виртуальное образовательное пространство может рассматриваться как учебная среда принципиально нового типа, предназначенная для моделирования процессов и ситуаций в широком спектре изучаемых дисциплин [1]. Думается, что с точки зрения дидактики такая учебная среда может претендовать на очередной уровень освоения предметного и операционального полей. Кроме того, на повестке дня современного образования находится вопрос комплексного изучения влияния новых информационных, коммуникационных и аудиовизуальных технологий на обучаемых, а для исследования учебного процесса в условиях реального времени для работы экспертов требуются специальным образом оборудованные помещения. По сути системной интеграции такая виртуальная среда представляет собой новый тип учебно-исследовательской лаборатории, моделирующей самые сложные и разнообразные ситуации начиная с экспозиций музеев до производственных цехов.

Сегодня подготовка будущих специалистов в учебных центрах и вузах проводится, как правило, в аудиториях, оборудованных компьютерной, проекционной, аудио- и видеотехникой, устройствами интерактивной визуализации. Поэтому применение технологий дополненной реальности (AR — augmented reality) [3] и тем более виртуальной (VR — virtual reality) не становится чем-то экзотичным, а представляется логическим продолжением внедрения высоких технологий в образование. Однако отметим, что работа преподавателя в таких условиях пока ещё далека от совершенства, это связано со сложностью самого оборудования и с трудностью оперативного управления. Сегодня эта задача решается привлечением ассистентов и технических специалистов.

Внедрение технологий виртуальной реальности в образовательный процесс в настоящее время проходит стадию ознакомления с принципами и опытной эксплуатации. Конечно, это связано с ограниченным набором компьютерных моделей (сред) и отсутствием на настоящий момент соответствующих методик применения данных технологий. Очевидно, что проблема сопротивления нововведениям внедрения дополненной и виртуальной реальности вызвана не только консерватизмом и некомпетентностью, а обу-

словлена объективными трудностями процесса перехода от старого к новому, от одной модели обучения к принципиально другой!

В Международном институте новых образовательных технологий Российского государственного гуманитарного университета сегодня ведутся работы по внедрению технологий виртуальной реальности в процесс подготовки специалистов гуманитарных областей, в частности специалистов музеологов. Созданная новая виртуальная образовательная среда картинной галереи и музея реконструированных машин и механизмов Леонардо да Винчи позволяет, во-первых, познакомить будущих специалистов со спецификой восприятия нового культурно-образовательного пространства и, во-вторых, дать практические навыки построения подобных сред [6].

Рассмотрим несколько подробнее виды виртуальной и дополненной реальности.

Когда выпускники в своей будущей работе столкнутся с применением современных технологий в музейной экспозиции или в современном искусстве, они уже должны иметь представление как о технической части построения таких систем, так и о смысловом применении технологий для передачи авторского замысла.

В последние годы во многих мировых музеях активно применяются технологии виртуальной и дополненной реальности не только для улучшения информативности экспозиции, но и для привлечения посетителей wow-эффектом, что сопутствует коммерческому успеху.

В музейном и образовательном пространствах уже никого не удивить следующими технологиями, которые активно адаптированы и молодёжью, и художниками, и преподавателями:

- 1) 3D-технологии (компьютерная графика и стереоизображения) для создания музейного и образовательного контента;
- 2) 3D-шлемы для виртуальных прогулок и экскурсий;
- 3) проекционные 3D-системы для усиления погружения в виртуальную среду;
- 4) CAVE и подобные системы для создания эффекта аттракциона;
- 5) дополненная реальность (например, на планшетах и смартфонах) для совмещения представления артефактов и информации о них.

Этот список технологий далеко не исчерпывающий. Естественно, идёт поиск новых технологических возможностей для

музейных проектов, где применяются и видеомэппинг [2], и лазерное оборудование, и проекционные инсталляции, и многое другое.

Как правило, новые технологии гармонично соседствуют с обычными способами и методами освещения истории и представления артефактов. Смысл использования технологий заключается в возможности показать объекты и процессы с необычного ракурса, сделать их более наглядными и понятными, внедрить эксперимент в процесс познания.

На вопрос: какие же дополнительные возможности восприятия дают технологии виртуальной и дополненной реальности? — ответа пока нет. Сейчас открыты большие возможности по экспериментальному применению этих технологий.

Что же добавляет применение новых технологий в мире искусства?

1) Сближение с объектом (погружение) через технологии 3D, VR.

2) Помещение в исторический или иной контекст, когда прорабатывается не только сам артефакт, но и историческое окружение, что гармонирует с современным философским подходом к изучению не только произведения, но и набора смыслов, которые привели к его созданию.

3) Отображение невидимого (например, что находится сбоку от картины (экспоната) или что находится внутри объекта). И если в художественной экспозиции это скорее попытка реконструкции или доработка замысла автора, то в инженерных инсталляциях — это неотъемлемая часть конструкции, которая показывает принципы работы конструкции.

4) Инсталляция с использованием артефакта (например, художественная обработка объекта или отображение дополнительной интерактивной информации об объекте).

5) Визуальная интерактивность (например, сборка/разборка, демонстрация принципов функционирования или использования и т. п.)

6) Задействование других каналов восприятия (запахи, вибрации, тактильность и др.), что позволяет получить новые измерения в ощущениях.

После анализа технологических возможностей по применению технологий виртуальной и дополненной реальности в учебном процессе авторами была выработана постановка задачи: на



Рис. 1. Фрагмент демонстрации динамической модели в виртуальном музее с всплывающим описанием

базе технологического пространства Международного института новых образовательных технологий Российского государственного гуманитарного университета и учебного музея создать ряд экспериментальные сред:

- создать прототип виртуальных интерактивных музейных 3D-систем;
- реализовать различные подсистемы отображения артефактов в виртуальном музейном пространстве;
- отработать применение этих учебных виртуальных музейных пространств в учебном процессе;
- разработать дальнейший план для реализации проекта современного учебного виртуального музея.

Так как основополагающим в образовательном применении технологий является контент, то было принято решение разработать несколько вариантов виртуальной экспозиции:

- картины в 2D- и 3D-формате;
- скульптуры;
- исторические инженерные конструкции и сооружения.

Контент в виртуальной реальности создаётся интерактивным. По музею можно перемещаться, есть динамические модели, а также отработана технология всплывающих описаний виртуальных артефактов (рис. 1).



Рис. 2. Фрагмент виртуального художественного музея в стереоформате

Для реализации проекта использовались системы, которые уже установлены в образовательном центре РГГУ, а также была инсталлирована отдельная система для демонстрации виртуальной реальности в шлеме VR.

Для решения этих задач в рамках пилотного проекта были реализованы следующие технологии:

- показ VR-музея в шлеме виртуальной реальности Cinemizer;
- показ VR-музея на проекционной системе в форматах 2D/3D-стерео (рис. 2);
- интерактивное перемещение в музее с технологией 3DConnexion (6DOF-манипулятор).

Выполненная работа была экспериментальной. В результате реализации были выявлены следующие проблемы, которые зависят от технологии реализации.

1) В современных шлемах VR сложно выводить большие блоки текстовой информации (например легенды объектов) из-за недостаточного разрешения. Однако легенды хорошо читаются при использовании проекционной системы.

2) Навигация в виртуальном пространстве требует привыкания, если геймеры быстро адаптируются, то взрослые люди не всегда. Отдельный вопрос удобства навигации в шлеме VR, когда не видно своих рук.

3) Для получения новых свойств музейного пространства требуется глубокая проработка контекста, сценариев, информации, иначе отличие от музейного пространства обычного музея не столь ощутимо.

4) Для использования свойств виртуальной реальности требуется проработка музейного пространства для создания аутентичности, а также подбор артефактов и сценариев.

По результатам выполнения проекта запланировано продолжение работ по улучшению виртуального музея и виртуальных образовательных приложений:

1) Продолжить разработку виртуальных музейных пространств Леонардо да Винчи.

2) Добавить сборку/разборку музейных экспонатов, восстановленных по чертежам, но отработать сценарии для обучения, добавить игровые головоломки по мотивам его чертежей. Сложность заключается в том, что Леонардо да Винчи делал только наброски инженерных конструкций, а не точные трёхмерные чертежи.

3) Разработать обучающие сценарии взаимодействия с виртуальными моделями в виртуальной среде, возможно сделать квест в мире Леонардо да Винчи.

4) Подготовить интерпретацию предсказаний Леонардо да Винчи в виртуальной реальности, формирование виртуальных миров Леонардо.

5) Подготовить демонстрацию работы оружейных изобретений Леонардо.

Внедрение технологий виртуальной реальности в учебный процесс имеет обратную сторону. Признавая успехи студентов в освоении предметного поля гуманитарных дисциплин, отметим негативные симптомы, которые уже проявились у обучающихся. В первую очередь это так называемое киберукачивание [4]. Первые упоминания об этом появились в 1993 г., когда компания SeGa разработала первый прототип стереоскопических очков для видеоигр, которые давали возможность полностью погрузиться в мир виртуальной реальности, что стало возможным благодаря маленьким дисплеям, проецировавшим трёхмерную картинку на сетчатку глаз.

Причиной киберукачивания при восприятии виртуальной реальности является сенсорный конфликт между частями зрительно-

го аппарата. Когда трёхмерный объект как бы покидает плоскость экрана, при взгляде на него глазные яблоки поворачиваются вовнутрь. Однако хрусталики продолжают фокусировать свет, исходящий от экрана, чтобы изображение сохраняло свою чёткость. Несмотря на то что положение зрачков изменилось, кривизна хрусталика остаётся прежней. Такое состояние не нормально и вызывает, как правило, приступ тошноты. Однако, как показывает практика, ощущение киберукачивания сравнительно быстро уходит при рациональном дозировании времени пребывания в виртуальном пространстве.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время вполне очевидна связь между новыми цифровыми технологиями, технологиями виртуальной реальности и расширением эвристического, развивающего подхода в образовании в целом. Создание виртуальных образовательных сред различного уровня предоставляет как учащимся, так и педагогам качественно новые возможности для творческого обучения. Разумеется, роль и ответственность всех участников педагогического процесса только возрастают. Отталкиваясь от опыта использования в учебном процессе виртуальной среды, можно наглядно сравнивать механизмы образовательных технологий при репродуктивном и креативном подходах вне зависимости от предметной ориентации. Наличие новой образовательной среды, построенной на цифровых технологиях виртуальной реальности, предоставляет несопоставимо большие возможности для творческого, эмоционального обучения, чем существующие мультимедийные формы информационного обеспечения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ануфриева Э.Б., Кувшинов С.В., Пряничников В.Е., Харин К.В. Технологии синтеза цифровых средств и методов образования // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2015. Т. 13. № 7. С. 82–87.
2. Видеомаппинг. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Видеомаппинг>. Дата обращения: 10.04.2018.
3. Дополненная реальность. https://ru.wikipedia.org/wiki/Дополненная_реальность. Дата обращения: 10.04.2018.

4. Кувшинов С.В. Технологии трехмерной визуализации для преподавания гуманитарных дисциплин // Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других областях: VI Международная научно-практическая конференция, Москва, 17–18 апреля 2014 г.: Материалы и доклады / под общей редакцией О.Н. Раева. М.: ВГИК, 2014. С. 239–244.

5. Кувшинов С.В., Харин К.В. Образование XXI века: от трёхмерного восприятия к трёхмерному мышлению // Мир техники кино. 2016. № 2 (10). С. 15–21.

6. Кувшинов С.В., Харин К.В. Применение технологии дополненной реальности в образовательной и культурно-экспозиционной деятельности // Инновационные технологии в кинематографе и образовании: IV Международная научно-практическая конференция, Москва, 26–29 сентября 2017 г.: Материалы и доклады / под общей редакцией О.Н. Раева. М.: ВГИК, 2017. С. 224–235.

7. Кувшинов С.В. EduBrication — инновационный тренд европейского образования // Инновационные технологии в кинематографе и образовании: Научно-практическая конференция. Москва, 29–31 октября 2014 г.: Материалы и доклады / под редакцией О.Н. Раева. М.: ВГИК, 2014. С. 178–183.

8. Пиаже Ж. Избранные психологические труды. М.: Просвещение, 1969.

Sergey V. Kuvshinov, Konstantin V. Kharin, Gleb N. Uskov

EDUCATION BY MEANS OF ART IN THREE-DIMENSIONAL VIRTUAL REALITY

Sergey V. Kuvshinov, PhD (Engineering)

E-mail: kuvshinov@rggu.ru

International Institute of the New Educational Technologies, Russian State University for the Humanities

Konstantin V. Kharin

E-mail: kharin.k@rggu.ru

International Center of the Prospective Media Technologies, Russian State University for the Humanities

Gleb N. Uskov

E-mail: gleb.uskov@gmail.com

3D Liga Limited

New technologies of virtual and augmented reality significantly change the way of presentation of academic material and forms of communication in educational environment. They require a new type of educational space based on the model of vizonarium and methodological manuals using the new style of presentation and analysis of educational material.

Key words: virtual reality, augmented reality, vizonarium, interactive technology.

REFERENCES

1. Anufrieva E.B., Kuvshinov S.V., Pryanichnikov V.E., Kharin K.V. Tekhnologii sinteza tsifrovyykh sredstv i metodov obrazovaniya // Informatsionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy. 2015. Vol. 13. No 7. P. 82–87.

2. Videomapping. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Videomapping>. Data obrashcheniya: 10.04.2018.

3. Dopolnennaya real'nost'. https://ru.wikipedia.org/wiki/Dopolnennaya_real'nost'. Data obrashcheniya: 10.04.2018.

4. Kuvshinov S.V. Tekhnologii trekhmernoi vizualizatsii dlya prepodavaniya gumanitarnyykh distsiplin // Zинтерфейс программирования приложений' i vosproizvedenie ob'emnykh izobrazhenii v kinematografe i drugikh oblastiakh: VI Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, Moskva, 17–18 aprelya 2014 g.: Materialy i doklady / pod obshchei redaktsiei O.N. Raeva. M.: VGIK, 2014. P. 239–244.

5. Kuvshinov S.V., Kharin K.V. Obrazovanie KhKhI veka: ot trekhmernogo vospriyatiya k trekhmernomu myshleniyu // Mir tekhniki kino. 2016. No 2 (10). P. 15–21.

6. Kuvshinov S.V., Kharin K.V. Primenenie tekhnologii dopolnennoi real'nosti v obrazovatel'noi i kul'turno-ekspozitsionnoi deyatel'nosti // Innovatsionnye tekhnologii v kinematografe i obrazovanii: IV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, Moskva, 26–29 sentyabrya 2017 g.: Materialy i doklady / pod obshchei redaktsiei O.N. Raeva. M.: VGIK, 2017. P. 224–235.

7. Kuvshinov S.V. EduBrication — innovatsionnyi trend evropeiskogo obrazovaniya // Innovatsionnye tekhnologii v kinematografe i obrazovanii: Nauchno-prakticheskaya konferentsiya. Moskva, 29–31 oktyabrya 2014 g.: Materialy i doklady / pod redaktsiei O.N. Raeva. M.: VGIK, 2014. P. 178–183.

8. Piazhe Zh. Izbrannyye psikhologicheskie trudy. M.: Prosveshchenie, 1969.

УДК 778.5.05; 778.534.6
ББК 85.37

Лиховцева А.В.

КОМПЬЮТЕРНАЯ АНИМАЦИЯ И ИНТЕРАКТИВНАЯ СРЕДА — ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ГОРОДСКОГО ПРОСТРАНСТВА

Лиховцева Анастасия Владимировна
E-mail: likhovtsev@yandex.ru
Компания «AVRORA»,
Студия художников им. В.В. Верещагина МВД России

В статье рассмотрены технологии компьютерной анимации как дополнительные возможности актуализации и развития музейного и городского пространства.

Ключевые слова: кино, телевидение, виртуальная среда, компьютерная игра, арт-объект, анимация, мультимедиа, 3D, QR-код, информационные технологии, видеоарт, современное искусство.

Пространственная среда человека в эпоху массмедиа претерпела существенные изменения. Компьютерные технологии и новые информационные возможности стали неотъемлемой частью нашей жизни, они обогатили и наполнили жизненное пространство. Сегодня человек постоянно пребывает в мощном и сложном по организации информационном потоке. С одной стороны, этот фактор облегчает, улучшает и качественно изменяет восприятие информации человеком, с другой стороны — усложняет вопрос выделения основных критериев и категорий явления, изменяет процесс на-

правленного и качественного отбора информации. Сегодня презентация любого материала, лишённого косвенных и дополнительных познавательных возможностей, информационного бэкграунда и перспективы развития, априори проигрывает по востребованности и классифицируется сознанием современного человека как однослойная и второстепенная.

Именно по этой причине восприятие искусства в эпоху массмедиа также требует использования новых технических возможностей. Практика оснащения различных культурных объектов QR-кодом (англ. Quick Response Code — код быстрого реагирования) уже получила широкое распространение в современном мире: QR-коды активно используются в сферах образования, рекламы, туризма, как для прокладывания маршрутов, так и для предоставления информации о различных объектах. QR-код это считываемая мобильным приложением метка, содержащая информацию об объекте, к которому она привязана.

Применение технических новшеств должно развивать возможности репрезентации материала и выводить на новый уровень восприятия информации. Широкое оснащение архитектурных ансамблей и городской скульптуры подобными носителями позволит донести до зрителя не только обширную историческую информацию, но и информацию по авторам, персоналиям, сюжету, поводу к установке монумента и т. п.

Современный мир насыщен высокотехнологичными электронными устройствами и располагает новыми возможностями носителей и передачи данных. В случаях, когда эти возможности адаптированы к области изобразительного искусства, появляется интересный творческий синтез компьютерных игр, анимации и кино, в которые интегрирован реальный артобъект. Информация, привязанная к артобъекту, может быть предложена зрителю не только в форме исторической или информационной справки, доступной через мобильное приложение, но и в форме смоделированной дополненной реальности, анимированного персонажа или даже компьютерной игры, главным героем которой может выступать исторический персонаж. Мобильное приложение позволяет зрителю увидеть анимированные виртуальные персонажи и объекты дополненной реальности в реальном архитектурном пространстве или на площадке скульптурного объекта и даже вступить с ними

в интерактивную тематическую игру в реальном времени, подразумевающую диалог или взаимодействие, подобно компьютерным ролевым играм. Таким образом, благодаря мобильному устройству зритель посещение культурного объекта в городской среде может превратиться в доступную историческую ролевою игру квест.

Компьютерная ролевая игра — жанр компьютерных игр, основанный на элементах игрового процесса традиционных настольных ролевых игр. Этот принцип может быть адаптирован и к реальному пространству городской площади или парка, в котором, например, городская скульптура будет выступать персонажем, связывающим два мира — реальный и исторический виртуальный.

Изначально тактические игры подразумевают исследование мира, взаимодействие, строятся на приключениях персонажей, которых можно ассоциировать с самим игроком. Стратегическая игра — жанр компьютерных игр, в которых залогом достижения победы является планирование и стратегическое мышление. Смысл таких игр заключается в управлении определёнными ресурсами, которые необходимо преобразовать в преимущество над противником при помощи оперативного плана, разрабатываемого с учётом меняющейся обстановки. Соединение этих принципов и подходов может рассматриваться как инновация в области образования.

В качестве примера подобной практики, пока в рамках пространства выставочного зала, приведём парижскую выставку, приуроченную к празднованию 160-летия ювелирного дома Boucheron, которая проходила с 12 по 28 января 2018 г. в помещении Монетного двора [2]. Посещение выставки было бесплатное, но требовалась онлайн регистрация. По данным Boucheron выставку посетило более 20 тыс. человек. Экспозиция интерактивной образовательной выставки была рассчитана на любого, кто хотел познакомиться с историей и ювелирным искусством модного дома Boucheron, и включала, помимо исторической ретроспективы, составившей основу экспозиции, архивные материалы, знаменитые рекламные плакаты, знаковые ключевые украшения и часы разных лет выпуска. Находкой дизайнеров выставки стал анимированный персонаж — кот Владимир, созданный по методу дополненной реальности, который действительно жил в бутике на площади Вандом в конце XIX века. Анимированного кота можно было увидеть при помощи приложения для смартфонов

Vendorama, наведя камеру телефона на специальные тумбы, располагавшиеся в разных частях экспозиции: кот вставал на колено и открывал коробочку с кольцом для помолвки или, например, исполнял песню Эдит Пиаф.

Эта технология уже внедрена в некоторых музеях [1]. Так, с 2018 года коллекция импрессионистов Государственного музея изобразительных искусств им. А.С. Пушкина в Москве стала доступна для посетителей в мобильном приложении «Artefact». Зрители могут использовать свой мобильный телефон в качестве интерактивного гида по экспозиции и получить подробный рассказ о любой картине, художнике, истории её создания и реставрации. Шведский Музей Средиземноморья в Стокгольме использует стереотехнологии для «оживления» египетских мумий, подвергшихся томографическому сканированию и отображенных на специальном интерактивном столе: детализованная цифровая модель позволяет послойно изучать содержимое саркофага и анатомию мумии. Разработчики приложения «Artefact» создали платформу, на которой музеи могут размещать разный двумерный и трёхмерный контент, применительно к каждому конкретному случаю памятника, на французском, немецком, испанском, китайском и японском языках.

До сих пор и художники, и критики стремятся разделить традиционное искусство и современное. Художников делят на «классиков» и «актуальщиков», забывая, что все мы живём в современном мире и являемся представителями своего времени. Художественный язык может быть разным и должен быть разным, неправильно отказываться от новых технических и технологических возможностей, которые необходимо адаптировать и синтезировать для качественно новой подачи информации, так же как неверно отказываться от истории и культурной традиции, опыта работы с художественным образом и сводить глубинный многогранный смысл художественного произведения к надуманному, поверхностному и примитивному.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новые технические средства и приложения сегодня дают возможность анимации шагнуть далеко за пределы фильма и компьютерной игры, выйти из пространства экрана и стать самостоятельным полноценным сложным арт-объектом, подразумевающим не

только комплекс художественных достоинств, но и образовательный интеллектуальный контент. Если несколько лет назад только факт появления в городском пространстве «ожившего покемона» уже производил фурор, то для современного общества «всплывающий» в смартфоне персонаж уже не вызывает прежнего неподдельного восторга и удивления. Согласно всеобщему закону развития, любая идея должна обрести совершенную форму и содержание. Жизнь анимированного персонажа, которая ранее была ограничена сценарием фильма или компьютерной игры и оставалась «по ту сторону экрана», ворвалась в личное пространство зрителя и стала интерактивной — теперь она зависит, в некоторой степени, от наших пожеланий и действий, взаимодействует с нами и закономерно получает несколько сценариев вариаций развития сюжета, изначально предусмотренных разработчиками. Анимированный персонаж уже является не только продуктом развлекательной индустрии, он приобрёл новые пространственные возможности и функции, получил возможность стать инновацией в области образования.

Оснащение архитектурных ансамблей, городской скульптуры и её пространства, площадей, парков и скверов не только QR-кодами, но и игровой интерактивной средой, а также анимированными персонажами дополненной реальности позволит зрителю вступить в стратегическую интерактивную компьютерную игру в реальном времени, привязанную к конкретным историческим персонажам, которым посвящены объекты культурного наследия и памятники. Такой подход не только изменит отношение к культурному наследию, но и снабдит объекты своего рода постоянной подробной экскурсией онлайн, заставит фактически ожить в образах и «заговорить» молчаливые исторические персонажи с молодым поколением, что представляется исключительно важным в рамках воспитательной политики государства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коробейникова К. В Пушкинском музее представили приложение дополненной реальности: шедевры ожили. Презентовали музейное приложение «Artefact». <http://www.mk.ru/culture/2018/03/12/v-pushkinskom-muzee-predstavili-dopolnennuyu-realnost.html>. Дата обращения: 26.03.2018.

2. Минакова А. Суть с котом. Boucheron показал выставку Vendorama. <https://www.kommersant.ru/doc/3554851>. Дата обращения: 26.03.2018.

Anastasia V. Likhovtseva

COMPUTER ANIMATION AND INTERACTIVE ENVIRONMENT: ADDITIONAL FEATURES OF THE URBAN SPACE

Anastasia V. Likhovtseva

E-mail: likhovtsev@yandex.ru

Company «AVRORA», Studio artists of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation named V.V. Vereshchagin

The article describes the technologies of computer animation as additional opportunities for actualization and development of museum and urban space.

Key words: cinema, television, virtual environments, computer games, art object, animation, multimedia, 3D, Quick Response Code, information technologies, video art, contemporary art.

REFERENCES

1. Korobeinikova K. V Pushkinskom muzee predstavili prilozhenie dopolnennoi real'nosti: shedevry ozhili. Prezentovali muzeinoe prilozhenie «Artefact». <http://www.mk.ru/culture/2018/03/12/v-pushkinskom-muzee-predstavili-dopolnennuyu-realnost.html> Data obrashcheniya: 26.03.2018.

2. Minakova A. Sut' s kotom. Boucheron pokazal vystavku Vendorama. <https://www.kommersant.ru/doc/3554851>. Data obrashcheniya: 26.03.2018.

УДК 004.9
ББК 32.97

Трубочкина Н.К.

ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ФРАКТАЛЬНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СТЕРЕОКАРТИН ДЛЯ ГАЛЕРЕЙ СОВРЕМЕННОГО ИСКУССТВА С СЕНСОРНЫМ ТЕХНИЧЕСКИМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ

Трубочкина Надежда Константиновна, доктор технических наук, профессор
E-mail: nd-painting@list.ru
МИЭМ НИУ Высшая школа экономики

В статье предлагается технология создания фрактальных динамических стереокартин с сенсорным управлением и алгоритм работы галереи таких картин.

Ключевые слова: фрактал, фрактальная динамическая стереокартина с сенсорным управлением, послойная модель фрактальной сенсорной стереокартины, алгоритм работы галереи фрактальных динамических сенсорных стереокартин.

ВВЕДЕНИЕ

Компьютерное, или цифровое, искусство возникло с появлением компьютеров и сегодня является частью современного искусства, изобразительными средствами которого стали информационные технологии и различные устройства (компьютеры, проекторы, сенсоры (датчики) и т. д.). К артобъектам цифрового искусства относятся объекты в цифровом представлении, такие как фотогра-

фия, компьютерная графика, цифровая анимация и кино, цифровые световые инсталляции, виртуальная и дополненная реальности.

В книге Кристианы Пол «Цифровое искусство» [2], проведён анализ развития искусства в условиях появления новых технологий и технических средств. По мнению автора книги, «цифровое искусство — это симбиоз развития техники и художественных практик двадцатого века». В среде коммуникаций и технологий искусство ищет новые формы. Цифровое искусство свободно от какой-то направленности, правда, в последнее время склоняется от ArtPlay (искусство для развлечений) в сторону ArtScience (искусство на базе науки). В рамках цифрового искусства в последнее время наметилось направление алгоритмического искусства. Это связано с тем, что художники, много лет связанные с компьютерами и умеющие программировать, воспринимают программирование как дополнительное средство создания художественного образа.

Цифровое искусство сводится к алгоритмическому переводу одних данных и параметров в другие или к интерактивному взаимодействию зрителя с этими данными без особого значения художественного образа произведения [7] (назовём такой вариант концепцией 1).

Евгений Афонин [3] утверждает, что «чистого искусства, как заметили многие исследователи, уже не существует, всё главное давно придумано, разобрано и снова придумано». В этом смысле цифровое искусство не исключение, оно, как любое искусство, ищет свой выразительный язык. Художники находятся в постоянном поиске новых сочетаний техник и технологий, пытаются создавать необычные образы и художественные эффекты.

Марсель Дюшан придаёт особое значение не форме цифрового искусства, а его содержанию [1] (назовём этот вариант концепцией 2).

Несмотря на большое количество используемых технологий и направлений, цифровое искусство формируется на основе двух основных концепций (рис. 1):

— концепция 1 (ArtPlay) — искусство, чтобы «поиграть»;

— концепция 2 (ArtScience) — искусство на базе науки; здесь возможны варианты, в которых художественный образ может быть, а может и отсутствовать.



Рис. 1. Модели двух основных концепций цифрового визуального искусства

Рассмотрим реализацию концепций цифрового визуального искусства на примерах.

РЕАЛИЗАЦИЯ КОНЦЕПЦИИ 1

В концепции 1 работают многие галереи современного цифрового искусства, например, Галерея «Марс» в Москве [8]. В основе контентной составляющей галереи — компьютерная графика, программирование, интерактивность, использование датчиков.

На рис. 2 приведены примеры цифрового визуального искусства в концепции 1 и 2.

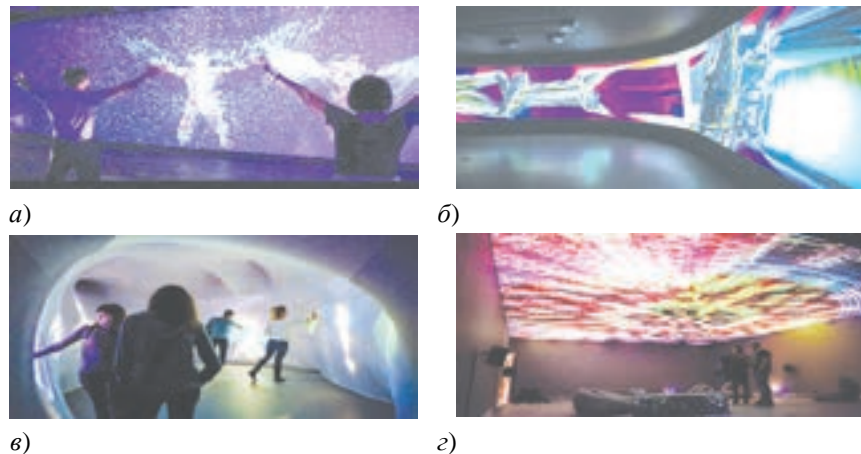


Рис. 2. Примеры цифрового искусства: *а* — галерея «Марс»; интерактивное взаимодействие на базе программирования и использования датчиков (концепция 1); *б* — мультимедийные инсталляции (концепция 1); *в* — зал абстрактных фракталов (концепция 2); *г* — световая инсталляция на потолке (концепция 1)



Рис. 3. Примеры цифрового искусства (концепция 2): *а* — Лондон, музей науки, зал математики; *б* — использование фракталов в интерьерах; проектное цифровое искусство (архитектура, интерьеры)

Возможность создания арт-объектов на базе не только программирования и компьютерной графики, но и с использованием науки, например математики, даёт цифровому искусству большие возможности.

РЕАЛИЗАЦИЯ КОНЦЕПЦИИ 2. ARTSCIENCE

В Лондонском музее науки [5] фракталы были использованы для архитектурных и интерьерных арт-объектов (рис. 3). Автор статьи работает в области фрактальной живописи и кино и описывает технологию создания фрактальных динамических стереокартин (делается попытка поиска художественного образа) для галерей современного искусства с сенсорным техническим обеспечением.

ПРЕДЛАГАЕМАЯ ТЕХНОЛОГИЯ (ЭТАПЫ)

Целью работы являлась разработка технологии создания фрактальных динамических стереокартин для галерей современного искусства с сенсорным техническим обеспечением, удовлетворяющих следующим критериям:

- наличие художественного образа;
- объёмность фрактальных художественных образов;
- возможность рассмотрения образа в динамике;
- энергоэкономичность для световых галерей.

На рис. 4 представлена последовательность этапов данной технологии, состоящая из:

- 1) расчёт 3D-фрактала (статика) — создание художественного образа;



Рис. 4. Этапы предлагаемой технологии

- 2) расчёт фрактальной последовательности (кадры анимации);
- 3) создание сенсорной картины;
- 4) разработка алгоритма работы сенсорной фрактальной 3D-галереи.

Рассмотрим более подробно каждый из этапов предлагаемой технологии.

1. РАСЧЁТ 3D-ФРАКТАЛОВ (СТАТИКА) — СОЗДАНИЕ ХУДОЖЕСТВЕННЫХ ОБРАЗОВ

Сначала в программе Mandelbulb3d [4] разрабатываются и рассчитываются на компьютере с нужной точностью статические 3D-фракталы, обладающие некоторым художественным смыслом (статическая математическая картина).

На рис. 5 показаны примеры таких фракталов: «Сине-зелёный город», «Фантастическая планета», «Золотая маска», «Клоун», «Мир в “шашечку”», «Город из цветных кубиков», «Сколково», «Нашествие».

Каждый такой статический фрактал (система уравнений и параметров) является основой для расчёта динамического фрактала, представляющего собой, например, поворотную анимацию, имитирующую процесс рассматривания трёхмерного объекта с разных сторон. Это также может быть фрактальный фильм с различными движениями и трансформациями.



Рис. 5. Примеры статических 3D-фракталов

2. РАСЧЁТ ФРАКТАЛЬНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ (КАДРЫ)

Последовательность кадров для динамического 3D-фрактала рассчитывается в той же программе Mandelbulb3d, в блоке Animation.

На рис. 6 показан интерфейс программы Mandelbulb3d при расчёте фрактальной последовательности (кадров анимации) для фрактала «Клоун».



Рис. 6. Интерфейс программы Mandelbulb3d при расчёте фрактальной последовательности (кадров анимации) для фрактала «Клоун»

В данном эксперименте были рассчитаны 100 кадров для повторяющейся поворотной анимации при использовании двух ключевых кадров. Время расчёта одного кадра при размере 400×225 пикселей составило от 3 до 5 минут для компьютера с оперативной памятью 6 Гб и с 2-ядерным процессором с тактовой частотой 2,4 ГГц каждый.

3. СОЗДАНИЕ СЕНСОРНОЙ ФРАКТАЛЬНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ КАРТИНЫ

На рис. 7 показан интерфейс программы Adobe Flash, в котором в основной сцене создаётся многослойная сенсорная (программируемая на воздействие) картина.

Сенсорная картина состоит из слоёв:

- сама динамическая картина, т. е. фрактальное поворотное видео в слое «picture» (рис. 8);
- зона захвата курсора (датчика присутствия) в слое «button» (рис. 9);
- скрипты управления (скрыты в слоях нижнего уровня);
- вспомогательные слои оформления (рама, название, автор).

Из интерфейса, приведённого на рис. 8, видно, что динамическая картина представляет собой покадровую анимацию (слой «film»), управляемую программой, определяющей «поведение» картины (слой «script»).

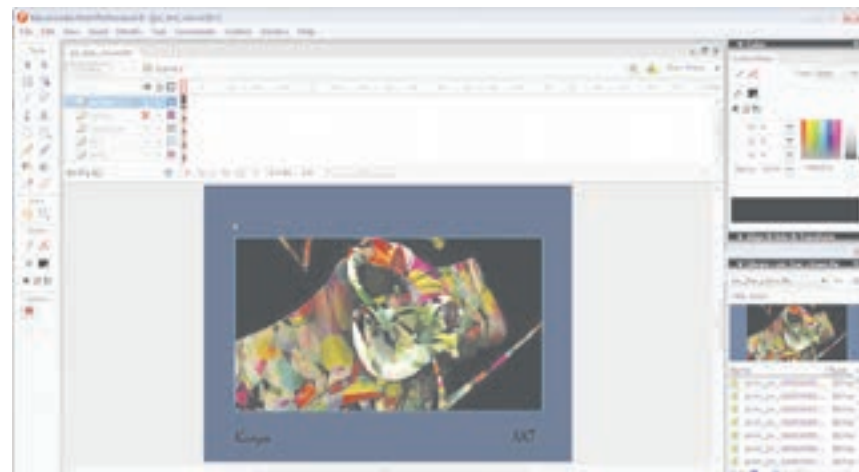


Рис. 7. Интерфейс программы Adobe Flash. Многослойная сенсорная картина

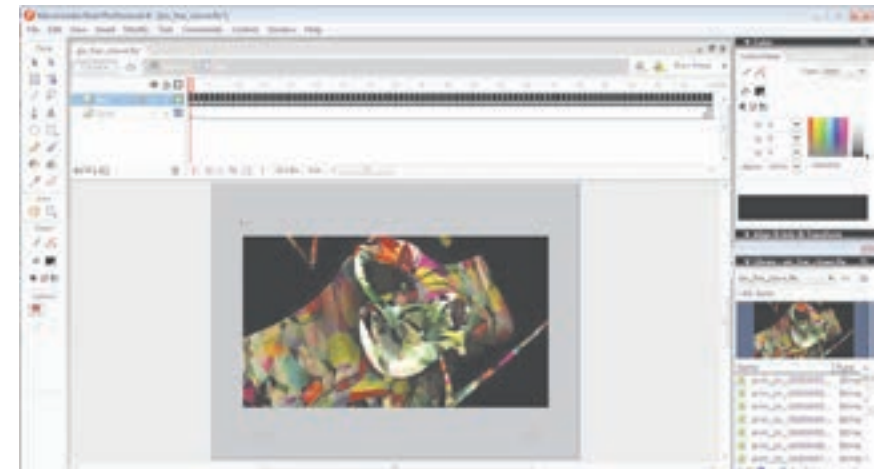


Рис. 8. Динамическая картина (фрактальное поворотное видео)

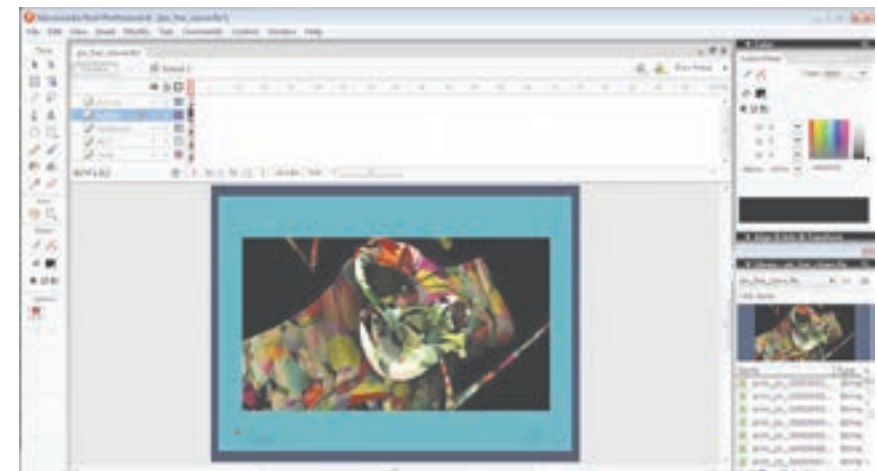


Рис. 9. Зона захвата курсора (датчика присутствия)

Чтобы привязать скрипт к определённой зоне пространства, в главной сцене используется слой «button», в котором находится невидимая кнопка с прямоугольником в четвёртом (невидимом) состоянии, определяющим зону действия кнопки, к которой «привязан» скрипт поведения анимации.

На рис. 9 голубой прямоугольник определяет зону захвата курсора на компьютере или датчика присутствия в галерее.

4. АЛГОРИТМ РАБОТЫ СЕНСОРНОЙ ФРАКТАЛЬНОЙ 3D-ГАЛЕРЕИ

На рис. 10 представлен алгоритм работы сенсорной галереи с фрактальными динамическими 3D-картинами.

На сайте автора статьи [6] представлен проект интерактивной световой галереи 3D-фракталов, созданных по рассмотренной технологии. Чтобы увидеть, как работает такая сенсорная галерея, на компьютере необходимо установить Flash-Player.

1. Для того чтобы «выключить» изображение на сайте, необходимо по нему нажать левой клавишей мыши. Это можно сделать

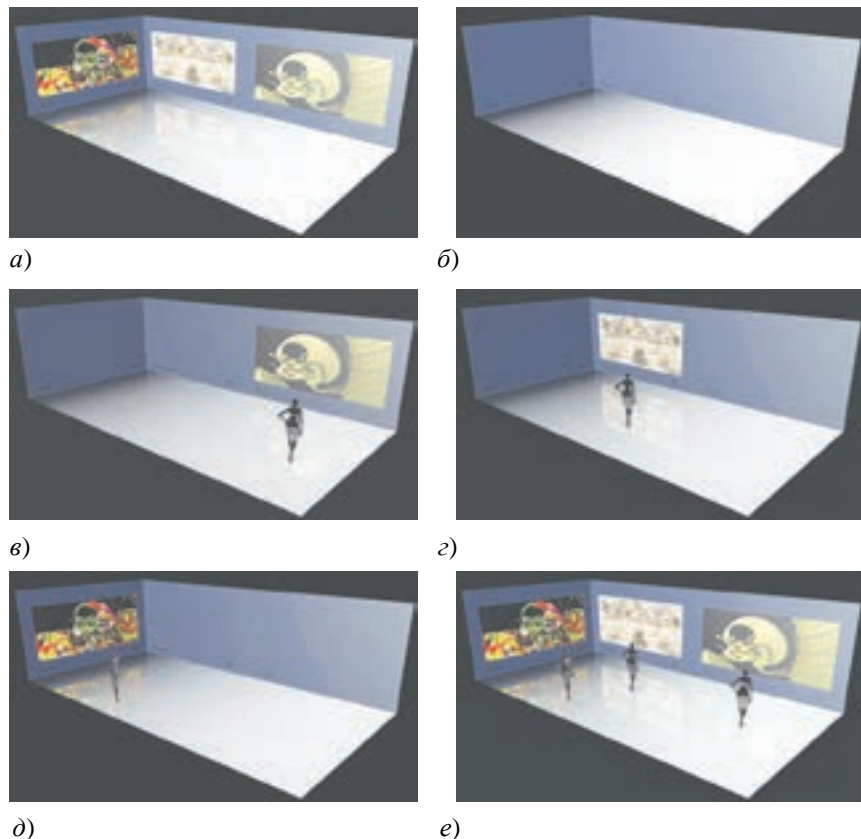


Рис. 10. Алгоритм работы сенсорной фрактальной 3D-галереи: *a* — включение галереи; *b* — автоматический режим отсутствия зрителей; *в, г, д* — режим одного зрителя; *e* — режим множественных зрителей в галерее

с каждым фракталом в галерее, т. е. «выключить свет в галерее» (режим экономии энергии при отсутствии зрителей).

2. Чтобы увидеть динамический 3D-фрактал в «выключенной» галерее, необходимо появиться в зоне его захвата. Для галереи на компьютере проведите левой клавишей мыши в «зоне захвата фрактала», он будет оживать. Для реальной галереи картина (динамический 3D-фрактал) оживёт, если зритель окажется перед картиной. Картина «выключается», когда человек «уходит из зоны захвата».

3. Чтобы восстановить все картины на сайте, нажмите клавишу F5.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана технология создания фрактальных динамических стереокартин для галерей современного искусства с сенсорным техническим обеспечением, основанная на:

- математическом (фрактальном) моделировании художественных 3D-образов;
- расчёте фрактальной последовательности для поворотного видео;
- создании сенсорной фрактальной динамической картины (многослойность и программирование управления).

Предложен алгоритм работы сенсорной фрактальной 3D-галереи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дюв Т. Живописный номинализм. Марсель Дюшан, живопись и современность / пер. А. Шестакова. М.: Изд-во Института Гайдара, 2012.
2. Пол К. Цифровое искусство. М.: Ад Маргинем Пресс, 2017, 272 с.
3. <http://www.digitalarts.su/index.php/participants/4-2016-01-05-17-50-54>. Дата обращения: 10.04.2018.
4. <http://www.fractalforums.com/index.php?action=downloads;sa=downfile&id=70>. Дата обращения: 10.04.2018.
5. <http://www.lookatme.ru/mag/live/inspiration-lists/212027-mathematical>. Дата обращения 10.04.2018.
6. <http://nadin.miem.edu.ru/>. Дата обращения: 10.04.2018.
7. <http://www.timeout.ru/msk/feature/456458/pic-482760>. Дата обращения: 10.04.2018.

8. <https://www.youtube.com/watch?v=sM6doP4g9C8>. Дата обращения: 10.04.2018.

Nadezhda K. Trubochkina

**THE METHOD OF CREATING FRACTAL DYNAMIC
3D PICTURES FOR MODERN ART GALLERIES
WITH SENSOR TECHNICAL SUPPORT**

Nadezhda K. Trubochkina, PhD, Sc. D. (Engineering), professor
E-mail: nd-painting@list.ru
MIEM Higher School of Economics

The article offers a method fractal dynamic 3D pictures with sensor control and the algorithm of the work of a gallery of such pictures.

Key words: fractal, fractal dynamic 3D picture with sensor control, layer-by-layer model of a fractal dynamic 3D pictures, algorithm of the work of a gallery of fractal dynamic 3D pictures.

REFERENCES

1. Dyuv T. Zhivopisnyi nominalizm. Marsel' Dyushan, zhivopis' i sovremennost' / per. A. Shestakova. M.: Izd-vo Instituta Gaidara, 2012.
2. Pol K. Tsifrovoe iskusstvo. M.: Izd-vo Ad Marginem Press, 2017, 272 p.
3. <http://www.digitalarts.su/index.php/participants/4-2016-01-05-17-50-54>. Data obrashcheniya: 10.04.2018.
4. <http://www.fractalforums.com/index.php?action=downloads;sa=downfile&id=70>. Data obrashcheniya: 10.04.2018.
5. <http://www.lookatme.ru/mag/live/inspiration-lists/212027-mathematical>. Data obrashcheniya: 10.04.2018.
6. <http://nadin.miem.edu.ru/>. Data obrashcheniya: 10.04.2018.
7. <http://www.timeout.ru/msk/feature/456458/pic-482760>. Data obrashcheniya: 10.04.2018.
8. <https://www.youtube.com/watch?v=sM6doP4g9C8>. Data obrashcheniya: 10.04.2018.

УДК 004.032.6
ББК 32.973

Буянов Б.Я., Верба В.А.

**НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В ЗАДАЧАХ РАСПОЗНАВАНИЯ
ОБЪЕКТОВ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ**

Буянов Борис Яковлевич, кандидат технических наук, доцент
E-mail: b.buyanov@gmail.com
Московский технический университет связи и информатики

Верба Вера Алексеевна, кандидат технических наук, доцент
E-mail: verba@list.ru
Московский технический университет связи и информатики,
Всероссийский государственный институт кинематографии
им. С.А. Герасимова

Рассмотрены подходы к построению архитектур искусственных нейронных сетей, которые могут быть использованы для решения задач классификации объектов на видеопотоке в режиме реального времени.

Ключевые слова: искусственные нейронные сети, глубокое обучение, архитектура нейронной сети, задача классификации объектов, реальный масштаб времени, видеопоток.

Компьютерное зрение (КЗ) всё глубже проникает в нашу повседневную жизнь, особенно в связи с широким распространением интернета вещей (IoT). В IoT всё больше умных устройств наделяются «зрением» и получают возможность принимать решения на основе обработки видеоданных самостоятельно.

Сегодня без глубокого обучения и искусственных нейронных сетей не обходится ни одно из современных развивающихся науч-

ных и практических направлений КЗ, именно поэтому лидирующие технологические компании мира вкладывают огромные средства и ресурсы в развитие именно этих технологий.

Разработчики реальных систем КЗ в процессе своей деятельности сталкиваются с необходимостью решения сложных проблем, например:

- как быстро, осознанно и наглядно комбинировать различные архитектуры нейронных сетей для решения конкретных задач систем КЗ;
- как готовить большие объёмы маркированных данных для обучения нейронных сетей;
- каким образом реализовывать обученные нейронные сети во встраиваемых системах IoT.

Ниже мы рассмотрим одну из актуальных задач компьютерного зрения, а именно — распознавание объектов общего назначения на видеопотоке в реальном масштабе времени.

Обнаружение объектов общего назначения должно быть быстрым, точным и способным распознавать самые разнообразные объекты. С внедрением искусственных нейронных сетей, системы обнаружения становятся всё более быстрыми и точными. Однако большинство систем обнаружения по-прежнему ограничены сравнительно небольшим набором объектов.

Классические архитектуры свёрточных нейронных сетей (CNN) (приведена на рис. 1) [3] не подходят для наших целей в силу своей громоздкости и большого количества настраиваемых параметров.

Опишем общую архитектуру CNN. Как показано на рис. 1, сеть содержит восемь слоёв с весами каждого слоя; первые пять

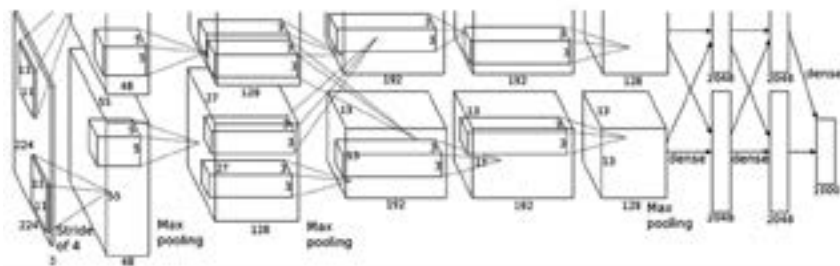


Рис. 1. Свёрточная нейронная сеть

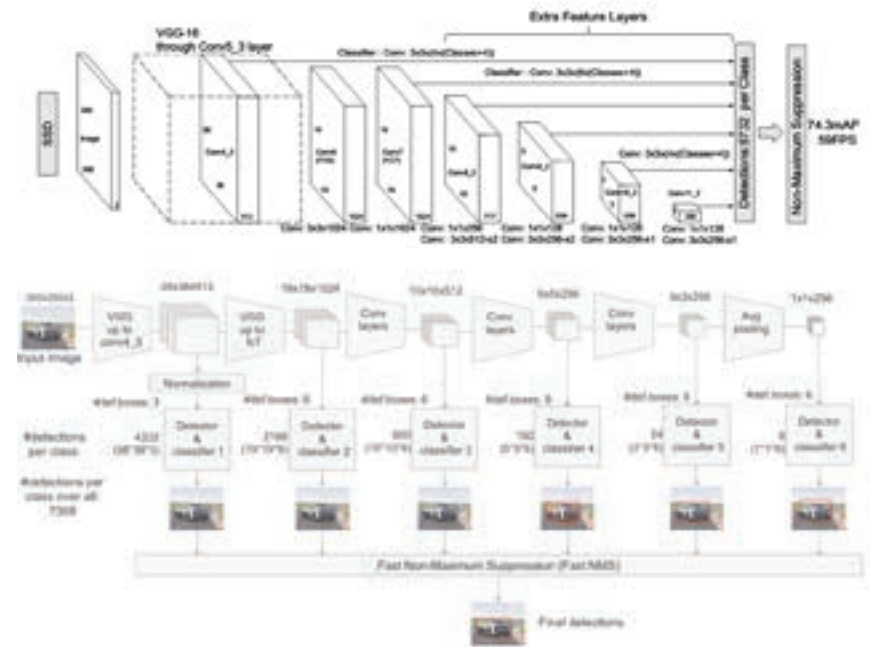


Рис. 2. Архитектура SSD

слоёв являются свёрточными, а остальные три полносвязными. Выход последнего полносвязного слоя представляет собой, по сути, softmax на 1000 выходов, который производит распределение по меткам 1000 классов. Сеть максимизирует мультиномиальную логистическую регрессию целевой функции.

Сеть содержит 650 тысяч нейронов и 60 миллионов настраиваемых параметров. Процесс обучения до весьма средних показателей достоверности с использованием двух GPU занимает более пяти суток.

Эти обстоятельства обуславливают активный поиск новых подходов в конструировании архитектур нейронных сетей для решения поставленной задачи.

Поток информации по нейронным сетям, используемым в задачах детектирования объектов, огромен. Приведём два актуальных ресурса по данной тематике — [1, 3].

Рассмотрим некоторые архитектуры, лидеры по интересующим нас показателям. Архитектура FOCAL DRFCN (VOC+COCO, single model) является лидером по средней достоверности распоз-

ЛИТЕРАТУРА

1. https://handong1587.github.io/deep_learning/2015/10/09/object-detection.html#people-detection. Дата обращения: 05.04.2018.
2. http://host.robots.ox.ac.uk:8080/leaderboard/displaylb.php?challengeid=11&compid=4#KEY_PVANet%209.0. Дата обращения: 05.04.2018.
3. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G.E. Imagenet classification with deep convolutional neural networks // Advances in neural information processing systems. 2012.
4. Liu W., Anguelov D., Erhan D., Szegedy C., Reed S., Fu C.-Y., Berg A.C. SSD: Single Shot MultiBox Detector. <https://github.com/weiliu89/caffe/tree/ssd>. Дата обращения: 05.04.2018.
5. Redmon J., Farhadi A. YOLO9000: Better, Faster, Stronger. <https://arxiv.org/pdf/1612.08242>. Дата обращения: 05.04.2018.
6. Redmon J., Farhadi A. YOLO: Real-Time Object Detection. <https://pjreddie.com/darknet/yolo/>. Дата обращения: 05.04.2018.
7. Redmon J., Farhadi A. YOLOv3: An Incremental Improvement. <https://arxiv.org/abs/1804.02767>. Дата обращения: 05.04.2018.

Boris Ya. Buyanov, Vera A. Verba

NEURAL NETWORKS IN REAL-TIME OBJECT IDENTIFICATION

Boris Ya. Buyanov, PhD (Engineering), assistant professor
E-mail: b.buyanov@gmail.com
Moscow Technical University of Communications and Informatics

Vera Al. Verba, PhD (Engineering), assistant professor
E-mail: verba@list.ru
Moscow Technical University of Communications and Informatics,
Russian Federation State Institute of Cinematography named
after S.A. Gerasimov

Approaches to the construction of artificial neural network architectures that can be used to solve the tasks of classifying objects on a video stream in real time are considered.

Key words: artificial neural networks, in-depth training, neural network architecture, object classification problem, real time scale, video stream.

REFERENCES

1. https://handong1587.github.io/deep_learning/2015/10/09/object-detection.html#people-detection. Data obrashcheniya: 05.04.2018.
2. http://host.robots.ox.ac.uk:8080/leaderboard/displaylb.php?challengeid=11&compid=4#KEY_PVANet%209.0. Data obrashcheniya: 05.04.2018.
3. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G.E. Imagenet classification with deep convolutional neural networks // Advances in neural information processing systems. 2012.
4. Liu W., Anguelov D., Erhan D., Szegedy C., Reed S., Fu C.-Y., Berg A.C. SSD: Single Shot MultiBox Detector. <https://github.com/weiliu89/caffe/tree/ssd>. Data obrashcheniya: 05.04.2018.
5. Redmon J., Farhadi A. YOLO9000: Better, Faster, Stronger. <https://arxiv.org/pdf/1612.08242>. Data obrashcheniya: 05.04.2018.
6. Redmon J., Farhadi A. YOLO: Real-Time Object Detection. <https://pjreddie.com/darknet/yolo/>. Data obrashcheniya: 05.04.2018.
7. Redmon J., Farhadi A. YOLOv3: An Incremental Improvement. <https://arxiv.org/abs/1804.02767>. Data obrashcheniya: 05.04.2018.

УДК 004.771
ББК 32.973.2

Андреев В.П., Кирсанов К.Б., Кувшинов С.В., Харин К.В.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМ ТРЁХМЕРНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ В СУПЕРВИЗОРНОМ УПРАВЛЕНИИ ГРУППИРОВКОЙ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ ПО КАНАЛАМ ИНТЕРНЕТ

Андреев Виктор Павлович, доктор технических наук, профессор
E-mail: andreevvipa@yandex.ru
Московский государственный технический университет «СТАНКИН»

Кирсанов Кирилл Борисович
E-mail: kkirsanov@gmail.com
Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

Кувшинов Сергей Викторович, кандидат технических наук
E-mail: kuvshinov@rsuh.ru
Международный институт новых образовательных технологий
Российского государственного гуманитарного университета

Харин Константин Викторович
E-mail: kharin.k@rggu.ru
Международный учебно-научный центр перспективных медиа
технологий Российского государственного гуманитарного
университета

Описана технология создания программно-аппаратного комплек-
са, позволяющего осуществлять через каналы Интернет географически
распределённое полнофункциональное супервизорное управление груп-

пировкой мобильных роботов, которые снабжены системой трёхмерного
технического зрения. Географически распределённое управление означа-
ет, что мобильные роботы могут управляться одновременно несколькими
операторами, находящимися на географически удалённых территориях.
Под полнофункциональным управлением понимается возможность с
пульта оператора через Интернет управлять всеми разрешёнными функци-
ями мобильных роботизированных систем. Приведено описание техниче-
ской реализации пилотного проекта программно-аппаратного комплекса
на примере создания действующей Интернет-лаборатории, посредством
которой реализовано полнофункциональное управление учебными робо-
тами АМУР (МЛ «Сенсорика») и Robotino (Festo), расположенными в
роботариумах МГТУ «СТАНКИН» и Центра технологической поддержки
образования РГГУ.

Ключевые слова: система технического зрения, супервизорное
управление, территориально-распределённое управление, групповое
управление, информационно-измерительная и управляющая система, се-
тевые технологии, локальная вычислительная сеть, мобильный робот.

ВВЕДЕНИЕ

Для обозначения программного обеспечения (ПО), предназна-
ченного для взаимодействия прикладного ПО с сетью и обеспечи-
вающего унификацию взаимодействия между программами в ус-
ловиях неоднородности вычислительных платформ, используется
термин «связующее программное обеспечение» (Middleware) [9].
Такого рода ПО выступает в качестве подсистемы в более круп-
ном программном обеспечении. Если в современных технологиях
баз данных и Интернет связующее ПО подробно изучается [15],
то применительно к робототехнике эти исследования не достигли
аналогичного уровня. По всей видимости, это связано с тем, что до
недавнего времени ПО для робототехнических систем было про-
стым (с точки зрения программной инженерии) и не выходило за
рамки организации простейших взаимодействий между объектами
управления.

В настоящее время организация территориально-распре-
делённого управления робототехническими устройствами воз-
можна с помощью таких широко известных программных карка-
сов (framework), как the Robotics Operating System (ROS) [21] и
Microsoft Robotics Developer Studio (MRDS) [16], а также их пред-
шественников — Palyer Project [11], LAAS GenoM и URBI [7]. Эти

системы можно условно отнести к «большим», т. е. включающим в себя множество компонентов для решения разнообразных задач: SLAM, обработка изображений, калибровка сенсоров и т. п. Однако существуют и «малые» робототехнические фреймворки, например, Concurrency and Coordination Runtime [22], осуществляющие лишь передачу сообщений между компонентами.

Перечисленные комплекты ПО эффективно решают поставленную задачу лишь в рамках одной территории — лаборатории, цеха, завода, но они не решают задачу географически распределённого управления. Вследствие этого в них отсутствует механизм организации полнофункционального управления через Интернет.

Существенной особенностью такого способа управления является организация визуальной обратной связи по каналам Интернета (с учётом задержек в сети и с негарантированным временем доставки пакетов) с использованием бортовых систем технического зрения для наблюдения за исполнением мобильным роботом команд/программ управления, что особенно критично в системах дистанционного и супервизорного управления. До недавнего времени визуальная обратная связь с оператором осуществлялась исключительно в режиме «моно», что усложняло ориентацию оператора в пространстве и приводило к накоплению погрешностей при удалённом управлении и, как следствие, к более серьёзным ошибкам.

В случае мобильной робототехники, когда коммуникационный канал включает радиоканал, возникает проблема обеспечения устойчивости системы к нарушениям связи и высокой производительности при передаче как длинных сообщений (например, многопоточное видео в стереоформате для многокамерных систем технического зрения), так и коротких (команды). Перечисленные системы рассчитаны на работу в рамках локальной вычислительной сети с устойчивой связью и практически не содержат средств, предназначенных для корректного восстановления после сбоев в канале передачи данных.

Известна практическая реализация дистанционного управления мехатронным устройством через Интернет и радиоканал с организацией обратной связи [6, 17]. Проект был выполнен в 2009–2011 годах в ЦНИИ РТК и РКК «Энергия» (Россия) совместно с Институтом робототехники и мехатроники Немецкого аэрокосми-

ческого центра (DRL-RMC). Исследовалась возможность использования Интернета для управления с Земли двухзвенным роботом ROBOTIC, установленным на внешней поверхности российского сегмента Международной космической станции. Сеансы связи с бортом Международной космической станции проводились из ЦНИИ РТК (Санкт-Петербург, Россия) через DRL-RMC с использованием Интернета для связи ЦНИИ РТК с DRL-RMC. Особенность проекта заключалась в использовании человеко-машинного интерфейса с силовомоментной обратной связью. В рассмотренном проекте исследовалось лишь влияние задержек в каналах связи на процесс управления.

Анализ недостатков существующего ПО показал, что для создания технологии географически распределённого управления группой мобильных роботов необходимо разработать качественно новую программную архитектуру. Ниже рассматривается задача управления через Интернет группировкой мобильных роботов, состоящей из мобильных роботов разных моделей и производителей, причём операторы мобильных роботов могут находиться на географически удалённых территориях и подключаться к системам технического зрения любого мобильного робота. При этом визуальная обратная связь должна осуществляться на качественно новом уровне в стереоскопическом формате.

ГЕОГРАФИЧЕСКИ РАСПРЕДЕЛЁННОЕ УПРАВЛЕНИЕ

В основу программно-аппаратного комплекса положено представление информационно-измерительной и управляющей системы мобильного робота в виде локальной вычислительной сети с мобильными узлами. Такое решение впервые было предложено в работе [19]. Объединение электронных и мехатронных компонент мобильных роботов в локальную вычислительную сеть даёт возможность распространить свойства сетевой организации на структуру информационно-измерительной и управляющей системы как отдельного робота, так и нескольких мобильных роботов, используя для этого сетевые технологии. Наиболее существенными в нашем случае следует считать такие свойства, как реконфигурируемость и масштабируемость. Появляется возможность легко наращивать или изменять любые ресурсы группировки: как электронные и мехатронные компоненты отдельного мобильного робота, так и объ-



Рис. 1. Географически распределённое «многооператорное» управление группировкой мобильных роботов

единять информационно-измерительные и управляющие системы нескольких мобильных роботов в единую систему [4].

Использование сетевых технологий позволяет организовать географически распределённое управление группировкой мобильных роботов. Географически распределённое управление означает, что каждый из мобильных роботов, входящих в группировку, может управляться операторами, находящимися на разных территориях. Такое управление допускает, при определённых условиях, режим один-ко-многим, т. е. один оператор, если ему предоставлено соответствующее право, может вмешиваться в работу электронных и мехатронных устройств нескольких мобильных роботов из группировки. Пример такой структуры приведён на рис. 1.

Коммуникационная система, предназначенная для организации управления через Интернет и радиоканал группировкой мобильных роботов, должна обладать следующими свойствами:

— обеспечивать как «непосредственную» (с бортовых систем технического зрения), так и «стороннюю» (с установленных на мобильную платформу стереокамер — «спутников») визуальную обратную связь в стереоформате из зоны действия группировки для дистанционного наблюдения за исполнением команд/программ управления;

- быть устойчивой к нарушениям связи;
- обеспечивать высокую производительность при передаче как длинных сообщений (многопоточное видео), так и коротких (команды управления).

Технические и программные решения, позволяющие обеспечить перечисленные свойства, должны удовлетворять следующим требованиям [5]:

1) электронные и мехатронные компоненты информационно-измерительной и управляющей системы мобильных роботов должны быть элементами локальной вычислительной сети с мобильными узлами;

2) следует использовать многокамерную систему технического зрения: несколько ТВ-камер, работающих в стереоформате, устанавливается на борту мобильных роботов; стереоскопические телекамеры используются и на отдельных устройствах — «Спутниках» (стационарных или на мобильных платформах);

3) предобработка видеосигналов систем технического зрения и сигналов от других сенсоров должна выполняться автономно на борту мобильного модуля (фильтрация шумов, коррекция искажений, сжатие и сегментация изображений и т. п.);

4) связь между мобильными и стационарными модулями группировки мобильных роботов должна осуществляться по цифровым радиоканалам (Wi-Fi, Wi-Max и т. п.);

5) увеличение дальности и повышение качества радиосвязи следует достигать путём создания оптимальной, дистанционно и оперативно управляемой архитектуры распределённой информационно-измерительной и управляющей системы группировки;

6) каналы связи должны быть защищены от несанкционированного доступа (например, за счёт использования VPN-технологии);

7) обязателен дистанционный (с пульта управления) оперативный контроль состояния энергосистемы и качества радиоканала;

8) пульт управления оператора должен обеспечивать:

- непрерывное (со стандартной кадровой частотой) отображение видеопотоков со всех телекамер в виде растровых изображений через систему стереовизуализации;

— возможность удалённого управления функциями стереотелекамер и параметрами узлов локальной вычислительной сети

(например, выбор алгоритма сжатия изображений или его параметров);

— мнемоническое отображение на экранах мониторов показаний иных сенсоров и состояния контролируемых параметров (в том числе звуковую сигнализацию достижения критических значений);

— возможность дистанционно контролировать исполнение на бортовой ЭВМ управляющего кода и динамически вносить в него исправление без перезагрузки системы.

В основу разработанного и реализованного механизма сетевого взаимодействия, посредством которого был организован полнофункциональный доступ через Интернет к компонентам мобильных роботов различного типа (включая динамическое перепрограммирование), была положена концепция «драйверов» [4].

КОНЦЕПЦИЯ «ДРАЙВЕРОВ»

Минимальным объектом управления в предлагаемой структуре является любое электронное или мехатронное устройство робототехнической системы: бортовая ЭВМ, микроконтроллер, сенсор, манипулятор или иной исполнительный механизм, снабжённый вычислительным устройством. Поэтому одной из ключевых задач являлась разработка унифицированной системы правил создания ПО для конкретных моделей робототехнических устройств, которые позволяют включать их электронные и/или мехатронные компоненты в локальную вычислительную сеть без переработки их низкоуровневого программного кода. Иными словами, требовалось разработать конечный набор программных инструкций управления и сетевых протоколов для создания интерфейса программирования приложений (API — application programming interface). Такой интерфейс должен обеспечивать прозрачное интегрирование как компонент отдельных мобильных роботов, так и робототехнических устройств в целом, и их ПО в информационное пространство информационно-измерительной и управляющей системы комплекса.

Для реализации интерфейса программирования приложений предлагается использовать концепцию «драйверов» — для каждого мехатронного устройства создаётся унифицированный сетевой управляющий протокол на базе существующих низкоуровневых программных интерфейсов взаимодействия. Тогда производитель

мобильных роботов может сравнительно просто интегрировать своё устройство в информационно-измерительную и управляющую систему комплекса, создав лишь дополнительный драйвер, реализующий детерминированные протоколом программные инструкции управления и протоколы сетевого взаимодействия. При появлении в сети нового мехатронного устройства разработанное ПО подсистемы управления в процессе взаимодействия с драйвером автоматически включает это устройство в общую сеть. Одновременно выполняется публикация доступных устройств и их характеристик в общем каталоге технического описания.

Драйвер каждого мехатронного устройства представляет собой отдельный вычислительный процесс, функционирующий на бортовой ЭВМ. Совместную работу этих процессов необходимо организовать и синхронизировать. Для решения данных задач используются следующие подходы:

— каждая команда или данные от сенсоров при прохождении каждого узла локальной вычислительной сети снабжаются меткой времени;

— каждый драйвер содержит собственный экземпляр «Службы имён», в которой хранится информация о соседних (с точки зрения сетевой топологии) драйверах;

— в каждом драйвере динамически формируется граф взаимодействий;

— используется текстовый формат (ASCII) обмена данными;

— способ обмена данными позволяет организовать передачу не только отдельных команд, но и целых программ.

Добавление метки времени в сообщения позволяет избежать нарушения последовательности событий при сбоях, точно синхронизировать работу драйверов и учесть временные задержки, а также разность во времени между несколькими географически распределёнными узлами сети. За счёт использования алгоритма векторных часов удаётся выполнить синхронизацию, независимую от показаний часов реального времени бортовых ЭВМ.

«Служба имён» — это специализированное ПО, которое каждые 20 секунд сканирует сеть и ищет аналогичные службы, а обнаружив, — обменивается с ними всей имеющейся информацией по алгоритму, близкому к распределённым хеш-таблицам (DHT — Distributed Hash Table). Благодаря этому появляется качество де-

централизованности. Так, например, робототехнический комплекс, настроенный в рамках конкретной локальной вычислительной сети, без изменений может быть отключён от неё, и при этом не будет нарушено его нормальное функционирование.

Граф взаимодействий представляет собой структуру данных, хранящую информацию о соседних (с точки зрения сетевой топологии) драйверах и их взаимодействиях. Граф взаимодействий автоматически восстанавливается после нарушений связи даже в случае незначительного изменения топологии сети. Тем самым обеспечивается восстановление информационной топологии сети после её разрушения в результате сбоев в каналах связи. Появляется качество автоконфигурирования, что позволяет в рамках одной сети динамически изменять топологию географически распределённой информационно-измерительной и управляющей системы группировки мобильных роботов.

Текстовый формат обмена данными позволяет упростить отладку разрабатываемого ПО и организовать взаимодействие с системой без дополнительных библиотек, что крайне важно в задачах интеграции.

Для обеспечения интеграции мобильных роботов в географически распределённую группировку необходимо было реализовать не только взаимодействие между электромеханической частью робота и бортовой ЭВМ, но и интегрировать его информационно-измерительную и управляющую систему непосредственно в общую иерархию управления.

ПРОГРАММНО-АППАРАТНАЯ АРХИТЕКТУРА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

При реализации программно-аппаратного комплекса было обеспечено выполнение следующих свойств:

- универсальность — возможность включения в систему робототехнических и иных мехатронных систем различных моделей и производителей;

- сетевая надёжность — гарантированная доставка пакетов между управляющими интерфейсами на всех уровнях сетевого взаимодействия;

- гибкость и масштабируемость — децентрализация управления сетевой структурой, её реконфигурируемость в режиме on-line;

- безопасность — защита от несанкционированного доступа к управляющим интерфейсам.

Организация обмена данными между элементами распределённой информационно-измерительной и управляющей системы реализована на основе хорошо зарекомендовавших себя сетевых технологий и решений с использованием синхронного и асинхронного взаимодействия на основе стека протоколов TCP/IP. Она состоит из следующих компонент:

- протоколы синхронного и асинхронного обмена сообщениями;

- единый каталог сервисов;

- программный модуль оператора.

Согласно классификации известной модели OSI, взаимодействие в нашем случае происходит на прикладном уровне, который мы условно разделяем на два подуровня: транспортный и логический.

К транспортному подуровню предъявляются следующие требования:

- высокая производительность при передаче как длинных сообщений (многопоточное видео в стереоформате, мегабайты), так и коротких (команды, байты);

- устойчивость к обрывам связи;

- возможность организации взаимодействия один-ко-многим, что необходимо для задач группового управления.

К логическому подуровню предъявляются следующие требования:

- кроссплатформенность и многоязычность — возможность вести разработку в различных операционных системах (Windows, Linux x86/64/arm, Android, МЦСТ Эльбрус) и на различных языках (C, Java, Python, Fortran);

- человеко-читаемость — возможность воспринимать получаемую информацию без использования специфических программных средств (данные передаются в текстовом виде, кроме случаев, когда это критично для производительности, например, в случае передачи видеопотока);

- возможность изолированной работы — работоспособность взаимодействующих мехатронных устройств, входящих в локальную вычислительную сеть того или иного уровня иерархии, не

должна нарушаться при отключении их от внешней для них сети (более высокого уровня);

— децентрализованность и способность к самоорганизации — отсутствие необходимости в существовании какого-либо «центрального» сервера, регламентирующего работу всех компонент системы, кроме случаев ограничения доступа и регистрации участников.

Для формального описания взаимодействия в многоагентной сети была применена модель акторов [8]. В качестве механизма передачи сообщений используется библиотека ZeroMQ [14], которая выполняет роль высокоуровневой «обёртки» над стандартными сетевыми сокетами операционной системы. Этот механизм включает такие функции, как автоматическое восстановление связи после обрыва без потери контекста, возможность туннелирования через протоколы нижнего уровня: UDP, TCP, IPC или через PGM (Pragmatic General Multicast). Кроме того, в отличие от более сложных протоколов (например, Concurrency and Coordination Runtime), ZeroMQ достаточно прост, что даёт возможность реализовать его непосредственно на микроконтроллере Arduino с модулем Ethernet Shield, но с некоторыми ограничениями, связанными с его малой производительностью. Так, при использовании данного микроконтроллера максимальная частота обработки команд в тестовой реализации составила 20 Гц.

На рис. 2. приведена общая схема сетевого взаимодействия: два мехатронных устройства RC1 и RC2 (RobotComponent) асинхронно проходят процедуру регистрации в службе имён NS (NameServer). Затем система управления CS (Control System), запросив список зарегистрированных устройств, осуществляет синхронное и асинхронное взаимодействие с мехатронными устройствами. Именем в данном случае может быть IP-адрес и его порт, произвольный текст (например, «двигатель»), или

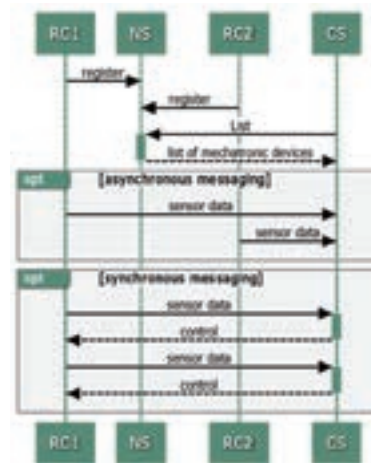


Рис. 2. Механизм сетевого взаимодействия

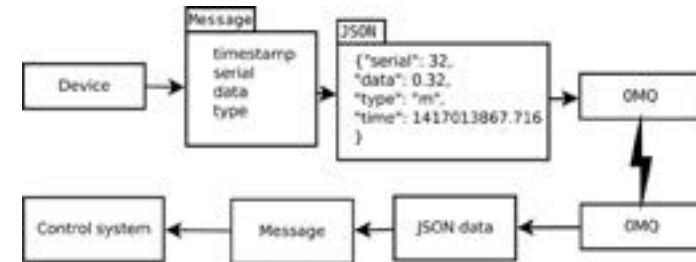


Рис. 3. Схема передачи сообщений: устройство (Device) формирует сообщение (Message), которое кодируется в формат JSON и передаётся в ZMQ (ZeroMQ)

целый путь в иерархии (например, «Университет → лаборатория 1 → Robotino → Двигатели → 3 → ШИМ»).

Схема передачи сообщений приведена на рис. 3. Команды управления и данные передаются в формате JSON, который прост и может быть реализован на маломощных процессорах, в том числе на AVR (Arduino). JSON это текстовый (ASCII) формат представления структурированных данных, позволяющий сериализовать, т. е. представлять в виде последовательности байт, списки (вектор, массив) и ассоциативные массивы, т. е. наборы пар «ключ—значение», что даёт возможность вручную формировать управляющие команды, не прибегая к специализированным библиотекам, как это требуется в других подобных системах. Кроме того, данное решение существенно облегчает использование нескольких языков программирования или программно-аппаратных платформ. Это достигается тем, что синтаксические анализаторы (parsers) JSON и ZeroMQ уже реализованы для абсолютного большинства платформ и языков.

Появляется возможность снабжать передаваемые данные дополнительной информацией, не модифицируя принимающее их ПО, или произвольным образом менять порядок полей в рамках одного сообщения. Благодаря этому становится возможным организовать передачу не только отдельных команд, но и целых программ, которые сразу при получении исполняются интерпретатором, функционирующим на бортовой ЭВМ [14]. Таким образом, организуется динамическое перепрограммирование мехатронного устройства — не останавливая или «перезагружая» бортовые вычислительные устройства мобильных роботов, можно обновлять

их ПО или корректировать их работу. Это существенно упрощает одновременную поддержку различных версий одного драйвера в рамках единой сети мехатронных устройств в задачах географически распределённого управления.

Синтаксический анализатор (парсер) JSON является стандартной библиотекой во многих языках программирования. Однако для AVR пришлось создать собственный парсер, реализующий лишь минимально необходимое подмножество JSON — без поддержки структур произвольной вложенности, но обеспечивающий удовлетворительную производительность — 40 Гц.

Избыточность информации, возникающая за счёт её текстового представления, не оказывает существенного влияния на пропускную способность, поскольку команды, как правило, компактны даже в текстовом представлении и сравнимы по размеру с заголовком IP-пакета — 20 байт.

Однако предлагаемый текстовый протокол малоэффективен для передачи многопоточкового видео в стереоформате, поэтому для такого рода информации используются хорошо зарекомендовавшие себя протоколы: RTSP (Real Time Streaming Protocol) или M-JPEG поверх HTTP.

В результате, для интеграции мехатронного устройства в систему управления необходимо соблюсти всего лишь два основных требования к программно-аппаратной платформе подключаемого устройства:

- наличие в системе управления интерфейса, позволяющего подключить устройство к сети;
- возможность установить на устройство программу, реализующую минимально необходимое подмножество используемого в системе протокола, т. е. ZeroMQ.

В соответствии с описанным подходом авторами был создан «драйвер» для микроконтроллера Arduino. Дополнительно используется ПО iPython Notebook [18], позволяющее в интерактивном режиме изменять выполняющиеся на работе программы.

Для адекватного отображения иерархической структуры сети на графический интерфейс пользователя построен оконно-иерархический интерфейс, базирующийся на подходах, применяемых во фреймовых (мозаичных) оконных менеджерах [1]. На рис. 4 приведён пример одного из уровней интерфейса.

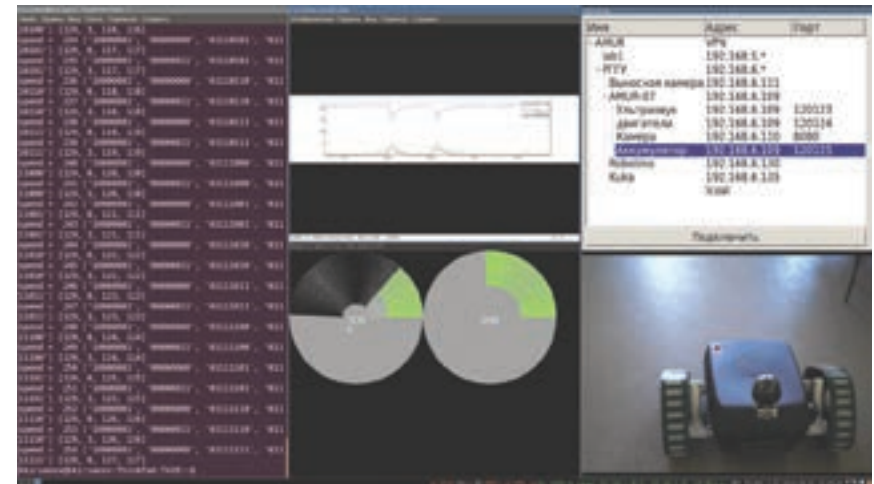


Рис. 4. Вид одного из уровней графического интерфейса: представление в виде дерева компонент, обнаруженных у робота AMUR (US — УЗ датчики, Engine — электродвигатели, Camera — ТВ-камера, Battery — аккумуляторная батарея)

Рабочее пространство экрана разбивается на взаимно непересекающиеся прямоугольные области (в то время как в традиционных «оконных» системах области могут перекрываться, одно окно может закрывать другое). Каждая область используется отдельным компонентом системы для вывода информации и автоматически масштабируется до необходимого размера.

В правом верхнем углу интерфейса отображается дерево, представляющее иерархию обнаруженных в той или иной группировке роботов и мехатронных устройств (это может быть робототехническая лаборатория). При щелчке мышкой по имени лаборатории открывается группа окон, выводящих краткую информацию о каждом компоненте. Если же кликнуть по конкретному устройству, то его фрейм будет показан полностью, а остальные будут автоматически масштабированы до минимально возможного размера. Это позволяет избежать необходимости перебирать десятки окон в поисках нужного. За каждым роботом или лабораторией закреплён типовой набор окон, который, тем не менее, может быть изменён в процессе эксплуатации системы. В данном примере в окнах отображается работа найденных в лаборатории AMUR устройств, к которым с помощью соответствующего драйвера имеется доступ: выносная

телекамера, робот KUKA, робот Robotino и робот AMUR-07, к некоторым компонентам которого имеется доступ (на уровне управления и/или контроля). В левом окне — протокол работы ШИМ двигателей робота, в верхнем центральном — развёртка по времени значений тока и напряжения, в нижнем центральном — показания одометрии, в правом нижнем — растровое изображение робота AMUR-07, полученное с выносной управляемой телекамеры. При этом фиксация положения и отсутствие наложения окон позволяет получать корректное стереоизображение в этом окне при использовании подходящей системы стереовизуализации. Созданный программный продукт полностью удовлетворяет перечисленным выше требованиям. Дополнительным преимуществом является использование свободно распространяемого ПО — библиотеки ZeroMQ по лицензии GNU LGPL V3 [3, 12].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная структура географически распределённого управления через каналы Интернета группой мобильных роботизированных устройств была реализована в виде программно-аппаратного комплекса. Созданный комплекс показал свою эффективность в части создания действующей Интернет-лаборатории [5], которая используется в учебном процессе в МГТУ «СТАНКИН» и РГГУ. Структурная схема действующей Интернет-лаборатории приведена на рис. 5.

В качестве мобильных роботов используются учебные роботы типа «АМУР» (Автономный мобильный учебный робот, МЛ «Сенсорика») и «Robotino» (немецкий концерн Festo). Сетевая структура Интернет-лаборатории функционирует через постоянно действующий VPN канал, который в настоящее время установлен между МГТУ «СТАНКИН» (г. Москва) и Центром технологической поддержки образования Международного института новых образовательных технологий (ЦТПО МИНОТ) РГГУ (г. Москва). Аналогичный канал действует между Институтом прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН (г. Москва), ЦТПО МИНОТ РГГУ и Дальневосточным федеральным университетом (ДВФУ, г. Владивосток).

Использование данной географически распределённой сетевой структуры информационно-измерительной и управляющей систе-



Рис. 5. Структурная схема действующей Интернет-лаборатории

мы обеспечивает простоту подключения к управлению робототехническими системами специалистов разного профиля, находящихся далеко от места проведения работ. Возможность визуальной обратной связи с робототехническим устройством в стереоформате позволяет операторам осуществлять более адекватное участие в управлении при движении в сложных рельефных условиях, а также взаимодействие с другими устройствами.

Данная информационно-коммуникационная инфраструктура может использоваться в системе дистанционного образования [1, 2, 5, 10, 20] для организации доступа учащихся к реальным мехатронным системам, расположенным на удалённых территориях, например, для подключения филиалов к лабораторной базе основного учебного заведения. Это позволит сосредоточить технические ресурсы в одном месте и организовать обучение групп учащихся дистанционно, не снижая качества обучения. Кроме того, данная структура позволяет объединить территориально разнесённые научно-исследовательские коллективы вокруг какого-либо одного, обладающего соответствующей материально-технической базой, или же объединить мехатронные устройства разных коллективов в единую систему с доступом каждого к каждому.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев В.П., Кирсанов К.Б., Пряничников В.Е. Учебно-научная виртуальная территориально-распределённая робототехническая лаборатория // Экстремальная робототехника. Труды международной научно-технической конференции. СПб.: Политехника-сервис, 2014. С. 234–239.

2. Кувшинов С.В., Подураев Ю.В., Пряничников В.Е. IT-технологии создания креативной образовательной среды // Информационно-измерительные и управляющие системы. М.: Радиотехника, 2013. Т. 11. № 4. С. 93–96.

3. ØMQ Licensing. <http://zeromq.org/area:licensing>. Дата обращения: 17.09.2015.

4. Andreev V., Pryanichnikov V., Kirsanov K. Geographically distributed «multi-operator» Control for Mechatronic Devices via the Internet / B. Katalinic (Ed.) // Proceedings of the 26th DAAAM International Symposium. Published by DAAAM International, Vienna, Austria, 2015. Curran Associates, Inc., New York, 2016. P. 0004–0011.

5. Andreev V., Pryanichnikov V., Poduraev Y., Kuvshinov S. Education on the basis of virtual learning robotics laboratory and group-controlled robots // 24th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, DAAAM 2013. Procedia Engineering. 2014. Vol. 69. P. 35–40.

6. Artigas J., Jee-Hwan R., Preusche C., Hirzinger G. Network representation and passivity of delayed teleoperation systems // Intelligent Robots and Systems (IROS), 2011. IEEE/RSJ International Conference on 25–30 Sept. 2011. P. 177–183.

7. Baillie J.-C. URBI: Towards a universal robotic low-level programming language // In Intelligent Robots and Systems, 2005 (IROS 2005). 2005 IEEE/RSJ International Conference on, IEEE. 2005. P. 820–825.

8. Carl H., Bishop P., Steiger R. A universal modular actor formalism for artificial intelligence // In Proceedings of the 3rd international joint conference on Artificial intelligence. Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1973. P. 235–245.

9. Emmerich W., Aoyama M., Sventek J. The impact of research on the development of middleware technology // ACM Transactions on Software Engineering and Methodology. N. Y.: ACM. 2008. Vol. 17. No 4. P. 19–48.

10. Filaretov V.F., Pryanichnikov V.E. Autonomous mobile university robots AMUR: Technology and applications to extreme robotics // 25th DAAAM International Symposium «Intelligent Manufacturing and Automation», 2014. Elsevier. Procedia Engineering (2015). 2015. V. 100. P. 269–277.

11. Gerkey B., Vaughan R., Howard A. The Player/Stage Project: Tools for Multi-Robot and Distributed Sensor Systems // Proceedings of the International Conference on Advanced Robotics. 2003. P. 317–323.

12. GNU lesser general public license. Version 3, 29 June 2007. <http://www.gnu.org/licenses/lgpl.html>. Дата обращения: 17.09.2015.

13. Hintjens P. ZeroMQ // Messaging for Many Applications, O'Reilly Media, Inc., 2013.

14. Kirsanov K. The Architecture of Robotics Control Software for Heterogeneous Mobile Robots Network // 24th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, DAAAM 2013. Procedia Engineering, 2014. Vol. 69. P. 216–221.

15. Liangzhao Z., Benatallah B., Ngu A.H., Dumas M., Kalagnanam J., Chang H. Qos-aware middleware for web services composition // Software Engineering, IEEE Transactions on 30. 2004. No 5. P. 311–327.

16. Microsoft Robotics Developer Studio 4. <http://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=29081>. Дата обращения: 17.09.2015.

17. Niemeyer G., Slotine J.-J.E. Telemanipulation with time delays // Int. Journal of Robotics Research, 23(9), September 2004. P. 873–890.

18. Pérez F., Granger B.E. IPython: A System for Interactive Scientific Computing // Computing in Science and Engineering. May/June 2007. Vol. 9. № 3. P. 21–29.

19. Pryanichnikov V., Andreev V. The Application of Network Technologies to Constructing Group Controlled Systems with Machine Vision for Mobile Robots // Annals of DAAAM for 2012 & Proceedings of the 23th International DAAAM Symposium, 24–27th October 2012. Zadar, Croatia, 2012. Vol. 23. No 1. P. 1167–1174.

20. Pryanichnikov V.E., Katalinic B., Kirilchenko A.A., Khelemendik R.V., Kuvshinov S.V., Vician D., Uglesic A. New creative educational technologies for inter-university network // 25th DAAAM International Symposium «Intelligent Manufacturing and Automation»,

2014. Elsevier. Procedia Engineering (2015). ISSN 1877-7058, 2015. V. 100. P. 259–268.

21. ROS. <http://www.ros.org>. Дата обращения: 17.09.2015.

22. Xiaohong Q., Xiaohong Q., Fox G.C., Yuan H., Bae S.-H., Chrysanthakopoulos G., Frystyk H. Nielsen High performance multi-paradigm messaging runtime integrating grids and multicore systems // In e-Science and Grid Computing, IEEE International Conference on, IEEE. 2007. P. 407–414.

Victor P. Andreev, Kirill B. Kirsanov, Sergey V. Kuvshinov, Konstantin V. Kharin

APPLICATION OF STEREO VISION SYSTEMS IN THE GROUP SUPERVISORY CONTROL OF MOBILE ROBOTS VIA THE INTERNET

Victor P. Andreev, PhD, Sc. D. (Engineering), professor
E-mail: andreevvipa@yandex.ru
Moscow State Technological University «STANKIN»

Kirill B. Kirsanov
E-mail: kkirsanov@gmail.com
Keldysh Institute of Applied Mathematics, Russian Academy of Sciences

Sergey V. Kuvshinov, PhD (Engineering)
E-mail: kuvshinov@rggu.ru
International Institute of the New Educational Technologies, Russian State University for the Humanities

Konstantin V. Kharin
E-mail: kharin.k@rggu.ru
International Center of the Prospective Media Technologies, Russian State University for the Humanities

We present the method of creating a hardware and software system ensuring a geographically distributed full-featured supervisory control via the Internet over a group of mobile robots equipped with a vision system. Geographically distributed control means that the mobile robots can be controlled simultaneously by several operators that are located at spatially remote places. The term «full-featured control» means that the operator's panel can be used to control all the permitted operations of mobile robotic systems

via the Internet. We describe the technical implementation of the pilot project of the hardware and software system using the case of an operating Internet-laboratory that provides full-featured control of AMUR (IL «Sensorika») and Robotino (Festo) educational robots located in the «robotariums» of the Moscow State Technological University «STANKIN» and the Center for Technological Support of Education of the International Institute of New Educational Technologies (CTSE IINET) at the Russian State University for the Humanities (RSUH). A similar communication channel also exists between the Keldysh Institute of Applied Mathematics, Russian Academy of Sciences (Moscow), CTSE IINET RSUH, and the Far East Federal University (Vladivostok).

Key words: vision system, supervisory control, spatially-distributed control, geographically-distributed control, group control, information measuring and control system, network technologies, local area network, mobile robot.

REFERENCES

1. Andreev V.P., Kirsanov K.B., Pryanichnikov V.E. Uchebno-nauchnaya virtual'naya territorial'no-raspredeleennaya robototekhnicheskaya laboratoriya // Ekstremal'naya robototekhnika. Trudy mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii. SPb.: Politehnika-servis, 2014. P. 234–239.
2. Kuvshinov S.V., Poduraev Yu.V., Pryanichnikov V.E. IT-tehnologii sozdaniya kreativnoi obrazovatel'noi sredy // Informatsionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy. M.: Radiotekhnika, 2013. Vol. 11. No 4. P. 93–96.
3. ØMQ Licensing. <http://zeromq.org/area:licensing>. Data obrashcheniya: 17.09.2015.
4. Andreev V., Pryanichnikov V., Kirsanov K. Geographically distributed «multi-operator» Control for Mechatronic Devices via the Internet / B. Katalinic (Ed.) // Proceedings of the 26th DAAAM International Symposium. Published by DAAAM International, Vienna, Austria, 2015. Curran Associates, Inc., New York, 2016. P. 0004–0011.
5. Andreev V., Pryanichnikov V., Poduraev Y., Kuvshinov S. Education on the basis of virtual learning robotics laboratory and group-controlled robots // 24th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, DAAAM 2013. Procedia Engineering. 2014. Vol. 69. P. 35–40.
6. Artigas J., Jee-Hwan R., Preusche C., Hirzinger G. Network representation and passivity of delayed teleoperation systems //

Intelligent Robots and Systems (IROS), 2011. IEEE/RSJ International Conference on 25-30 Sept. 2011. P. 177–183.

7. Baillie J.-C. URBI: Towards a universal robotic low-level programming language // In Intelligent Robots and Systems, 2005 (IROS 2005). 2005 IEEE/RSJ International Conference on, IEEE. 2005. P. 820–825.

8. Carl H., Bishop P., Steiger R. A universal modular actor formalism for artificial intelligence // In Proceedings of the 3rd international joint conference on Artificial intelligence. Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1973. P. 235–245.

9. Emmerich W., Aoyama M., Sventek J. The impact of research on the development of middleware technology // ACM Transactions on Software Engineering and Methodology. N. Y.: ACM. 2008. Vol. 17. No 4. P. 19–48.

10. Filaretov V.F., Pryanichnikov V.E. Autonomous mobile university robots AMUR: Technology and applications to extreme robotics // 25th DAAAM International Symposium «Intelligent Manufacturing and Automation», 2014. Elsevier. Procedia Engineering (2015). 2015. Vol. 100. P. 269–277.

11. Gerkey B., Vaughan R., Howard A. The Player/Stage Project: Tools for Multi-Robot and Distributed Sensor Systems // Proceedings of the International Conference on Advanced Robotics. 2003. P. 317–323.

12. GNU lesser general public license. Version 3, 29 June 2007. <http://www.gnu.org/licenses/lgpl.html>. Data obrashcheniya: 17.09.2015.

13. Hintjens P. ZeroMQ // Messaging for Many Applications, O'Reilly Media, Inc., 2013.

14. Kirsanov K. The Architecture of Robotics Control Software for Heterogeneous Mobile Robots Network // 24th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, DAAAM 2013. Procedia Engineering, 2014. Vol. 69. P. 216–221.

15. Liangzhao Z., Benatallah B., Ngu A.H., Dumas M., Kalagnanam J., Chang H. Qos-aware middleware for web services composition // Software Engineering, IEEE Transactions on 30. 2004. No 5. P. 311–327.

16. Microsoft Robotics Developer Studio 4. <http://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=29081>. Data obrashcheniya: 17.09.2015.

17. Niemeyer G., Slotine J.-J.E. Telemanipulation with time delays // Int. Journal of Robotics Research, 23(9), September 2004. P. 873–890.

18. Pérez F., Granger B.E. IPython: A System for Interactive Scientific Computing // Computing in Science and Engineering. May/June 2007. Vol. 9. No 3. P. 21–29.

19. Pryanichnikov V., Andreev V. The Application of Network Technologies to Constructing Group Controlled Systems with Machine Vision for Mobile Robots // Annals of DAAAM for 2012 & Proceedings of the 23th International DAAAM Symposium, 24-27th October 2012. Zadar, Croatia. 2012. Vol. 23. No 1. P. 1167–1174.

20. Pryanichnikov V.E., Katalinic B., Kirilchenko A.A., Khelemendik R.V., Kuvshinov S.V., Vician D., Uglesic A. New creative educational technologies for inter-university network // 25th DAAAM International Symposium «Intelligent Manufacturing and Automation», 2014. Elsevier. Procedia Engineering (2015). ISSN 1877-7058, 2015. Vol. 100. P. 259–268.

21. ROS. <http://www.ros.org>. Data obrashcheniya: 17.09.2015.

22. Xiaohong Q., Xiaohong Q., Fox G.C., Yuan H., Bae S.-H., Chrysanthakopoulos G., Frystyk H. Nielsen High performance multi-paradigm messaging runtime integrating grids and multicore systems // In e-Science and Grid Computing, IEEE International Conference on, IEEE. 2007. P. 407–414.

Ключевые слова: Цифровая голография, кодирование изображений, восстановление изображений, ПЗС-устройства, вейвлет-преобразования, JPEG, JPEG2000, фрактальное сжатие.

ВВЕДЕНИЕ

Современное телевидение развивается по пути повышения реалистичности, увеличивается разрешение изображений и частота кадров, существуют телевизоры с поддержкой стереоформата. Существуют предпосылки нового формата — голографического телевидения. Цифровая голография обладает свойствами, которые позволяют рассматривать её в качестве перспективной технологии для создания сверхреалистичного телевидения с изображением, неотличимым от реальных объектов.

Однако для реализации голографического телевидения необходимо преодолеть несколько технологических проблем. В частности, цифровая голография требует передачи очень больших объёмов данных. Поэтому необходимо разработать способ компактного представления данных для эффективного хранения и передачи голографических изображений.

В последние десятилетия интерес к данной проблеме значительно возрос. Было проведено множество исследований и предложено большое количество идей. Большинство известных исследований основано на методах компрессии, разработанных для обычных изображений и видеопоследовательностей, включая JPEG, MPEG, AVC, HEVC.

Однако цифровые голограммы обладают особенностями, которые отличают их от обычных изображений. Вероятно, для создания более эффективных методов сжатия цифровых голограмм необходимо разработать новые методы, учитывающие специфические свойства голографических изображений.

1. СОСТОЯНИЕ НА ДАННЫЙ МОМЕНТ

Разработка методов создания голографического кино активно выполнялась в Научно-исследовательском кинофотоинституте. В 1974 г. профессор В.Г. Комар разработал оригинальные принципы голографического кинематографа, в основе которого лежали следующие четыре идеи:

УДК 778.53
ББК 22.343.4

Карпеня Т.Л., Киселёв Д.С., Поляков А.Ю.

КОМПРЕССИЯ ЦИФРОВЫХ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Карпеня Татьяна Леонидовна
E-mail: karpenya.tatyana@mail.ru
Балтийский федеральный университет им. И. Канта

Киселёв Дмитрий Сергеевич
E-mail: dkiselev1234@gmail.com
Балтийский федеральный университет им. И. Канта

Поляков Алексей Юрьевич, кандидат технических наук, доцент
E-mail: ap@triaxes.com
Балтийский федеральный университет им. И. Канта

Приводятся результаты эксперимента, выполненного в лаборатории когерентно-оптических измерительных систем Балтийского федерального университета им. И. Канта по записи и воспроизведению цифровых голограмм. Проведено сравнение уровней сжатия цифровых голограмм фрактальным методом и стандартными методами JPEG, JPEG2000. Выполнена оценка качества восстановленных изображений метриками PSNR и SSIM. Обсуждаются результаты создания цифрового голографического телевидения «Multiwavefront» Института микромеханики и фотоники Варшавского технологического университета, в котором была произведена передача голографической видеосъёмки динамического объекта шестью камерами с разрешением 1920×1080 пикселей каждая.

1) применение отражательного голографического экрана, фокусирующего в пространстве зрительного зала трёхмерные цветные изображения, представляющие собою световые копии снятых сцен;

2) применение для цветной киносъёмки и для изготовления проекционных экранов толстослойных голографических кино- и фотоплёнок, сверхвысокого разрешения (до 10000 лин/мм);

3) для обеспечения широкого диапазона ракурсов голографического изображения применение съёмочных и проекционных объектов с большой апертурой и светосилой, без виньетирования;

4) использование двух методов киносъёмки: съёмка малых и средних сцен в лазерном когерентном свете и съёмка больших сцен многоракурсным методом в обычном свете с последующим переводом изображения на голографическую киноплёнку.

В 1976 году был продемонстрирован первый в мире короткий голографического кинофильм. Но примерно через 10 лет работы над созданием голографического кинематографа в стране были прекращены из-за отсутствия финансирования.

В 2008–2009 годах в НИКФИ была составлена перспективная программа съёмки первого коммерческого голографического кинофильма и сооружения первого в мире голографического кинотеатра на 100 зрительских мест. Предусматривалось применение самых современных достижений в электронике и оптике. Однако в настоящее время цифровые электронные приборы ещё не могут заменить голографическую плёнку, так как разрешающая способность этой плёнки (до 10000 лин/мм) в настоящее время более, чем на порядок превышает разрешение цифровых электронных приборов [3].

В настоящее время развитие технологий позволяет использовать цифровые камеры в записи голографических изображений. Однако при записи голограммы помимо распределения интенсивности световой волны, отражённой от предмета (как фотография), регистрируется также распределение фазы предметной волны относительно фазы опорной волны. Голографическое изображение оказывается подобным реальному предмету, оно объёмно и позволяет заглянуть за «предметы», расположенные на переднем плане, двигая головой в сторону (параллакс смещения). Так как в голограмме содержится больше информации, то и размер данных, требуемых для её фиксации намного больше, чем необходимо для

записи привычных нам двумерных цифровых изображений. Реализовать запись и воспроизведение голографического изображения в цифровом виде реально уже сейчас. Для этого используются универсальные методы компрессии, разработанные для цифровых фото- и видеоизображений. Однако голографические изображения (запечатлённая интерференционная картина) совершенно не похожа на привычные изображения. Поэтому методы сжатия, разработанные для традиционных изображений, не так эффективны для голографических данных. Особенно это проявляется на последовательности видеоизображений, где методы устранения межкадровой избыточности (вычитания и предсказания движения), применяемые в традиционных алгоритмах компрессии, становятся неэффективными.

Большие объёмы данных, получаемых при записи голографических изображений, делают актуальным исследование и разработку методов сжатия, учитывающих особенности голографических данных.

2. ОСОБЕННОСТИ КОМПРЕССИИ ЦИФРОВЫХ ГОЛОГРАММ

При разработке методов компрессии надо учитывать, что характер изображения интерференционной картины отличается от традиционных видеоизображений, а, следовательно, применение широко используемых алгоритмов видеокомпрессии, основанных на дискретно-косинусных преобразованиях и устранении временной (межкадровой) избыточности неэффективно. Более того, потери, вносимые при компрессии методами MPEG, AVC, HEVC, могут нарушить структуру интерференционной картины и восстановленное изображение [1]. Поэтому для сжатия голографических данных необходимы специальные алгоритмы компрессии.

3. ТЕКУЩИЕ РАЗРАБОТКИ

В лаборатории когерентно-оптических измерительных систем Балтийского федерального университета им. И. Канта проведены успешные эксперименты записи и восстановления цифрового статического голографического изображения (рис. 1). Были записаны и программно восстановлены 50 цифровых голограмм (рис. 2) се-

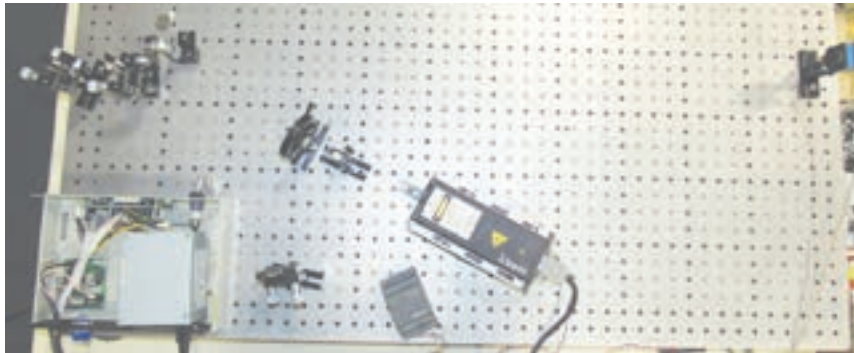


Рис. 1. Экспериментальная установка в лаборатории когерентно-оптических измерительных систем Балтийского федерального университета им. И. Канта



Рис. 2. Записанные голограммы: *a* — записанная цифровая голограмма, *б* — программно восстановленная цифровая голограмма кулона в форме дракона, *в* — кулон, использованный в качестве модели для съёмки

ребриного кулона в форме дракона, фиксирующая поворот объекта на 360 градусов. Запись голограмм была произведена на CCD-камеру с разрешением 744×480 пикселей и с использованием лазера с длиной волны 1064 нм. Полученные изображения являлись объектом для сжатия данных фрактальным методом и стандартными методами JPEG, JPEG2000 метриками PSNR и SSIM.

Подобный опыт по передаче голографической видеосъёмки динамического объекта был проведён в Институте микромеханики и фотоники Варшавского технологического университета [6], в котором была произведена передача голографической видеосъёмки динамического объекта шестью камерами с разрешением 1920×1080 пикселей каждая. Передача выполнялась между городом Бременом, где происходила запись, и Варшавой, где изображения были восстановлены. Были выполнены несколько вариантов

передачи для различных конфигураций программного обеспечения с использованием различных алгоритмов сжатия и снижения уровня шума.

Сжатие осуществлялось алгоритмом, который обеспечивал незначительное снижение качества голограммных данных при увеличении пользователем частоты кадров. Алгоритм состоял из удаления краевых пикселей голограмм, которые не имели весомого значения при восприятии изображения. Затем оставшиеся пиксели равномерно квантовались от их исходных 8 бит до более низких, так как было показано, что для генерации приемлемых фазово-голографических реконструкций требуется относительно немного бит информации [10]. Поэтому возможно применение сжатия без потерь, использующего двумерную пространственную избыточность. Поэтому был выбран вариант стандарта без потерь JPEG-LS для изображений непрерывного тона. Он позволяет точно контролировать размер файла и обеспечивает очень быструю реализацию, но такой подход обеспечивает менее впечатляющие коэффициенты сжатия по сравнению с известными методами.

В эксперименте в Варшаве были использованы алгоритмы компрессии общего назначения, что не является оптимальным для решения задачи эффективного сжатия голографических видеоданных.

В NHK (Японская вещательная корпорация) уже есть действующий прототип голографического телевизора, который пока весьма громоздкий. В корпорации признают, что телевизору, способному показывать голографию, придётся управлять огромным объёмом информации. В компании NHK изучают способы для захвата большего количества пикселей и создания устройства, способного выводить такое изображение.

Дёмин В.В. и Козлова А.С. определили [2], что коэффициент сжатия, достигаемый в кодировании без потерь, обычно находится в пределах от 1 до 10 для незашумленных изображений, а для зашумленных не превышает 2, что является неприемлемым для целей передачи данных по линиям связи. Приводится сравнение сжатия алгоритмом MPEG последовательностей голограмм, сгенерированных численно, и экспериментально зарегистрированных голограмм. Значения метрики PSNR для видеопоследовательности экспериментально зарегистрированных голограмм живого

планктона до и после кодирования—декодирования в среднем в 2 раза меньше по сравнению с голограммами, сгенерированными численно. В заключение указано, что такое качество голографических изображений в большинстве задач не может считаться приемлемым, поэтому необходима разработка специальных методов кодирования для сжатия цифровых голограмм и их видеопоследовательностей.

4. ИССЛЕДОВАНИЕ СТАНДАРТНЫХ ФОРМАТОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В Лаборатории технологий визуализации Балтийского федерального университета им. И. Канта были проведены эксперименты по исследованию влияния степени сжатия цифровых голограмм на качество восстановленных изображений. В качестве исходных данных использовались цифровые голограммы, записанные на CCD-камеру с разрешением 744×480 пикселей в формате PNG.

На первом этапе были исследованы алгоритмы сжатия без потерь, реализованные в формате PNG (использован алгоритм Deflate — комбинация алгоритмов LZ77 и Хаффмана). Степень сжатия для хранения голограммы в формате PNG не превышала 3,5:1.

Методы сжатия с потерями, предположительно, должны обеспечить более высокое сжатие. Поэтому были рассмотрены методы сжатия изображений с потерями: JPEG (использует дискретное косинусное преобразование — DCT), и JPEG2000 (использует дискретное вейвлет-преобразование — DWT).

В голографическом изображении информация о запечатленном образе хранится распределённо, при этом каждая часть голограммы хранит информацию о целом изображении. Однако разные части голограммы содержат запись одного и того же объекта, но с разных ракурсов. Тем не менее первоначальный образ тот же самый. Это позволяет предположить, что для компрессии голографических изображений хорошо подойдут фрактальные методы сжатия, основанные на свойствах самоподобия частей изображения.

Для исследования фрактального сжатия использовалась реализация фрактального метода сжатия изображений [8], в котором применены системы доменных и ранговых блоков изображения — блоков квадратной формы, покрывающих всё изображение. Для

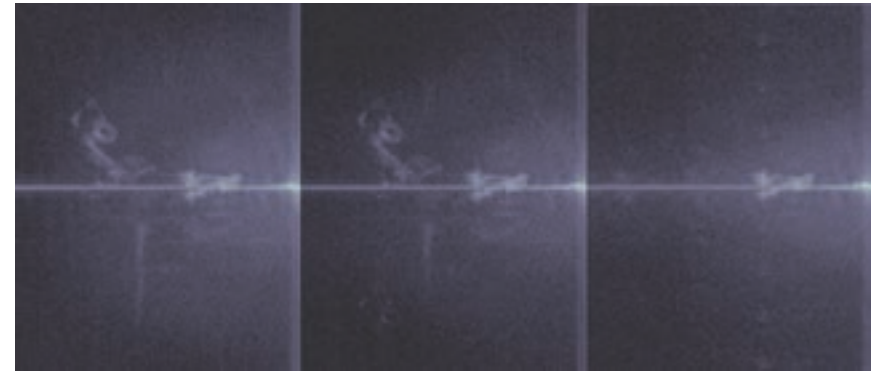


Рис. 3. Пример сравнения восстановленных изображений: из исходной голограммы (слева); из голограммы, записанной в формате JPEG с сохранением 90% качества (по центру), из голограммы, записанной в формате JPEG с сохранением 70% качества (справа)

каждого рангового блока R алгоритм кодирования находит наиболее подходящий доменный блок D и аффинное преобразование, которое переводит D в R . Данная реализация позволяет задавать размер рангового блока, расстояние между доменными блоками и уровень квантования.

Исходная цифровая голограмма сжималась алгоритмами JPEG, JPEG2000 и фрактальным методом с сохранением 100%, 90%, ..., 10%, 1% качества. С помощью программы для MATLAB, реализующей вычисления по формулам (5–7) из [4] с использованием алгоритма быстрого преобразования Фурье, из полученных сжатых голограмм были восстановлены изображения, которые затем визуально сравнивались с изображением, восстановленным из исходной голограммы, а также сравнивались с использованием метрик PSNR и SSIM.

При визуальном рассмотрении изображений, восстановленных из голограмм, сжатых алгоритмом JPEG с сохранением менее 90% качества (сжатие 5:1), изображение оказывалось неразличимым (рис. 3). Для JPEG2000 подобное ухудшение происходило при сжатии с сохранением менее 30% (сжатие 8:1), для фрактального сжатия — при степени сжатия больше 6:1.

На основе полученных в ходе экспериментов данных были построены графики зависимости значений PSNR и SSIM от степени сжатия цифровой голограммы при использовании форматов JPEG и JPEG2000 и фрактального сжатия.

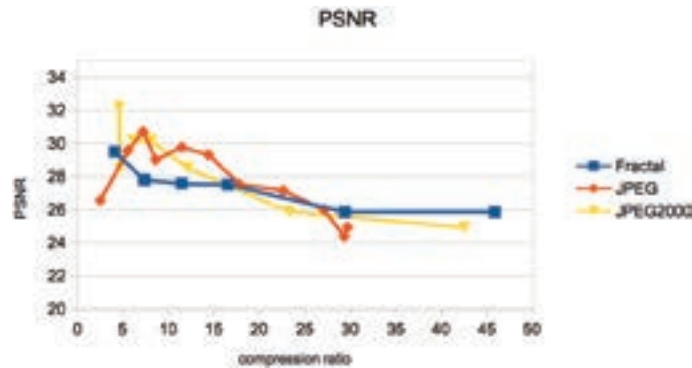


Рис. 4. График зависимости значения PSNR от степени сжатия цифровой голограммы

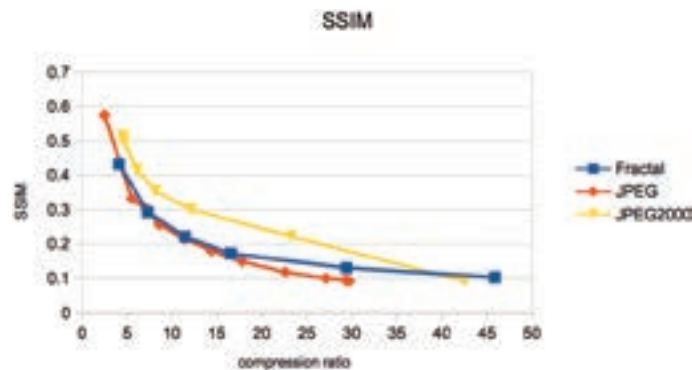


Рис. 5. График зависимости индекса SSIM от степени сжатия цифровой голограммы

На рис. 4 представлен график зависимости значения PSNR от степени сжатия цифровой голограммы. При небольшой степени сжатия (до 10:1) общих тенденций в изменении PSNR не наблюдается, тем не менее при дальнейшем увеличении степени сжатия PSNR незначительно уменьшается. Вероятно, PSNR не очень подходит для оценки изображений такого рода, так как PSNR более чувствителен к наличию шума, в то время как SSIM – к структурным изменениям и артефактам JPEG [5], а при увеличении степени сжатия цифровых голограмм на расшифрованных изображениях появляются структурные изменения, такие как двоение или исчезновение объекта (рис. 3).

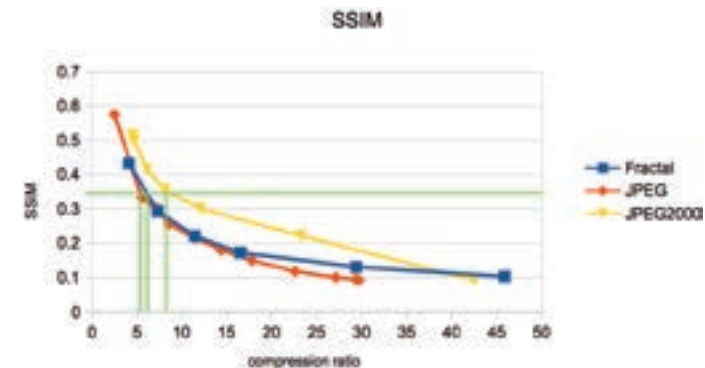


Рис. 6. Граничное значение SSIM = 0,35 (горизонтальная зелёная линия), достигаемое при сжатии JPEG в 5 раз, при сжатии JPEG2000 в 8 раз и при фрактальном сжатии в 6 раз

На рис. 5 представлен график зависимости индекса SSIM от степени сжатия. Зависимость более явно выражена: SSIM уменьшается при увеличении степени сжатия. Отметим, что граничные значения степени сжатия, при которых изображение ещё различимо, полученные при визуальной оценке (5:1 для JPEG, 6:1 для фрактального сжатия и 8:1 для JPEG2000), соответствуют примерно одному и тому же значению SSIM — около 0,35 (рис. 6).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Телевизионное разрешение становится всё выше, появляются телевизоры 4К и 8К, эти количественные изменения со временем перерастут в качественные — телевидение приобретёт новые свойства. Голографическое телевидение может стать такой технологией, которая изменит само телевидение. Решение проблемы качественного сжатия голограмм и разработка технологии скоростной передачи больших объёмов информации приближают эру объёмного телевидения. Некоторые эксперты считают, что появление голографического телевидения произойдёт к 2030 году [9].

Поэтому разработка специализированных алгоритмов сжатия голографического видео, обеспечивающих высокую скорость выполнения, низкий битрейт и контроль уровня потерь качества изображения является актуальной.

Для оценки качества изображений, восстановленных из цифровых голограмм, наиболее информативной является метрика

SSIM. Визуально приемлемое качество восстановленных изображений достигается при $SSIM \geq 0,35$.

Сжатие без потерь обеспечивает степень сжатия 3,5:1, что сравнимо с JPEG – 5:1 при уровне 90%, обеспечивающем визуально приемлемое качество.

Алгоритм JPEG2000 более эффективен при сжатии цифровых голограмм, чем JPEG: он позволяет получить бóльшую степень сжатия при одном и том же значении SSIM и при сохранении схожего качества при визуальном сравнении. Это может быть связано с тем, что JPEG2000 использует дискретное вейвлет-преобразование. Поэтому вейвлет-преобразования могут оказаться перспективными при разработке алгоритмов компрессии цифровых голограмм. Это показали выполненные эксперименты и согласуется с [7, 11].

Фрактальный метод в нашем эксперименте не показал выигрыша. Возможно, из-за особых свойств голографического изображения или же неверно выбранного варианта математической реализации фрактального метода.

Проведённый эксперимент показал, что методы компрессии, разработанные для обычных изображений, неэффективны. В дальнейших исследованиях планируется разработать новые алгоритмы сжатия цифровых голограмм и сравнение их со стандартными алгоритмами JPEG и JPEG2000.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. 384 с.
2. Демин В.В., Козлова А.С. Методы кодирования-декодирования цифровых голограмм частиц // Известия высших учебных заведений. Физика, Национальный исследовательский Томский государственный университет. 2012. С. 368–371.
3. Комар В.Г. Голографический кинематограф. <http://www.nikfi.ru/work/projects/holographic/>. Дата обращения: 25.03.2018.
4. Fractal Image Compression and Decompression able of projecting the decoded image into bigger size. <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/59235-fractal-image-compression->

and-decompression-able-of-projecting-the-decoded-image-into-bigger-size. Дата обращения: 01.03.2018.

5. Hore A. Image quality metrics: PSNR vs. SSIM // International Conference on Pattern Recognition. 2010.
6. Kujawinska M., Kozacki T., Falldorf C., Meeser T., Hennelly B.M., Garbat P., Zaperty W., Niemelä M., Finke G., Kowiel M., Naughton T. Multiwavefront digital holographic television // Optical Society of America. 2014. Vol. 22. Issue 3.13c.
7. Liebling M., Blu T., Unser M. Fresnelets: New Multiresolution Wavelet Bases for Digital Holography // IEEE Trans. Image Process. 2003. Vol. 12. No 1. P. 29–43.
8. Lingfeng Y., Yingfei A., Lilong C. Numerical reconstruction of digital holograms with variable viewing angles // Opt. Express. 2002. No 10. P. 1250–1257.
9. NHK пообещала создать голографическое телевидение к 2030 году. <http://old.telesputnik.ru/news/4760>. Дата обращения: 3.03.2018.
10. Son J.-Y. , Chernyshov O., Park M.-C., Son W.-H., Lee B.-R., Kim J.-W., A holographic display based on a Spatial Multiplexing. 2013. Proc. SPIE 8738, 87380G.
11. Xing Y. Béatrice Pesquet-Popescu and Frédéric Dufaux // Digital Holographic Data Representation and Compression. Elsevier Science. 2015.

Tatyana L. Karpenya, Dmitriyi C. Kiselev, Alekcey Yu. Polyakov
COMPRESSION OF DIGITAL HOLOGRAPHIC IMAGES

Tatyana L. Karpenya
 E-mail: karpenya.tatyana@mail.ru
 Immanuel Kant Baltic Federal University

Dmitriyi C. Kiselev
 E-mail: dkiselev1234@gmail.com
 Immanuel Kant Baltic Federal University

Alekcey Yu. Polyakov, PhD (Engineering), assistant professor
 E-mail: ap@triauxes.com
 Immanuel Kant Baltic Federal University

The article presents the results of an experiment carried out at the Laboratory of Coherent-Optical Measuring Systems of IKBFU on recording a series of digital holograms of a dragon silver pendant and their reconstruction. The fractal compression of digital holograms and standard JPEG, JPEG2000 are compared using PSNR and SSIM. It also discusses the results of the project for creating the «Multiwavefront» digital holographic television at the Institute of Micromechanics and Photonics of the Warsaw University of Technology in which a holographic video recording of a dynamic object by six cameras with the resolution of 1920x1080 pixels each was transmitted.

Key words: digital holography, image coding, image reconstruction, charge coupled devices, wavelet transforms, JPEG, JPEG2000, fractal compression.

REFERENCES

1. Vatolin D., Ratushnyak A., Smirnov M., Yukin V. *Metody szhatiya dannykh. Ustroistvo arkhivatorov, szhatie izobrazhenii i video*. M.: DIALOG-MIFI, 2002. 384 p.
2. Demin V.V., Kozlova A.S. *Metody kodirovaniya-dekodirovaniya tsifrovyykh gologramm chastits // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Fizika, Natsional'nyi issledovatel'skii Tomskii gosudarstvennyi universitet*. 2012. P. 368–371.
3. Komar V.G. *Golograficheskii kinematograf*. <http://www.nikfi.ru/work/projects/holographic/>. Data obrashcheniya: 25.03.2018.
4. *Fractal Image Compression and Decompression able of projecting the decoded image into bigger size*. <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/59235-fractal-image-compression-and-decompression-able-of-projecting-the-decoded-image-into-bigger-size>. Data obrashcheniya: 01.03.2018.
5. Hore A. *Image quality metrics: PSNR vs. SSIM // International Conference on Pattern Recognition*. 2010.
6. Kujawinska M., Kozacki T., Falldorf C., Meeser T., Hennelly B.M., Garbat P., Zaperty W., Niemelä M., Finke G., Kowiel M., Naughton T. *Multiwavefront digital holographic television // Optical Society of America*. 2014. Vol. 22. Issue 3.13c.
7. Liebling M., Blu T., Unser M. *Fresnelets: New Multiresolution Wavelet Bases for Digital Holography // IEEE Trans. Image Process*. 2003. Vol. 12. No 1. P. 29–43.
8. Lingfeng Y., Yingfei A., Lilong C. *Numerical reconstruction of digital holograms with variable viewing angles // Opt. Express*. 2002. No 10. P. 1250–1257.

9. NHK poobeshchala sozdat' golograficheskoe televidenie k 2030 godu. <http://old.telesputnik.ru/news/4760>. Data obrashcheniya: 3.03.2018.

10. Son J.-Y. , Chernyshov O., Park M.-C., Son W.-H., Lee B.-R., Kim J.-W., *A holographic display based on a Spatial Multiplexing*. 2013. Proc. SPIE 8738, 87380G.

11. Xing Y. Béatrice Pesquet-Popescu and Frédéric Dufaux // *Digital Holographic Data Representation and Compression*. Elsevier Science. 2015.

УДК: 681.7.012
ББК 32.96

Бирючинский С.Б.

ОПТИМИЗАЦИЯ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ТЕЛЕСКОПОВ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО 3D-ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Бирючинский Сергей Борисович, кандидат физико-математических наук, профессор
E-mail: bsb@optica4d.com
ООО «Оптико-механические системы»

Рассмотрены разработанные автором некоторые оптические схемы телескопов для дистанционного 3D-зондирования Земли. Проведено сравнение основных оптических характеристик телескопов различной архитектуры. Приведены примеры расчёта оптических систем объективов, применяемых для различных задач как в области астрономии, так и в области дистанционного зондирования Земли. Даны практические рекомендации по разработке и использованию объективов телескопов.

Ключевые слова: объектив, телескоп, спутник, абберации, оптическая система, оптимизация, пропускная способность.

Создание оптических систем с предельной разрешающей способностью является одной из важнейших задач космических отраслей многих стран мира. Задачи построения подобных оптических систем частично пересекаются с задачами профессиональной кинематографии (особенно в расчётах оптических систем, в регистрации и обработке изображений). Существуют различные методы расчёта и оптимизации оптических систем, пригодные, в

том числе, и для задач разработки объективов космического применения (например, [1, 4, 6–8, 10]). Актуальность данной темы можно проследить и по зарубежным публикациям (см., например, [5, 9]). Среди отечественных публикаций имеются как выдающиеся, с мировым уровнем значимости (например, [2]), так и совершенно безграмотные, не обладающие практической значимостью (например, [3] и им аналогичные), что указывает на заметную деградацию оптической отрасли в Российской Федерации.

Параметры оптической системы (габариты, рабочие длины волн, масса, разрешающая способность, относительное отверстие и параметры фотоприёмника) для хорошо исправленной оптической системы (без заметных аббераций) являются сложным образом взаимосвязанными. Это также связано с существованием различных вариантов архитектуры оптических систем (подходящих под габаритные ограничения) примерно одинаковых по основным характеристикам. На практике часто даются одновременно требования по габаритам, предпочтительному фокусному расстоянию и эквивалентному угловому разрешению (критерии углового разрешения могут быть различны), что может приводить к плохо разрешимым противоречиям даже для дифракционно-ограниченных оптических систем.

Процесс выбора необходимой архитектуры оптической системы объективов космического применения неотъемлемо связан как с выбором фотоприёмника (метода регистрации изображения), так и с аппаратно-программной составляющей его обработки. Иногда требуется повысить разрешающую способность за счёт постобработки полученного изображения. Данное действие в общем случае не представляется возможным, так как получаемое с матричного фотоприёмника изображение дискретно и содержит фиксированный объём информации об объекте наблюдения и любые манипуляции с предоставленным количеством информации на выходе могут лишь его уменьшить, но никак не увеличить (можно улучшить визуальное восприятие части полученной информации, но при этом её общее количество, как правило, будет уменьшено, что никак не улучшит эквивалентное угловое разрешение). Само по себе получаемое на выходе количество информации об объекте зависит от информационной пропускной способности объектива, условий съёмки, характеристик фотоприёмника и некоторых других

факторов (например, можно обработать несколько снимков одного участка, что частично приведёт к некоторому ограниченному увеличению количества полученной информации).

В некоторых случаях (например, если априори известна точная информация об объекте и соблюдается ряд условий) возможно применение численно-аналитических методов, восстанавливающих информацию об объекте сверх того, что было получено на выходе фотоприёмника (с определённой степенью достоверности). Однако данные методы весьма ограничены в практическом применении. Существуют также различные методы аподизации и им подобные (например, с целью уменьшения диаметра первого тёмного кольца Эйри, что теоретически может многократно повысить разрешающую способность). Однако на практике для задач дистанционного зондирования Земли эти методы практически непригодны. Другим методом повышения разрешающей способности является активное взаимодействие с зондируемым объектом (специальная внешняя подсветка, как например, в некоторых методах микроскопии), но данные методы сложны и не универсальны.

Что касается прочей цифровой обработки изображений, то возможны различные варианты (или их комбинации) алгоритмов, улучшающих восприятие некоторых деталей полученного изображения, а также различные алгоритмы улучшения качества за счёт получения множества снимков, как смещённых относительно матрицы (смещение до нескольких пикселей), так и полученных с разных ракурсов (в том числе фотограмметрическая обработка).

Отличительной особенностью оптических систем объективов космического применения являются требования минимизации массы и габаритов, что зачастую на практике приводит к необходимости создания комбинированных оптических систем разного назначения, объединённых в одном общем корпусе. Для достижения максимальной информационной пропускной способности телескопа все рассчитанные и представленные в данной работе оптические системы оптимизированы по критерию одинакового дифракционно-ограниченного качества изображения по всему полю во всём рабочем спектральном диапазоне (остаточные aberrации не влияют на качество изображения заметным образом, что соответствует числу Штреля более 0,9). На практике в рассчитанных системах среднее значение числа Штреля составляло около 0,97 и не опу-



Рис. 1. Базовый вариант архитектуры оптической системы с двумя апертурами

скалось ниже 0,9 даже на краю поля зрения (этот результат значительно превосходит критерий Релея на требование по допустимой волновой aberrации, что оставляет большее поле технологических допусков и соответственно облегчает производство).

В некоторых случаях, с целью увеличения разрешающей способности, объектив телескопа может иметь несколько апертур. Один из примеров такого варианта архитектуры оптической системы показан на рис. 1. Данная схема с двумя апертурами фактически является интерферометром, содержит два входных зрачка, систему зеркал и за счёт многократных отражений является компактной (обеспечивает разрешающую способность 0,3 угловых секунды). На рис. 1 не показаны линзовые корректоры и некоторые вспомогательные компоненты для обеспечения мультиспектральности. Относительное отверстие подобных систем, как правило, составляет около 1:15 и не может быть слишком большим из-за конструктивных сложностей.

На рис. 2. показана оптическая схема зеркального телескопа с линзовым компенсатором для диапазона 0,4–0,9 мкм и относительным отверстием 1:10. Диаметр апертуры составляет 140 мм. Особенностью данной системы является изготовление линз компенсатора из одного материала, что обеспечивает высокую технологичность изделия при высоком качестве изображения и низких световых потерях. Материал компенсатора и его параметры подбирались таким образом, чтобы обеспечить высокую радиационную стойкость изделия и минимизацию хроматизма. Центральное экранирование составляет 4,6% по площади, что вносит незначительный вклад в изменение контраста изображения. Угловое поле зрения составляет 1° и может быть увеличено применением более

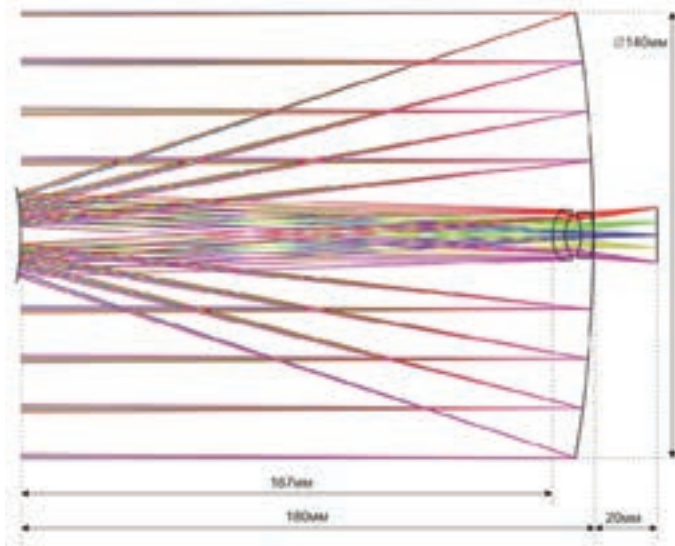


Рис. 2. Оптическая схема зеркального телескопа с линзовым компенсатором для диапазона 0,4–0,9 мкм и относительным отверстием 1:10

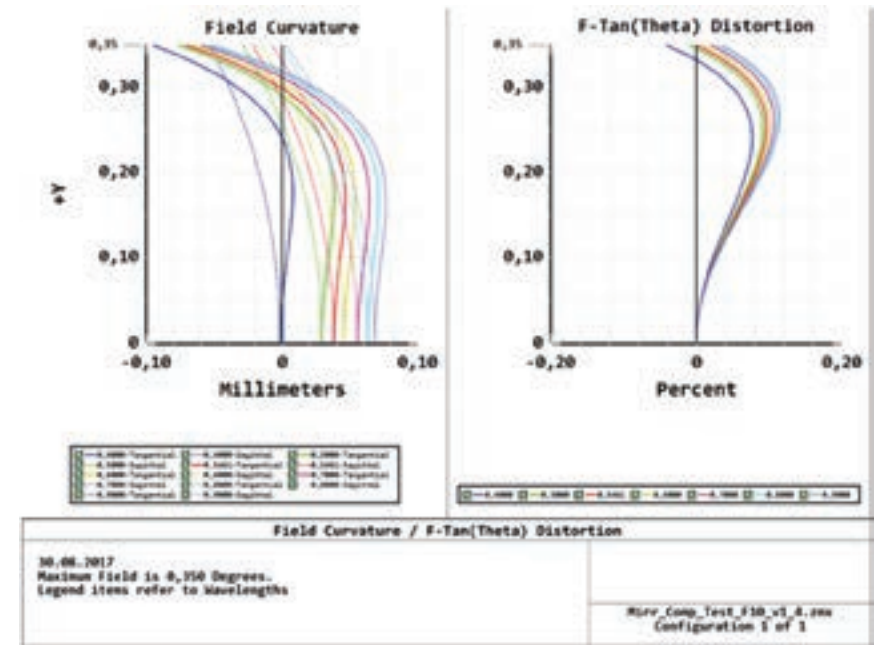


Рис. 4. Графики кривизны поля и дисторсии

сложной схемы компенсатора. Высокое качество объектива подтверждается графиками функции передачи модуляции (рис. 3), кривизны поля и дисторсии (рис. 4). Из рис. 4 видно, что разработанная система практически свободна от дисторсии (менее 0,1%). Введение асферических поверхностей высоких порядков позволяет ещё более уменьшить остаточную дисторсию.

Наличие некоторых остаточных aberrаций третьего порядка не является препятствием для достижения идеального качества изображения (число Штреля более 0,99). Данная особенность характерна для многих истинно оптимальных систем (глобальный оптимум) и достигается применением разработанных автором методик расчёта [1].

Дальнейшим вариантом развития системы, представленной на рис. 2, в сторону компактности может являться оптическая схема, приведённая на рис. 5. По сравнению с предыдущей схемой (см. рис. 2) здесь длина вдоль оптической оси была уменьшена до 90 мм, что привело к необходимости введения трёхлинзового компенсатора более сложной конфигурации и введения асферических

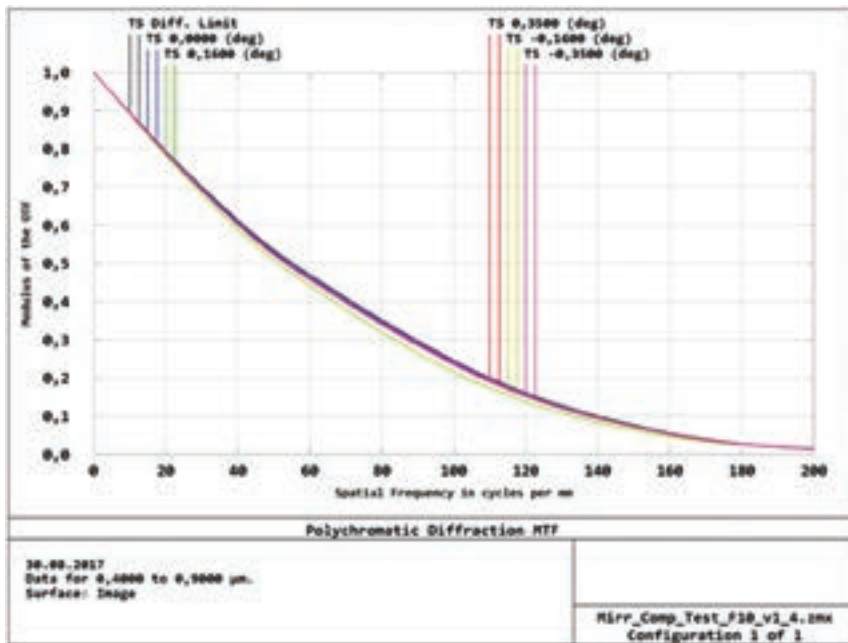


Рис. 3. График функции передачи модуляции для схемы рис. 2

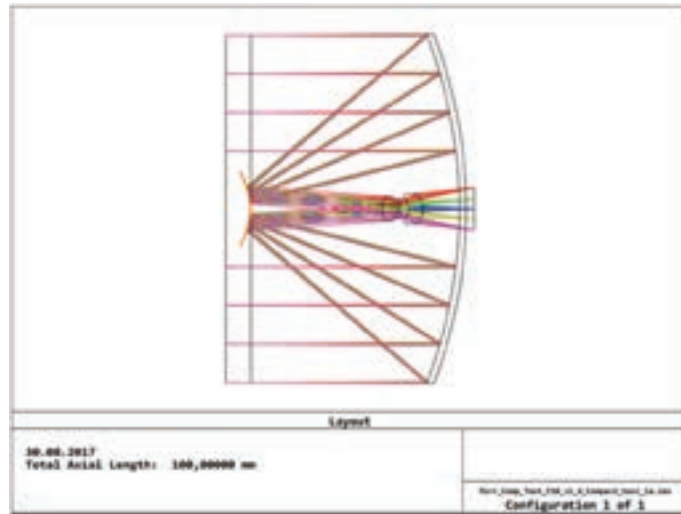


Рис. 5. Оптическая схема компактного зеркального телескопа с линзовым компенсатором для диапазона 0,4–0,9 мкм и относительным отверстием 1:10

поверхностей шестого порядка (в предыдущей схеме применялись асферические поверхности второго порядка). Центральное экранирование в данном случае уменьшено до 4% по площади.

На практике схемы, подобные приведённой на рис. 5, применяются редко из-за возрастающих требований к допускам и качеству изготовления оптических поверхностей.

Для решения задач дистанционного 3D-зондирования Земли применяются не только оптические системы видимого и ближнего ИК-диапазона, но и системы среднего ИК (длины волн около 8–14 мкм). Как правило, подобные системы обладают высокой светосилой (более 1:4). Другой особенностью данных систем является ограниченный выбор материалов с высокой прозрачностью в нужном диапазоне. Для небольших значений апертур могут успешно применяться зеркально-линзовые (катадиоптрические) объективы. Их применение оправдано, так как они обладают существенно меньшим весом и габаритами по сравнению с линзовыми системами. Кроме того, имеется ряд преимуществ, особенно в области коррекции хроматизма. К недостаткам относится, как правило, высокое центральное экранирование (обычно около 40–50% по площади).

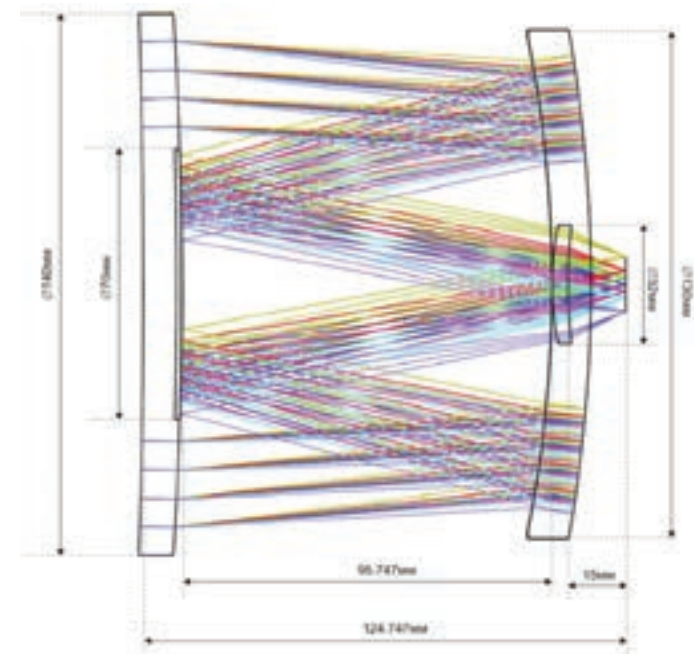


Рис. 6. Оптическая схема зеркально-линзового телескопа для диапазона 8–14 мкм с относительным отверстием 1:1,4

На рис. 6 показана оптическая схема зеркально-линзового телескопа для диапазона 8–14 мкм и относительного отверстия 1:1,4. Все оптические элементы данного телескопа изготовлены из одного материала (германий). Все оптические поверхности сферической формы и просты в изготовлении. Угловое поле зрения $4,1^\circ$, при необходимости оно может быть увеличено. Из графика функции передачи модуляции (рис. 7) следует, что система является практически идеальной даже на краю поля зрения (дальнейшее уменьшение aberrаций не приведёт к улучшению качества изображения). Уменьшение контраста изображения на пространственных частотах менее 40 лин/мм связано с большим центральным экранированием зрачка (в то же время для малых значений контраста разрешающая способность растёт за счёт уменьшения диаметра центрального дифракционного пятна). В расчёте предполагался одинаковый статистический вес для каждой длины волны. Расчётный остаточный хроматизм не оказывает влияния на качество изображения в данной системе.

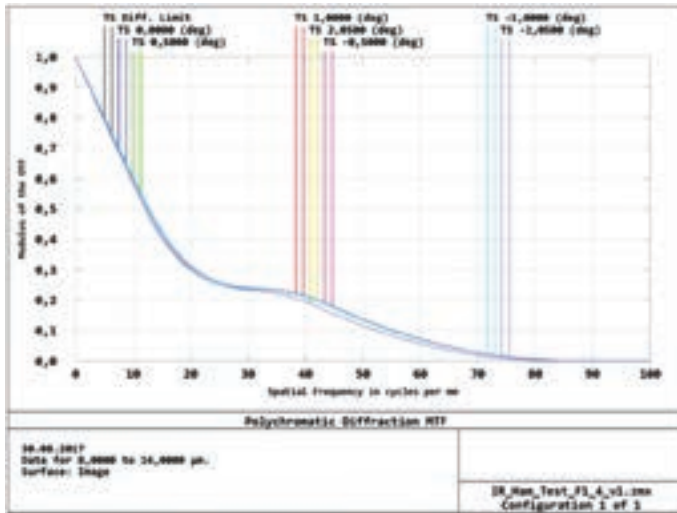


Рис. 7. График функции передачи модуляции оптической системы телескопа, показанной на схеме рис. 6

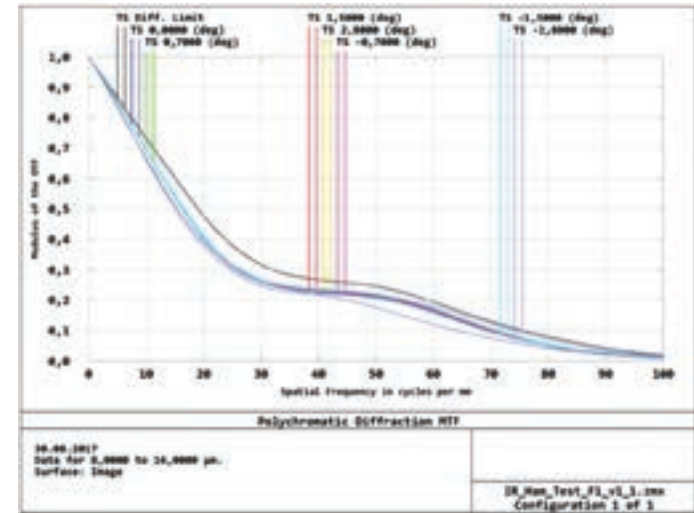


Рис. 9. График функции передачи модуляции для схемы, приведённой на рис. 7

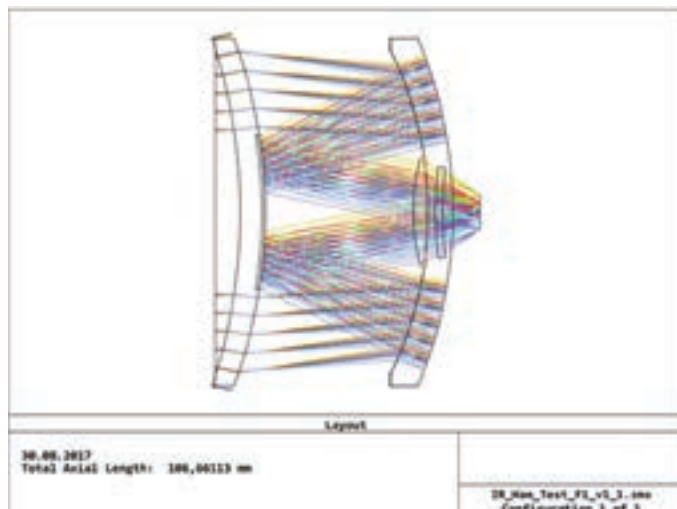


Рис. 8. Оптическая схема компактного зеркально-линзового телескопа для диапазона 8–14 мкм и относительным отверстием 1:1

Системы, подобные изображённой на рис. 6, могут эффективно работать и при более высоких значениях относительного отверстия. На рис. 8 показан вариант светосильного (1:1) объектива с длиной вдоль оптической оси 96,7 мм (существуют и более

компактные варианты с аналогичными характеристиками). Как и в предыдущем случае, система обладает дифракционным качеством изображения (для этого в систему был введён второй линзовый компенсатор), что иллюстрирует рис. 9. Угловое поле зрения было увеличено до $5,6^\circ$ и при необходимости может составлять 7° и более (с более сложным компенсатором). Дисторсия объективов, приведённых на рис. 6 и 8, мала (менее 0,1%) и не требует для коррекции применения асферической оптики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные в данной работе схемы относятся к категории оптимальных оптических систем (представляют собой идеальные решения для данной задачи) и не могут быть улучшены без ухудшения других характеристик. Были рассмотрены лишь некоторые объективы с наиболее интересными архитектурами оптических систем. Технически возможно построение систем с более высокой разрешающей способностью и аналогичными габаритами (входная апертура не круглого сечения, в том числе несимметричные варианты), однако конструктивно они более сложны (например, может нарушиться ограничение по массе) и их исследование выходит за рамки данной работы. Дальнейшее развитие систем объективов

космического применения возможно только одновременно с развитием как технологий производства облегчённых оптических компонент высокого качества, так и систем регистрации и аппаратной обработки изображений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бирючинский С.Б. Моделирование и оптимизация архитектуры оптических систем для современного кинематографа // Мир техники кино. 2015. № 37.
2. Клевцов Ю.А. Катадиоптрический телескоп. Патент РФ № 2443005.
3. Смирнов С.А., Васильев В.Н., Гримм В.А. Ахроматический зеркально-линзовый объектив. Патент РФ № 2584382.
4. Beaulieu J., Gagn'е C., Parizeau M. Lens System Design and Re-Engineering with Evolutionary Algorithms // Proc. of GECCO 2002. July 9-13. New York.
5. Jin H. et al. Optical Design of a Reflecting Telescope for CubeSat // Journal of the Optical Society of Korea. 2013. No 17(6).
6. Kingslake R., R. Barry Johnson R.B. Lens Design Fundamentals, Academic Press is an imprint of Elsevier, 2010.
7. Laikin M. Lens Design / Fourth Edition. CRC Press. 2006.
8. Nagata Y. The Lens Design Using the CMA-ES Algorithm. In: Deb K. (eds) Genetic and Evolutionary Computation — GECCO 2004. Lecture Notes in Computer Science. 2004. Vol. 3103. Springer, Berlin, Heidelberg.
9. Rachim E., et al. Preliminary of Optical Lens Design for Micro-Satellite // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. 2017. Sci. 54 012095.
10. Turnhout M., Grol P., Bociort F., Urbach H.P. Obtaining new local minima in lens design by constructing saddle points // Opt. Express. 2015. Vol. 23. P. 6679–6691.

Sergey B. Biryuchinskiy

OPTIMIZATION OF THE OPTICAL SYSTEMS OF TELESCOPES FOR 3D REMOTE SENSING OF THE EARTH

Sergey B. Biryuchinskiy, PhD (Physical and Mathematical Sciences), professor

E-mail: bsb@optica4d.com

Opto-mechanical Systems Limited

The article dwells on some optical schemes of telescopes for 3D remote sensing of the earth, developed by the author. He gives the main optical characteristics of various telescopes architecture as well as examples of calculating optical systems of lenses applied to various tasks both in the fields of astronomy and remote sensing of the earth are given. The article also involves practical recommendations about the development and use of telescope lenses.

Key words: lens, telescope, satellite, aberrations, optical system, optimization, bandwidth.

REFERENCES

1. Biryuchinskii S.B. Modelirovanie i optimizatsiya arkhitektury opticheskikh sistem dlya sovremennogo kinematografa // Mir tekhniki kino. 2015. No 37.
2. Klevtsov Yu.A. Katadioptricheskii teleskop. Patent RF № 2443005.
3. Smirnov S.A., Vasil'ev V.N., Grimm V.A. Akhromaticheskii zerkal'no-linzovyi ob»ektiv. Patent RF № 2584382.
4. Beaulieu J., Gagn'е C., Parizeau M. Lens System Design and Re-Engineering with Evolutionary Algorithms // Proc. of GECCO 2002. July 9-13. New York.
5. Jin H. et al. Optical Design of a Reflecting Telescope for CubeSat // Journal of the Optical Society of Korea. 2013. No 17(6).
6. Kingslake R., R. Barry Johnson R.B. Lens Design Fundamentals, Academic Press is an imprint of Elsevier, 2010.
7. Laikin M. Lens Design / Fourth Edition. CRC Press. 2006.
8. Nagata Y. The Lens Design Using the CMA-ES Algorithm. In: Deb K. (eds) Genetic and Evolutionary Computation — GECCO 2004. Lecture Notes in Computer Science. 2004. Vol. 3103. Springer, Berlin, Heidelberg.
9. Rachim E., et al. Preliminary of Optical Lens Design for Micro-Satellite // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. 2017. Sci. 54 012095.
10. Turnhout M., Grol P., Bociort F., Urbach H.P. Obtaining new local minima in lens design by constructing saddle points // Opt. Express. 2015. Vol. 23. P. 6679–6691.

УДК 004.9
ББК 32.973

Зелеев М.Х., Закирьянова Г.Т., Дианов В.М., Закирьянова Л.Ф.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ВНУТРЕННИХ ОРГАНОВ В МЕДИЦИНЕ

Зелеев Марат Хасанович, кандидат физико-математических наук,
доцент

E-mail: Zeleevmarat2011@mail.ru

Башкирский государственный медицинский университет

Закирьянова Галия Тимергазиевна, кандидат физико-математических наук, доцент

E-mail: galbaby@rambler.ru

Башкирский государственный медицинский университет

Дианов Валерий Михайлович, доктор фармакологических наук,
профессор

E-mail: dianov@inbox.ru

Башкирский государственный медицинский университет

Закирьянова Лилия Фаритовна

E-mail: lizakfar@rambler.ru

Башкирский государственный медицинский университет

В настоящее время для визуализации внутренних органов и частей тела человека используются три области «прозрачности» шкалы электромагнитных волн и упругие волны. Это — рентгеновское излучение, гамма-излучение, электромагнитное излучение метрового диапазона и ульт-

развуковые волны. Известно, что биологические функции биологических молекул закодированы природой в их электронном строении и любые патологические процессы начинаются с изменения электронного строения содержащих их молекул. Если мы научимся извлекать всю информацию о состоянии организма из электронного строения составляющих организм молекул, то необходимость в вероятностных методах диагностики отпадёт, так как однозначно будут определены причинно-следственные связи. Пространственное молекулярное моделирование — чрезвычайно сложная и трудоёмкая задача, даже если рассматривать только геометрические характеристики модели строения молекулы. В настоящей работе приведены результаты компьютерного моделирования и визуализации процессов взаимодействия биологически активной молекулы природного происхождения — кварцетина с одной из важных составляющих клеточной мембраны фосфатидилхолином.

Ключевые слова: молекулярное моделирование, молекула кварцетина, клеточная мембрана, фосфатидилхолин.

Становление научной медицины совпало с формированием понимания необходимости и потребности в визуализации внутренних органов и частей тела человека. В настоящее время для визуализации внутренних органов и частей тела человека используются три области «прозрачности» электромагнитной шкалы и упругие волны. Это — рентгеновское излучение, гамма-излучение, электромагнитное излучение метрового диапазона и ультразвуковые волны. Использование перечисленных волн обусловлено их высокой проникающей способностью через биологические ткани. Однако существующие методы визуализации дают информацию об объекте, когда патологические процессы уже находятся на определённой стадии развития. Известно, что биологические функции биологических молекул закодированы природой в их электронном строении, и любые патологические процессы начинаются с изменения электронного строения молекул. Если мы научимся извлекать всю информацию о состоянии организма из электронного строения составляющих организм молекул, то необходимость в вероятностных методах диагностики отпадёт, так как однозначно будут определены причинно-следственные связи. В связи с этим, в последнее время в научной литературе появились публикации, посвящённые созданию методов диагностики на молекулярном уровне, до появления симптомов болезни. Хотя важность исследования связи электронного строения с биологическими функциями молекул

очевидна, быстрое развитие таких исследований сдерживалось чрезвычайной сложностью биологических молекул и отсутствием технических возможностей для исследования биологических молекул в условиях естественного развития. Разработка и доступность быстродействующих компьютеров и программного обеспечения в последние годы сделали подобные исследования возможными.

В настоящее время бурно развивается молекулярное моделирование на основе математического и компьютерного моделирования. Толчок этому развитию дало развитие вычислительной техники. Молекулярное моделирование — чрезвычайно сложная и трудоёмкая задача, даже если рассматривать только геометрические характеристики модели строения молекулы. Сложность задачи, например, возрастает с увеличением числа атомов в молекуле. Сейчас применяют импортные программные продукты для расчёта геометрии молекулы и динамики взаимодействия атомов, разрабатываются и некоторые отечественные программы.

Одним из важнейших этапов исследования является анализ геометрической структуры взаимодействующих соединений. Структурные формулы отражают лишь связанность различных атомов в молекуле. Возникает необходимость отображения пространственной структуры в виде геометрического образа — задача визуализации взаимодействующих пространственных молекулярных структур. Эта задача становится особенно актуальной при изучении стереоизомеров, когда анализ соединений требует использования трёхмерных моделей молекул.

До появления быстродействующих компьютеров для решения таких задач применялись механические модели молекул (модели Стьюарта-Бриглеба). К настоящему времени создано большое количество программных продуктов, позволяющих визуализировать как плоские, так и пространственные модели молекул, а также решающих практически все основные задачи компьютерной химии, включая управление базами данных химических соединений, методы квантовой химии и численного моделирования [4].

В рамках данной работы нами проведён сравнительный анализ возможности двух наиболее популярных программных пакетов, позволяющих реализовать редактирование структурных формул химических соединений и их визуализации: ChemOffice и HyperChem.

Программа ChemDraw является одним из компонентов пакета программных средств ChemOffice, предназначенной для двумерной визуализации молекулярных структур, и относится к двумерным химическим редакторам. Программа ChemDraw позволяет отображать на плоскости молекулярные структуры и преобразовывать их в дальнейшем в трёхмерные модели Chem3D.

Программа HyperChem является очень популярной, в основном благодаря понятному и дружелюбному графическому интерфейсу. Программа HyperChem совмещает в себе как функции визуализатора объёмной структуры соединений, так и возможности выполнения квантово-химических расчётов больших молекул, что особенно важно при проведении исследований биологических объектов. Программа HyperChem может быть особенно интересна для биохимиков, благодаря лёгкости построения самых сложных молекул и кластеров, использованию методов молекулярной механики и другим преимуществам, которые позволяют визуализировать и в наглядной форме представить свойства биомакромолекул и комплексов, возникающих при взаимодействии биомакромолекул с биологически активными молекулами. Наряду с молекулярной динамикой и полуэмпирическими методами в программе HyperChem реализован учёт электронной корреляции методами теории возмущений второго порядка и функционала плотности. К достоинствам программы можно отнести и обширный каталог молекулярных фрагментов, облегчающий задание исходной геометрии, и возможность её контроля по мере выполнения расчёта. Есть возможность показать контурное отображение электростатического потенциала. Графическое изображение распределений электростатического потенциала в HyperChem может осуществляться в виде трёхмерных поверхностей или двумерных линий на плоскости, являющихся сечениями трёхмерной поверхности.

На данном этапе развития теории основные усилия исследователей направлены на изучение связи биологической активности с электронным строением и геометрией молекул [5, 6, 11]. При этом крайне важно визуализировать процесс взаимодействия биологически активных молекул с составляющими биологических объектов. Наиболее информативным и прямым экспериментальным методом, позволяющим исследовать геометрическую структуру молекул и

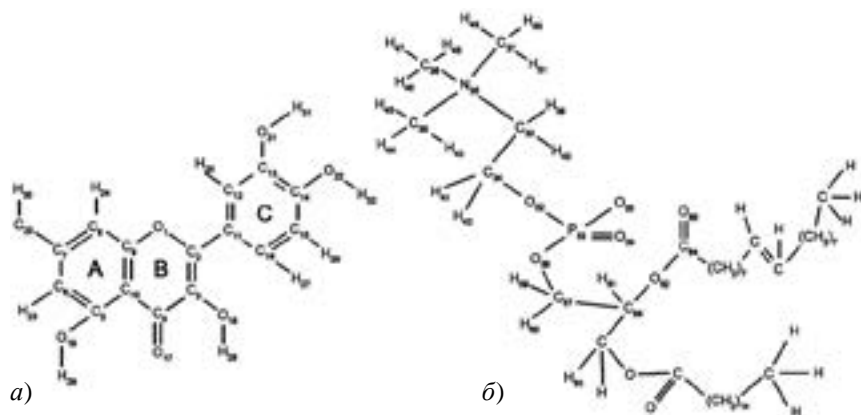


Рис. 1 а, б. Строение комплекса: а — молекула кверцетина, б — молекула фосфатидилхолина

подтверждающим наличие комплексообразования, является метод спектроскопии ядерного магнитного резонанса (ЯМР).

В настоящей работе приведены результаты пространственного компьютерного моделирования и визуализации процесса взаимодействия биологически активной молекулы природного происхождения — кверцетина (рис. 1, а) с одной из важной составляющей клеточной мембраны — фосфатидилхолином (рис. 1, б). Кверцетин является представителем обширной группы молекул растительного происхождения, имеющих растущее применение на практике, в частности, из-за влияния данной молекулы на проницаемость клеточных мембран.

Для установления наличия комплексообразования фосфатидилхолин—кверцетин методами квантовой химии проведены многократные расчёты с начальными конфигурациями расположения центров компонент комплекса на сетке с последующей оптимизацией её геометрии и поиском минимума энергии. Расчёты проведены методами AM1 и MNDO [8–10]. Полученные с помощью этих методов данные оказались близки. Предварительные расчёты выполнены методом молекулярной механики.

Для подтверждения наличия комплексообразования фосфатидилхолин—кверцетин использован метод спектроскопии ЯМР на ядрах ^{13}C . Малые концентрации фосфатидилхолина приводят к возрастанию времени накопления сигналов, а увеличение его концентрации вызывает расширение линии поглощения из-за об-

разующихся мицелл, что снижает точность измерения химических сдвигов [1–3].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наблюдается изменение пространственной структуры — процесс сближения атомов ^{36}C , ^{37}C , ^{38}C холиновой группы фосфатидохолина с плоскостью кольца С молекулы кверцетина.

Атом ^{34}C , примыкающего к фосфатной группе фосфатидохолина, смещается к гидроксильной группе ^{19}O кольца А молекулы кверцетина.

Проведённые квантовохимические расчёты, сопровождаемые оптимизацией пространственной структуры вступающих во взаимодействие молекул, показывают, что действие кверцетина происходит через стадию комплексообразования кверцетин — фосфатидилхолин.

Процесс сопровождается увеличением объёма занимаемой углеводородной частью фосфатидилхолина, приводящий к уменьшению плотности мембраны. При этом происходит возрастание эффективного сечения молекулы фосфатидилхолина, что, по-видимому, является одной из причин увеличения коэффициента диффузии клеточной мембраны под действием кверцетина [7]. Наблюдаемый процесс пространственной визуализации даёт исследователю наглядное представление двугранных, торсионных углов и ориентаций взаимодействующих молекул.

Описанный нами метод визуализации и анимации используется как для научных исследований, так и в учебном процессе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зелеев М.Х., Галеева Р.И., Усманова С.И., Кузнецова М.В., Фахретдинова Д.И., Насибуллин Р.С. Квантово-химические исследования взаимодействия гистамина с клеточным лецитином // Медицинский вестник Башкортостана. 2016. Т. 11. № 5 (65). С. 106–109.
2. Зелеев М.Х., Спирихин Л.В., Байрамгулов Р.А., Мусина Г.И., Шайхутдинова И.А., Насибуллин Р.С. Ядерный эффект оверхаузера в молекуле апигенина // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. № 1-1 (67). С. 9–12.

3. Косарева Д.И., Шарафутдинова Р.Р., Зелеев М.Х., Загитов Г.Н., Галеева Р.И. О взаимодействии флавоноидов с клеточными мембранами // Медицинский вестник Башкортостана. 2008. Т. 3. № 6. С. 45–47.

4. Минкин В.И., Симкин Б.Я., Миняев Р.Н. Теория строения молекул. Ростов-на-Дону: Феникс, 1997. 560 с.

5. Сетченков М.С., Усманова С.И., Афанасьева Ю.Г., Насибуллин Р.С. Комплексообразование некоторых биологически активных молекул с фосфатидилхолином // Известие высших учебных заведений. 2009. № 4. С. 77–80.

6. Сетченков М.С., Усманова С.И., Нусратуллин В.М., Насибуллин Ю.Д., Насибуллин Р.С. ЯМобильный робот 31P спектроскопические исследования комплексообразования рутина с фосфатидилхолином // Бутлеровское наследие — 2011. 2011. Т. 25. № 6. С. 63.

7. Шарафутдинова Р.Р., Насибуллин Р.С., Фахретдинова Е.Р. Исследование конформационного состояния кверцетина при комплексообразовании с лецитином // Химическая физика и мезоскопия. 2008. Т. 10. № 4. С. 510–513.

8. Dawson R.M.C. On the mechanism of action of phospholipase A // Biochem. J. 1963. Vol. 88. No 3. P. 414–423.

9. Dewar M.J.S., Ford G.P., Rzepa H.S. An MNDO study of the structures, vibrational frequencies, and ionization energies of the first five polyynes // Chem. Phys. Lett. 1977. Vol. 50. P. 262–265.

10. Dewar M.J.S. The molecular orbital theory of organic chemistry. NY: McGraw-Hill, 1969. 484 p.

11. Setchenkov M.S., Usmanova S.I., Afanaseva J.G., Nasibullin R.S. Complexing of some biologically active molecules with phosphatidylcholine // Russian physics journal. 2009. Vol. 52. № 4. P. 417–420.

Marat H. Zeleev, Galiy T. Zakirianova, Valeriy M. Dianov, Liliy F. Zakirianova

SPATIAL COMPUTER MODELING AND VISUALIZATION OF INTERNAL ORGANS IN MEDICINE

Marat H. Zeleev, PhD (Physical and Mathematical Sciences), assistant professor

E-mail: Zeleevmarat2011@mail.ru
Bashkir State Medical University

Galiy T. Zakirianova, PhD (Physical and Mathematical Sciences), assistant professor

E-mail: galbaby@rambler.ru

Bashkir State Medical University

Valeriy M. Dianov, PhD, Sc. D. (Pharmacology), professor

E-mail: dianov@inbox.ru

Bashkir State Medical University

Liliy F. Zakirianova

E-mail: lizakfar@rambler.ru

Bashkir State Medical University

Currently, four areas of “transparency” of the electromagnetic scale are used for the visualization of internal organs and parts of a human body. These are x-ray radiation, gamma radiation, electromagnetic radiation of a meter range and ultrasound waves. It is known that the biological functions of biological elements are encoded by nature in their electronic structure and any pathological processes. If we learn to absorb all the information about the state of health, then the need for probabilistic diagnostic methods will disappear, since the consequences of the cause-effect relationships will be unequivocal. Molecular modeling is a very complex and voluminous problem, even if only the geometric characteristics of the model of the structure of the molecule are allowed. In this paper, the results of computer simulation and visualization of the interaction of biologically active molecules of some sources such quercetin of the cell membrane, so called phosphatidylcholine, are successfully examined.

Key words: molecular modeling, quercetin molecule, cell membrane, phosphatidylcholine.

REFERENCES

1. Zeleev M.Kh., Galeeva R.I., Usmanova S.I., Kuznetsova M.V., Fakhretdinova D.I., Nasibullin R.S. Kvantovo-khimicheskie issledovaniya vzaimodeistviya gistamina s kletochnym letsitinom // Meditsinskii vestnik Bashkortostana. 2016. Vol. 11. No 5 (65). P. 106–109.

2. Zeleev M.Kh., Cpirikhin L.V., Bairamgulov R.A., Musina G.I., Shaikhutdinova I.A., Nasibullin R.S. Yadernyi effekt overkhauzera

v molekule apigenina // *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*. 2018. No 1-1 (67). P. 9–12.

3. Kosareva D.I., Sharafutdinova R.R., Zeleev M.Kh., Zagitov G.N., Galeeva R.I. O vzaimodeistvii flavonoidov s kletochnymi membranami // *Meditsinskii vestnik Bashkortostana*. 2008. Vol. 3. No 6. P. 45–47.

4. Minkin V.I., Simkin B.Ya., Minyaev R.N. *Teoriya stroeniya molekul*. Rostov-na-Donu: Feniks, 1997. 560 p.

5. Setchenkov M.S., Usmanova S.I., Afanas'eva Yu.G., Nasibullin R.S. Kompleksoobrazovanie nekotorykh biologicheskii aktivnykh molekul s fosfatidilkholinom // *Izvestie vysshikh uchebnykh zavedenii*. 2009. No 4. P. 77–80.

6. Setchenkov M.S., Usmanova S.I., Nusratullin V.M., Nasibullin Yu.D., Nasibullin R.S. YaMR 31R spektroskopicheskie issledovaniya kompleksobrazovaniya rutina s fosfatidilkholinom // *Butlerovskoe nasledie* — 2011. 2011. Vol. 25. No 6. P. 63.

7. Sharafutdinova P.P., Nasibullin R.S., Fakhretdinova E.R. Issledovanie konformatsionnogo sostoyaniya kvartetina pri kompleksobrazovanii s letsitinom // *Khimicheskaya fizika i mezoskopiya*. 2008. Vol. 10. No 4. P. 510–513.

8. Dawson R.M.C. On the mechanism of action of phospholipase A // *Biochem. J*. 1963. Vol. 88. No 3. P. 414–423.

9. Dewar M.J.S., Ford G.P., Rzepa H.S. An MNDO study of the structures, vibrational frequencies, and ionization energies of the first five polyynes // *Chem. Phys. Lett*. 1977. Vol. 50. P. 262–265.

10. Dewar M.J.S. *The molecular orbital theory of organic chemistry*. NY: McGraw-Hill, 1969. 484 p.

11. Setchenkov M.S., Usmanova S.I., Afanaseva J.G., Nasibullin R.S. Complexing of some biologically active molecules with phosphatidylcholine // *Russian physics journal*. 2009. Vol. 52. No 4. P. 417–420.

СОДЕРЖАНИЕ

Раев О.Н.

Десять лет конференции, посвящённой объёмным изображениям 3

Часть I. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ СТЕРЕОКИНО

Рожков С.Н., Рожкова Г.И., Грачёва М.А.

О выборе и корректном употреблении терминов, относящихся к созданию стереофильмов и к особенностям восприятия стереоскопического киноизображения 11

Павлов В.А.

Перспективы стереоскопического кинематографа.
Мысли после посещения мероприятия «Сinema 3D:
The next chapter» 18 сентября 2017 года
на выставке ИВС в Амстердаме 21

Раев О.Н.

Восьмой Международный 3D-стерео кинофестиваль 2017 . . . 25

Часть II. ВОСПРИЯТИЕ ЗРИТЕЛЕМ ОПТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Пронин М.А.

Философия как экспертиза: Виртуальные психологические состояния в технологиях объёмных изображений в кинематографе — к постановке проблемы 43

Искандарян Р.А.

Концептуальное моделирование состояния сознания зрителя и восприятия образов в иммерсивном анимационном кинематографе 51

Васильева Н.Н., Рожкова Г.И., Грачёва М.А.
Неоднозначное восприятие величины и позиции
виртуальных стереообъектов 62

Анциферова А.В., Ватолин Д.С.
Прогнозируемая оценка степени дискомфорта зрителей,
вызываемого геометрическими, цветовыми и временными
искажениями стереоскопического видео,
для 60 снятых стереофильмов 73

Голенко Г.Г.
Сравнение конфигураций шкалируемого и нониусного
бинокулярных зрительных пространств 90

Часть III. ВОСПРИЯТИЕ ЗРИТЕЛЕМ ЗВУКА

Нипков Л., Русинова Е.А.
Пространственный дизайн музыкальных фонограмм 103

Раев О.Н., Сологубов А.Н.
Пороги рассогласования слухового и зрительного образов
в кинофильме 114

Шихатов А.И.
Метод извлечения пространственной информации
для тыловых каналов систем объёмного звучания
из двухканального стереосигнала 126

Часть IV. СТЕРЕОТЕХНОЛОГИИ

Раев О.Н.
Пространственная частотная характеристика матрицы
цифрового киносъёмочного аппарата 137

Мухин С.Н.
Параллакс-мира для оценки качества лентичулярной
стереопечати 157

Мелкумов А.С.
Экранизация театральных постановок
в стереоскопическом формате 167

Войнаровский А.Е., Тихонов С.Г., Хрущёв А.С.
Создание трёхмерных моделей декораций космической
станции по результатам трёхмерного сканирования
и фотограмметрической съёмки для фильма «Салют-7» 180

Смагин М.С.
Перспективный облик голографического телевизора 188

Чекалин Д.Г.
Технологии визуализации дополненной реальности 200

Кондратьев Н. В., Сухов Д.Н., Чекалин Д.Г.
Устройство и способ формирования объёмного
изображения в трёхмерном пространстве
с реальными объектами 213

Дауров И.Г.
Система кинотеатрального зрелища
«Парящий экран 3D-СТЕРЕО» 226

Литвиненко А.С., Поляков А.Ю.
Расчёт карты параллакса при конвертации 2D в 3D 234

Переверзева П.А., Ватолин Д.С., Хатиуллин А.А.
Метод автоматического поиска различий между 2D
и стереоскопическими версиями фильмов 241

Грохольский С.Д., Ватолин Д.С.
Сокращение числа ложноположительных срабатываний
в алгоритме оценки расхождения по резкости между
ракурсами в видео 262

Мухамедов А.М., Ватолин Д.С., Долганов С.В.
Автоматический выбор алгоритма построения карт
диспаратности для стереопар с артефактами съёмки
или конвертации, устойчивого к данным артефактам 276

Кондранин Д.С., Ватолин Д.С.
Разработка метода выделения областей искажения
на кадрах стереоскопического видео, содержащих
геометрические искажения или расхождения по резкости 287

Часть V. ТВОРЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ ОБЪЁМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Степанова Н.Э.
Выбор автором набора композиционных компонентов
для построения объёмных сцен (на примере фильмов
«Мамочка» 2014 год и «Это всего лишь конец света»
2016 год, режиссёр Ксавье Долан) 303

Данилов Д.И. Режиссура объёмных светодекорационных трюковых эффектов в театре, цирке и кино	314
Шабалин В.В. Современные творческие подходы к визуализации экранного пространства	322
Нагаева О.В. Специфика создания сценариев для стереокино	332
Ермакова Е.Ю. Интерактивность третьего измерения в кинематографе как элемент режиссуры	343
Илышев П.В. Некоторые особенности восприятия пространства и создания объёмных изображений в Японии: История и современность	358
Бохоров К.Ю. Антитезы курирования VR-проектов на примере иммерсивной инсталляции «Bjork Digital» на 7-й Московской международной биеннале современного искусства	366
Попова Л.В. Пространство и время в художественном произведении в понимании С.М. Эйзенштейна	378
Гуляева Я.В. Преодолевая аттракцион: освоение драматургического конфликта в фильмах виртуальной реальности	389

**Часть VI. ОБЪЁМНЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ
В ДРУГИХ ОБЛАСТЯХ**

Шульц С.А. К феноменологической теории балета	397
Кувшинов С.В., Харин К.В., Усков Г.Н. Образование средствами искусства в трёхмерной виртуальной реальности	406
Лиховцева А.В. Компьютерная анимация и интерактивная среда — дополнительные возможности городского пространства	418

Трубочкина Н.К. Технология создания фрактальных динамических стереокартин для галерей современного искусства с сенсорным техническим обеспечением	424
Буянов Б.Я., Верба В.А. Нейронные сети в задачах распознавания объектов в реальном масштабе времени	435
Андреев В.П., Кирсанов К.Б., Кувшинов С.В., Харин К.В. Использование систем трёхмерного технического зрения в супервизорном управлении группировкой мобильных роботов по каналам Интернет	442
Карпеня Т.Л., Киселёв Д.С., Поляков А.Ю. Компрессия цифровых голографических изображений	464
Бирючинский С.Б. Оптимизация оптических систем телескопов для дистанционного 3D-зондирования Земли	478
Зелеев М.Х., Закирьянова Г.Т., Дианов В.М., Закирьянова Л.Ф. Пространственное компьютерное моделирование и визуализация внутренних органов в медицине	490

**ЗАПИСЬ И ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ОБЪЁМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ
В КИНЕМАТОГРАФЕ И ДРУГИХ ОБЛАСТЯХ**

X МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

Москва, 16–18 апреля 2018 г.

МАТЕРИАЛЫ И ДОКЛАДЫ

Всероссийский государственный институт кинематографии
имени С.А. Герасимова

129226, Москва, ул. В. Пика, дом 3.

E-mail: ncenter@list.ru

Подписано в печать 30.05.2019 г. Формат 60×90/16. Тираж 500 экз.

Печать цифровая. Усл. печ. листов 31,5. Заказ 078-19.

Отпечатано в типографии ВГИК.