

На правах рукописи

A handwritten signature in blue ink, reading 'Котова' (Kotova), written diagonally within a light blue rectangular stamp.

Котова Екатерина Александровна

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ
ЗРИТЕЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ
ИЛЛЮЗОРНЫХ ИСКАЖЁННЫХ ОБЪЕКТОВ
ТРЕХМЕРНЫХ СЦЕН**

Специальность:

05.13.18 – Математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Рязань – 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Рязанский государственный радиотехнический университет» (ФГБОУ ВПО «РГРТУ», РГРТУ) на кафедре «Вычислительная и прикладная математика».

Научный руководитель: **Пылькин Александр Николаевич**,
доктор технических наук, профессор,
заслуженный работник высшей школы РФ,
заведующий кафедрой
«Вычислительная и прикладная математика»
ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный
радиотехнический университет», г. Рязань.

Официальные оппоненты: **Винокур Алексей Иосифович**,
доктор технических наук, профессор,
директор института
принтмедиа и информационных технологий
ФГБОУ ВПО «Московский государственный
университет печати
имени Ивана Федорова», г. Москва;

Толстая Екатерина Витальевна,
кандидат технических наук,
старший инженер
Московского филиала корпорации
«Алаин Текнолоджи Ресерч
энд Девелопмент, Инк.», г. Москва.

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный
университет имени С.А. Есенина», г. Рязань.

Защита диссертации состоится **3 июня 2015 г. в 12 часов 00 минут** на заседании диссертационного совета Д 212.211.02 в ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет» по адресу: **390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1, ауд. 235.**

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «РГРТУ» и на официальном сайте университета <http://www.rsreu.ru>.

Автореферат разослан «__» _____ 2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент



Д. А. Перепелкин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Моделирование человеческого зрения — актуальная проблема, поскольку преследует такие цели как создание *искусственного глаза*, синтез *реалистичных изображений*, демонстрирующих человеческое зрительное восприятие, и решение широкого круга задач, связанных с *распознаванием* и *интерпретацией образов*. Моделирование человеческого зрения имеет физиологические, психологические и медицинские аспекты.

В данной работе рассматривается вопрос, **каким образом следует преподнести человеку объект**, претерпевший изменения, чтобы в глазах наблюдателя он имел *требуемую форму*. Эта задача частично прорабатывает *физиологические* механизмы зрения и косвенно анализирует *психологические* и *медицинские* факторы, она находится в сфере иллюзорного восприятия, относящейся к *интерпретации образов* среди целей создания моделей человеческого зрения. Искажающийся объект — *анаморфный*. Анализ существующих достижений науки и техники в предметной области показал, что иллюзии-анаморфозы недостаточно изучены с точки зрения *математической формализации*, а данная работа позволяет частично ликвидировать эти пробелы.

Проблема построения интерактивной модели человеческого иллюзорного зрительного восприятия объектов должна решаться с помощью *современных средств информатизации* — это обеспечит автоматизацию обработки и передачу большого потока информации в реальном времени.

Актуальность исследования обусловлена расширением научных познаний в области человеческого зрительного восприятия и природы оптических иллюзий, что может способствовать развитию *компьютерной графики*, *3D-технологий*, *голограмм*, *лазерных проекций*, а также военных и космических разработок, связанных с *камуфляжем* и *иллюзорными объектами*.

Степень разработанности темы исследования. Работа центра перцепционных систем Техасского университета в Остине (США) сосредоточена на изучении механизма фокусировки. Разработан самообучающийся статистический алгоритм, вычисляющий *степень расфокусировки* фрагмента размытого изображения, который предполагается применить для создания новых систем автоматической фокусировки.

Проблеме цветового восприятия посвящены труды С. М. Карпенко, Д. П. Николаева, П. П. Николаева и Марка Д. Фершильда. *Монография* последнего «Модели цветового восприятия» — фундаментальный труд, дающий детальное *описание развития науки о цвете* за период с 1998 года по настоящее время. Отечественные учёные занимаются разработкой *схем искусственного зрительного интеллекта*, опираясь на линейную теорию формирования спектрального стимула. Известен *алгоритм цветовой константности*, применяемый после разбиения изображения на сегменты, соответствующие однородно окрашенным объектам сцены.

Учёные из Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН в Москве, а также В. М. Треушникова и В. И. Чередника изучают проблему синтеза реалистичных изображений. Двое последних разработали *компьютерную модель* оптической системы человеческого глаза, создающую *изображение на сетчатке*, мало отличающееся от реального. Это может повысить эффективность конструкций искусственных хрусталиков. Московские учёные, проводящие исследования в области *сжатия динамического диапазона яркостей*, разработали *программный комплекс*, позволяющий работать с источниками света, рассчитывать глобальную

освещённость, генерировать изображения и панорамы. Данная разработка может найти применение при конструировании виртуальной реальности.

Существенный вклад в создание искусственного глаза внесли А. И. Беляков, С. О. Галецкий, А. В. Кудряшов, Д. Роджерс, Т. Ю. Черезова и Юнган Хуан. Отечественные учёные предложили *модель искусственного глаза*, которая может быть полезна для создания глазных имплантатов. Она основана на *гибком биморфном зеркале* и позволяет динамически воспроизводить *абберации* (погрешности изображения оптической системы, вызываемые отклонением лучей). Американские учёные разрабатывают *компактную камеру на основе конструкции человеческого глаза*, которая найдет широкое применение в робототехнике, бытовой аппаратуре и в качестве имплантата в медицине.

Труды Г. А. Голицына посвящены проблеме исследований зрительных иллюзий. Он рассматривает всего два вида оптических иллюзий (*интенсивности* и *положения*) и предлагает математический *метод моделирования восприятия субъекта*.

Учёные Юго-Восточного университета в Нанкине и Университета Ланчжоу из КНР, группа американских учёных из университета Техаса и сотрудники немецкого автоконцерна *Mercedes-Benz* в последние годы уделяли внимание проблеме создания маскировочного эффекта. Для достижения невидимости поверхностей китайцы и американцы применяют *метаматериалы*, а учёные из США усиливают нужный эффект *активно*, за счёт использования энергии *батареек*. Немецкие исследователи закрепляют на автомобиле гибкие *светодиодные панели* и *камеру* с широкоугольным объективом. Во всех этих разработках достичь абсолютного эффекта невидимости не удалось.

Таким образом, на сегодняшний день недостаточно внимания уделялось проблеме формализации иллюзорного восприятия, и в частности исследованию объектов, *форма* которых воспринимается не такой, какая она в действительности.

Объект исследований — моделирование человеческого зрительного восприятия объектов.

Предмет исследований — моделирование оптико-геометрического иллюзорного восприятия пространственных объектов.

Целью работы является разработка математической модели и её компьютерной реализации для вычисления координат точек *поверхности*, которая воспринимается наблюдателем *идентичной* другой заданной поверхности, в то время как искомая поверхность является *смещённой* и *анаморфной (искажённой)* относительно заданной поверхности.

Задачи исследования:

- 1) произвести анализ проблем и задач реализации технического зрения, в частности связанных с оптическими иллюзиями;
- 2) сформулировать математический подход, описывающий человеческое зрительное восприятие анаморфного предмета, воспринимаемого наблюдателем неискажённым и находящимся на более далёком расстоянии;
- 3) определить, описать и решить ряд прикладных задач аналитической геометрии для построения искажённого объекта;
- 4) создать компьютерную модель, позволяющую работать с различными параметрами человеческих зрительных анализаторов, задавать, редактировать и отслеживать исходные и искажённые поверхности;
- 5) разработать методику проведения экспериментов в условиях сформулированного математического подхода с помощью полученной компьютерной

модели, выявить критерий оценки и выбрать объекты для тестирования;

б) провести эксперименты и установить по их результатам причины искажения поверхностей; определить конкретные факторы, влияющие на изменение формы поверхности и степень их влияния в различных условиях.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем.

1. Изложен подход, описывающий преобразование параллельного переноса над объектом в бицентрическом монофокусном полупространстве (БМП), что является **формализацией разновидности аноморфоз**, оптических иллюзий, преподносящих искажённые объекты, которые при определённых условиях воспринимаются не искривлёнными. До этого аноморфные объекты создавались без математических расчётов, *фиксированной* формы, а различия в зрительных анализаторах наблюдателей не учитывались.

2. Выдвинута гипотеза о распределении областей зрительных приоритетов, разделяющая пространство на ареалы, каждый из которых находится *под контролем зрительного центра*, ярче выявляющего различия в этой области.

3. Разработана математическая модель и её компьютерная реализация, решающая **задачу, каким образом следует преподнести наблюдателю объект**, изменив его, чтобы в глазах человека он имел некоторую *требуемую форму*. Данная модель способствует применению подхода бицентрического монофокусного полупространства (БМП-подхода) в камуфляжных целях. Получаемая поверхность может иметь *разную* форму и площадь, в отличие от существующих примеров плащей и автомобиля, предложенных китайскими, американскими и немецкими учёными, которые используют различные технологии в сфере достижения эффекта невидимости. По сравнению с данными изобретениями создание аноморфных поверхностей не предполагает использование метаматериалов и светодиодов. Для воссоздания деформирующейся поверхности подойдут технологии для проецирования трёхмерных изображений объектов в атмосфере без использования твёрдых поверхностей, такие как *лазерное излучение*.

4. Разработан алгоритм «CentripetaSpiculas», решающий **прикладную задачу построения сетчатых поверхностей** в условиях их нефункционального поточечного представления.

Теоретическая значимость исследования. Сформулированные положения *БМП-подхода* и *гипотеза* о распределении областей зрительных приоритетов (*LOR-областей*) для построения аноморфных объектов, кажущихся человеку не искривлёнными и находящимися на более далёком от него расстоянии, расширяют научные познания в области иллюзорного восприятия пространственных объектов.

Предложенный алгоритм «CentripetaSpiculas» обеспечивает автоматическое заполнение незаданных координат точек сетчатых поверхностей в условиях их нефункционального поточечного представления.

Практическая значимость работы состоит в том, что разработанная на основе БМП-подхода и гипотезы о распределении *LOR-областей* программа для ЭВМ Glance [14] обеспечивает *наглядность* искривления поверхности в процессе параллельного переноса в БМП и позволяет экспериментально определить *факторы*, провоцирующие это явление, и *степень их влияния*.

Практическая ценность работы подтверждается актами внедрения в ОКБ «Спектр» (филиал ФГУП ГНПРКЦ ЦСКБ «Прогресс») и в учебный процесс РГРТУ метода распределения LOR-областей, алгоритма «CentripetaSpiculas» и компьютерной модели параллельного переноса объектов в БМП, на которую по-

лучено свидетельство РФ о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Методология и методы исследования. Для выявления *причин искривления поверхности* в процессе параллельного переноса в БМП сформулирован оценочный критерий и разработана методика проведения эксперимента с разделением опытов на 4 категории серий в зависимости от параметров БМП, влияющих на оценочный критерий.

При разработке *БМП-подхода* и *гипотезы о распределении LOR-областей* используются методы идеализации и формализации.

Для исследований применяются следующие методы: метод наблюдения в *опыте с двумя карандашами* разной длины, которые кажутся человеку идентичными при определённых условиях; эксперимент как метод при проведении серий опытов в 4 категориях с целью выявления *факторов*, влияющих на *кривизну поверхности*; метод сравнения при сопоставлении *преобразования параллельного переноса над точкой* в БМП на базе *математической и компьютерной модели*; метод моделирования при исследовании свойств БМП на базе *математической и компьютерной модели*; метод абстрагирования при разработке *БМП-подхода* и *гипотезы о распределении LOR-областей* и метод индукции при выявлении *функциональных зависимостей* оценочного критерия от показателя зрительного центра, межцентрового расстояния, длины радиус-вектора смещённого фокуса и распределения *LOR-областей*.

Для разработки *экспериментальной системы* выбрана графическая библиотека *OpenGL*, язык *C#* и среда разработки *Microsoft Visual Studio.NET*.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Математическая модель и её интерактивная компьютерная реализация *человеческого зрительного восприятия* на основе *БМП-подхода*, имеющего ряд положений, описывающих субъективное представление трёхмерного пространства человеческим сознанием.

2. Гипотеза о распределении точек БМП по трём *LOR-областям*, что усугубляет в процессе обозрения доминирующие зрительные центры.

3. Аналитическая модель *преобразования параллельного переноса* объекта в БМП вдоль радиус-вектора фокуса в направлении начала координат на расстояние, равное расстоянию между точками исходного и смещённого фокусов, позволяющая воспринимать исходный и искажённый объекты одинаковыми для наблюдателя по форме и размерам.

4. Алгоритм «*CentripetaSpiculas*», позволяющий автоматически заполнять заданные координаты точек сетчатых поверхностей из прямоугольных сегментов в условиях нефункционального поточечного представления исходных данных поверхностей.

Степень обоснованности и достоверности результатов исследований.

Корректность разработанной математической модели параллельного переноса объектов в БМП подтверждается *аналитически* при решении прикладных задач аналитической геометрии на плоскости и в пространстве. Адекватность предложенного способа распределения LOR-областей проверяется *экспериментально* сериями опытов, разделённых на 4 категории, проводимых с использованием компьютерной модели, в результате чего было установлено совпадение явлений в практике с построенными теоретическими положениями. Достоверность результатов научной работы также подтверждается наличием и объёмом *исходного материала* и *апробацией* результатов исследований на практике.

Реализация и внедрение результатов исследований. Основные ре-

зультаты диссертации были получены и использованы в рамках Государственного контракта № 14.740.11.1149 «Математическая и компьютерная модель человеческого зрительного восприятия объектов» (шифр «2011-1.3.2-113-002») от 09 июня 2011 г. по направлению «Проведение научных исследований целевыми аспирантами в следующей области: - информатика» в рамках мероприятия 1.3.2 «Проведение научных исследований целевыми аспирантами», мероприятия 1.3 «Проведение научных исследований молодыми учеными - кандидатами наук и целевыми аспирантами в научно-образовательных центрах», направление 1 «Стимулирование закрепления молодежи в сфере науки, образования и высоких технологий» федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

Теоретические положения, методики расчета и результаты исследований диссертации использованы в НИР 32-11 (ГК № 14.740.11.1149 от 09 июля 2011 г.) «Математическая и компьютерная модель человеческого зрительного восприятия объектов» в соответствии с долгосрочной целевой программой «Совершенствование предоставления муниципальных услуг в городе Рязани на 2010-2012 годы», утвержденной постановлением администрации города Рязани от 22.06.2010 № 2602 на кафедре «Вычислительная и прикладная математика» с 9 июля 2011 г. по 26 ноября 2011 г.

Разработанные методики *распределения LOR-областей* и *моделирования преобразований параллельного переноса* над объектами в БМП использованы в ОКБ «Спектр» (филиал ФГУП ГНПРКЦ ЦСКБ «Прогресс») при разработке функциональной программы для системы информационного обеспечения руководителя запуска в части представления информации на активном участке траектории полёта ракеты-носителя для запуска с космодрома «Восточный», что подтверждено актом внедрения.

Результаты работы используются в учебном процессе по направлениям 231000 «Программная инженерия» и 230700 «Прикладная информатика». Разработанный метод *распределения LOR-областей*, алгоритм «*CentripetaSpiculus*» для построения сетчатых каркасных поверхностей и компьютерная модель *преобразования параллельного переноса* над объектами в БМП использованы в дисциплинах «Конструирование программного обеспечения», «Мультимедиа-технологии», «Компьютерное моделирование» при решении задач синтеза реалистичных изображений, что подтверждено актом внедрения.

Апробация. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на Международном молодежном научном форуме-олимпиаде по приоритетным направлениям развития Российской Федерации (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, 2010 г.) [13], 15-ой Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых учёных и специалистов «Новые информационные технологии в научных исследованиях и образовании (НИТ-2010)» (РГРТУ, г. Рязань, 2010 г.) [12], Научно-технической международной молодёжной конференции «Системы, методы, техника и технологии обработки медиаконтента» (МГУП им. Ивана Фёдорова, г. Москва, 2011 г.) [10], 16-ой Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых учёных и специалистов «Новые информационные технологии в научных исследованиях (НИТ-2011)» (РГРТУ, г. Рязань, 2011 г.) [9], Всероссийском смотре-конкурсе научно-технического творчества «ЭВРИКА-2012» (ЮРГПУ (НПИ), г. Новочеркасск, 2012 г.) [6], Международной научно-практической конференции «Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн» (ТГТУ, г. Тамбов, 2014 г.) [5].

Публикации. Основные результаты диссертации отражены в **13 публикациях** [1–13], в том числе в **3** статьях в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных **ВАК** [1–3]. Материалы докладов получили одобрение на **6** международных и всероссийских научных **конференциях**. Получено **1** **свидетельство** РФ о государственной регистрации программы для ЭВМ [14].

Личный вклад автора. Все научные результаты и выводы, представленные в диссертации, принадлежат **лично автору**. Автором предложена **парадигма БМП-подхода** и **гипотезы** о распределении **LOR**-областей, представлен **алгоритм** для **автозаполнения** незаданных координат точек сетчатых поверхностей, разработана **математическая и компьютерная модель** **человеческого зрительного восприятия**, сформулирована **методика проведения экспериментов** с использованием компьютерной модели. Подготовка к публикации результатов исследований проводилась совместно с соавторами, вклад диссертанта был определяющим.

Соответствие паспорту специальности. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 05.13.18 — «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»: п. 1 «Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений»; п. 5 «Комплексные исследования научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента»; п. 8 «Разработка систем компьютерного и имитационного моделирования».

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из **введения**, **4 глав**, **заключения**, **списка сокращений** и **условных обозначений**, **списка терминов**, **списка литературы** и **приложений**. Она изложена на **462 страницах** машинописного текста (из них **215** — в **основной части** и **247** — в **приложениях**), включает **150 рисунков** (из них **68** — в **основной части** и **82** — в **приложениях**), **92 таблицы** (из них **11** — в **основной части** и **81** — в **приложениях**), **10 приложений** и содержит список литературы из **82 наименований** на **9 страницах**, среди которых **74 отечественных** и **8 иностранных источников**.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована **актуальность** диссертационной работы; раскрыта **степень разработанности** темы; выбраны **объект** и **предмет** исследований; сформулированы **цели** и **задачи**; показана **научная новизна**; определена **теоретическая** и **практическая значимость**; изложена **методология** и **методы** исследования; представлены **основные положения**, выносимые на защиту; обозначены **степень достоверности** и **внедрение** результатов; приводятся сведения об **апробации**; перечислены **публикации** и **личный вклад** автора; расписана **структура** и **объем** работы; даётся краткое содержание разделов диссертации.

В **первой главе** рассматриваются аспекты моделирования человеческого зрения: физиологические, психологические и медицинские, которые важны для различных **целей** разработки **модели человеческого зрения** (создание **искусственного глаза**; получение **компьютерного изображения**, близкого к человеческому восприятию; **распознавание** и **интерпретация образов**). Вопросы **иллюзорного восприятия** (как часть задачи распознавания и интерпретации) определяются в виде решения **проблемы**: **каким образом** предпосредности наблюдателю объект, изменив его, чтобы в глазах человека он имел требуемую форму.

В первой главе проведён **обзор** передовых **достижений науки** и **техники** по интересующей теме в разных отраслях.

В качестве области научных исследований выбрана сфера проблем *иллюзорного восприятия*. Наиболее распространённым (и в то же время мало изученным) видом зрительных иллюзий определены *анаморфозы* (искажённые изображения предметов, выполненные так, чтобы при рассматривании их с определенного ракурса или с помощью известного оптического приспособления они казались бы не искривлёнными).

Объект, изображение которого воспроизводится на более близком расстоянии, в действительности должен измениться, чтобы наблюдатель воспринимал его в прежних пропорциях и находящимся дальше. *Получение искажённой поверхности* этого объекта является целью исследований.

Во второй главе сформулированы положения подхода по определению *анаморфной (искажённой) поверхности* и выдвинута гипотеза о *распределении областей пространства* между зрительными центрами, ярче выявляющими в них различия.

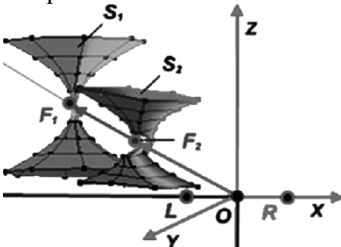


Рисунок 1 — Изображение исходной и смещённой (S_1 и S_2) поверхностей

и том же месте и удалён от него на одно и то же расстояние. Но по отношению к эталону (S_1), второй объект (S_2) является *анаморфным (искажённым)*. Образец S_1 и все возможные соответствующие ему искажённые объекты (S_2) должны находиться на одной прямой (OF_1), относительно которой первый предмет S_1 — *исходный*, второй S_2 — *смещённый*. Оба объекта можно считать одним *деформирующимся* предметом S , который перемещается вдоль прямой OF_1 .

С субъектом (наблюдателем) связывается *система отсчёта*, вводится *прямоугольная система координат XYZ* с началом отсчёта O , расположенным между глаз (L и R) наблюдателя.

Если объект не находится в фокусе, то человек видит его размытым или не различает деталей. Для достижения достоверной иллюзии необходимо учитывать положение *точки фокуса*. Субъект следит за аноморфным объектом S_2 , фокусируя свой взгляд в некоторой точке F_2 . Поскольку предмет S_2 — смещённый, точка фокуса F_2 — также *смещённая*, с ней связывается положение искажённого объекта S_2 . Смотря в *точку исходного фокуса* F_1 , человек видит исходный объект S_1 точно таким же, как смещённый S_2 . Именно через эти две точки фокуса (F_1 и F_2) и начало координат O проходит прямая OF_1 , вдоль которой перемещается деформирующийся объект S . Если для исходного S_1 и смещённого S_2 объектов построить радиус-вектора $OF_1 \in OF_1$ и $OF_2 \in OF_1$, то это будут радиус-вектора исходного (OF_1) и смещённого фокуса (OF_2).

Ниже приведены основные из 33 положений подхода к определению *формы поверхности деформирующегося объекта*, который искажается при пе-

Предметом исследований является *иллюзия идентичности двух объектов*, находящихся на разном расстоянии относительно наблюдателя (рисунок 1). Один объект (S_1), *образец (эталон)*, более отдалён от человека, чем второй (S_2), и превышает его по размерам. Образец S_1 может не существовать или не находиться там, где предполагается, но известна его координаты и внешний вид, то есть определена его *поверхность*.

Человек воспринимает оба предмета (S_1 и S_2) полностью идентичными, когда ему кажется, что это *один и тот же объект*, находящийся в одном

и том же месте и удалён от него на одно и то же расстояние. Но по отношению к эталону (S_1), второй объект (S_2) является *анаморфным (искажённым)*. Образец S_1 и все возможные соответствующие ему искажённые объекты (S_2) должны находиться на одной прямой (OF_1), относительно которой первый предмет S_1 — *исходный*, второй S_2 — *смещённый*. Оба объекта можно считать одним *деформирующимся* предметом S , который перемещается вдоль прямой OF_1 .

С субъектом (наблюдателем) связывается *система отсчёта*, вводится *прямоугольная система координат XYZ* с началом отсчёта O , расположенным между глаз (L и R) наблюдателя.

Если объект не находится в фокусе, то человек видит его размытым или не различает деталей. Для достижения достоверной иллюзии необходимо учитывать положение *точки фокуса*. Субъект следит за аноморфным объектом S_2 , фокусируя свой взгляд в некоторой точке F_2 . Поскольку предмет S_2 — смещённый, точка фокуса F_2 — также *смещённая*, с ней связывается положение искажённого объекта S_2 . Смотря в *точку исходного фокуса* F_1 , человек видит исходный объект S_1 точно таким же, как смещённый S_2 . Именно через эти две точки фокуса (F_1 и F_2) и начало координат O проходит прямая OF_1 , вдоль которой перемещается деформирующийся объект S . Если для исходного S_1 и смещённого S_2 объектов построить радиус-вектора $OF_1 \in OF_1$ и $OF_2 \in OF_1$, то это будут радиус-вектора исходного (OF_1) и смещённого фокуса (OF_2).

Ниже приведены основные из 33 положений подхода к определению *формы поверхности деформирующегося объекта*, который искажается при пе-

ремещении вдоль радиус-вектора фокуса в направлении начала координат.

Положение 1. Бицентрическое монофокусное полупространство (БМП) есть субъективная модель представления традиционного трёхмерного пространства человеческим сознанием.

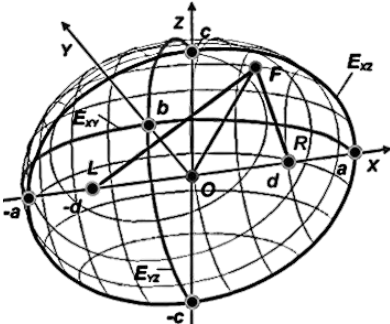


Рисунок 2 — Изображение зрительного полуэллипсоида

они образуют *концентрические полуэллипсоиды вращения* с полуосями a , $b = c$ на осях OX , OY , OZ .

Положение 13. В БМП вводятся *переопределения терминов* аналитической геометрии для *концентрических зрительных полуэллипсоидов* (таблица 1).

Таблица 1 — Переопределения терминов в БМП

Термин геометрии	Термин в БМП	Пример на рисунке 2
фокус	центр, зрительный центр	точки L и R
точка поверхности эллипсоида	фокус	точка F
фокусное расстояние	межцентровое расстояние	длина отрезка $LR = 2d$
центр	начало координат	точка O
фокальный радиус	центрофокусный отрезок	отрезки LF и RF
полуось	полуось, радиус	$a \in OX, b \in OY, c \in OZ$

Положение 27. Смещённый объект S_2 должен полностью загораживать исходный S_1 , поэтому необходимо закрывать каждую область исходной поверхности S_1 соответствующей областью смещённой в первую очередь от того глаза, который ярче выявляет в ней различия. Так выделяются три области точек пространства — *области зрительных приоритетов*, или *LOR-области*. За равноправный обзор обоими зрительными центрами L и R отвечает начало координат O , поэтому оно считается третьим, *средним зрительным центром*.

Исходная точка и соответствующая ей смещённая точка относятся к области зрительного приоритета одного и того же центра.

Положение 30. Преобразование *параллельного переноса* над точкой в БМП выполняется следующим образом. Примером служит точка T_3^1 на рисунке 3.

1. Находится центр, влияющий на данную точку: для T_3^1 — это центр O .
2. Для точки строится центровая прямая (T_3^1O).
3. Определяется точка (M_3^1) пересечения центровой прямой (T_3^1O) и полуэллипсоида исходного фокуса.
4. От этой точки (M_3^1) до исходной (T_3^1) откладывается вектор ($M_3^1T_3^1$).
5. Этот вектор ($M_3^1T_3^1$) переносится вдоль центровой прямой (T_3^1O) так,

Положение 2. Интерпретацией глаз в БМП выступают *зрительные центры*: левый глаз — точка *левого центра* L , правый — точка *правого центра* R (рисунок 2), поэтому данное полупространство — *бицентрическое*.

Положение 3. Если считать кривые-контуры глазниц человека лежащими в одной плоскости XOZ , то наблюдатель видит только *полупространство*, часть пространства, лежащую перед глазами до XOZ .

Положение 12. Поскольку центры L и R всегда сфокусированы в одной точке F (поэтому полупространство — *монофокусное*), они образуют *концентрические полуэллипсоиды вращения* с полуосями a , $b = c$ на осях OX , OY , OZ .

чтобы его начало лежало на поверхности полуэллипсоида смещённого фокуса: новое положение вектора — $M_3^{II}T_3^{II} = M_3^I T_3^I$, $M_3^{II} \in E_{XY2}$.

6. Смещённая точка (T_3^{II}) — в конце перемещённого вектора ($M_3^{II}T_3^{II}$).

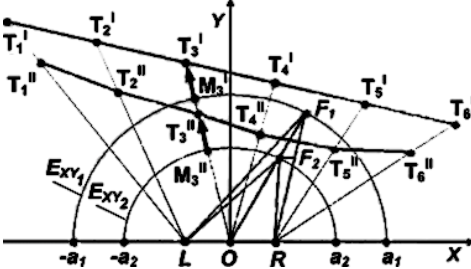


Рисунок 3 — Схема

параллельного переноса в БМП

таких ареалов, на основе чего оформлены 8 положений гипотезы о распределении LOR-областей.

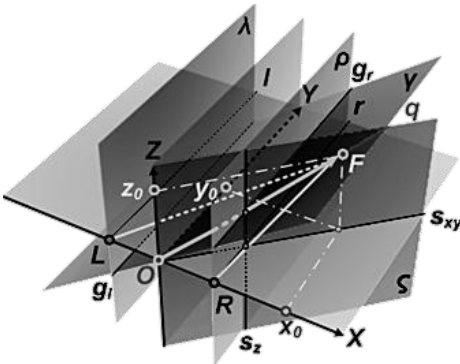


Рисунок 4 — Изображение радиус-вектора OF фокуса F

Положение 33. Преобразование параллельного переноса выполнено над исходной поверхностью тогда, и только тогда, когда такое преобразование выполнено над каждой из множества её точек.

Распределение областей зрительных приоритетов зависит от направления радиус-вектора OF фокуса F — от величин его углов α , β и γ наклона к осям OX, OY, OZ. Выдвинут ряд предположений о выявлении

Положение 1. Распределение LOR-областей одинаково для всех положений точки фокуса F в пределах одной прямой OF, проходящей через начало координат O и содержащей радиус-вектор фокуса OF (рисунок 4).

Положение 2. Каждой точке T в БМП сопоставляется зрительный центр $A(k; 0; 0)$, $k \in \{d; -d; 0\}$, $2d$ — межцентровое расстояние. A соответствует среднему центру $O(0; 0; 0)$, правому $R(d; 0; 0)$ или левому $L(-d; 0; 0)$. Центр A имеет приоритет во влиянии на точку T.

Положение 3. Через ось OZ перпендикулярно плоскости XOY проходит

вертикальная плоскость вращения ζ (уравнение: $x - y \cdot x_0 / y_0 = 0$), содержащая радиус-вектор OF фокуса F (рисунок 4). Точка T $\in \zeta$ относится к среднему центру O. Если T локализуется правее ζ , то она находится под контролем правого центра R. Левый центр L влияет на точку T, когда она расположена левее ζ .

Положение 4. Через ось OY проходит горизонтальная плоскость вращения γ ($OY \in \gamma$, уравнение: $x - z \cdot x_0 / z_0 = 0$), такая, что $\zeta \perp XOY$ и радиус-вектор фокуса OF $\in \gamma$ (рисунок 4). Точка T $\in \gamma$ относится к среднему центру O. Если T правее γ , то эту точку контролирует R. Левый центр L влияет на точку T, когда она расположена левее γ .

Положение 5. Когда точка фокуса F $\in YOZ$, плоскости ζ и γ не видны, так как $\zeta = \gamma = YOZ$, уравнение этих плоскостей: $x = 0$.

Положение 6. БМП полностью под контролем среднего центра O, когда объекты невозможно полноценно различать — тогда точка фокуса F $\in OX$.

Положение 7. Через центры $L(-d; 0; 0)$ и $R(d; 0; 0)$ проходят зрительные

плоскости λ (уравнение: $x = -d$) и ρ (уравнение: $x = d$) соответственно, $\lambda \parallel \rho \parallel YOZ$ (рисунок 4). Ареал между плоскостями λ и ρ ($|x| \leq d$), всегда находится под влиянием среднего центра O .

Положение 8. Если на LOR -область B одновременно претендуют несколько различных зрительных центров из множества $\{L; O; R\}$, то эта область находится под влиянием центра O .

Третья глава посвящена разработке компьютерной модели для визуализации парадигмы БМП-подхода и гипотезы о распределении LOR -областей.

Подготовлена цветовая схема для различения графических объектов экспериментальной системы. Введены условные обозначения для лаконичного отображения элементов интерфейса, связанных с параметрами БМП.

Исследуемые поверхности строятся по контрольным точкам, при соединении которых образуются прямоугольные сегменты, в результате чего получаются сетчатые поверхности (рисунок 1). Для автоматического заполнения заданных координат точек таких поверхностей в условиях нефункционального поточечного представления исходных данных разработан алгоритм «CentripetaSpiculas» (рисунок 5). Цифры в кружках определяют порядок номеров направлений заполнения, заданных соответствующими стрелками. Сначала заполняется периметр: крайние строки и столбцы (1–4 на рисунке 5). Стрелки, выходящие из углов, образуют подобия колосков, стремящихся к центру прямоугольника. Для увеличения быстродействия строки и столбцы сетчатой поверхности заполняются в разных подпрограммах (*FillRow* и *FillColumn*), имеющих практически одинаковый алгоритм и предназначенных для вычисления заданного вида компонент координат. Схема алгоритма *FillRow* приведена на рисунке 6. Алгоритм *FillColumn* аналогичен.

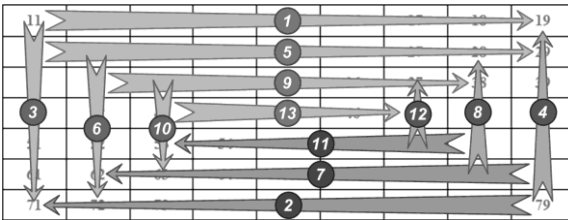


Рисунок 5 — Последовательность заполнения координат точек поверхности

Контрольные точки, по которым строятся поверхности, представляются визуально и численно в таблицах координат, окрашиваются в цвета своих LOR -областей, что отражается в специальной таблице.

Область вывода графики ограничена — подписи

на осях и маркирования точек трёхмерного пространства исключены. БМП — полупространство, где отсутствует отрицательная полуось OY , а зрительные центры (если они не совпадают) принадлежат только оси OX . Поэтому для различения осей положительные и отрицательные полуоси окрашиваются в разные цвета.

В эксперименте участвуют три зрительных полуэллипсоида: предельный, исходного фокуса и смещённого фокуса. Они отображаются в качестве каркасных моделей и строятся либо по значениям радиусов, либо по координатам зрительных центров и точки фокуса (рисунок 2).

Реализация программной модели включает 4 класса прикладных задач аналитической геометрии на плоскости и в пространстве: 1) вычисление каркасной линии зрительного полуэллипсоида; 2) расчёт параметров фокусного полуэллипсоида; 3) нахождение LOR -области точки БМП; 4) параллельный перенос точки в БМП. Последняя задача является наиболее важной.

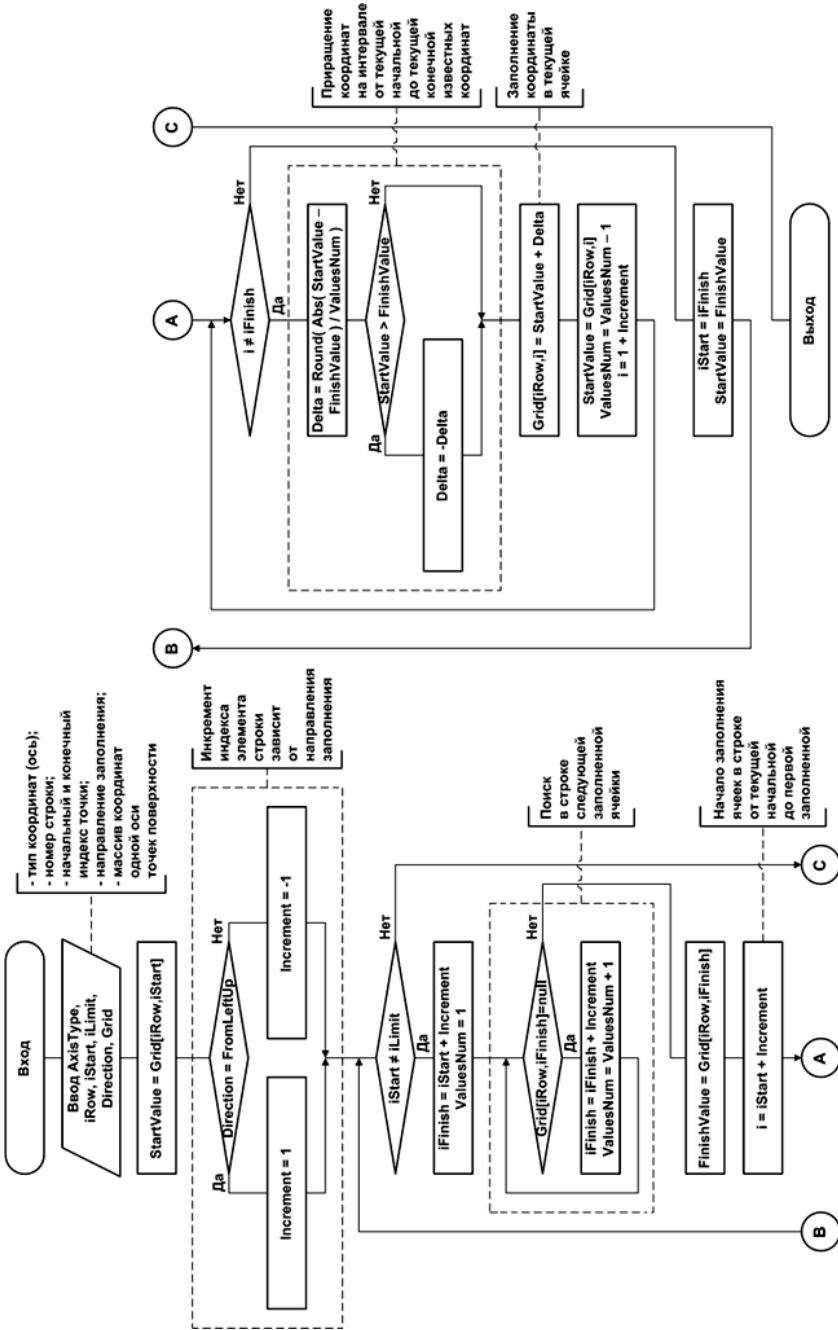


Рисунок 6 — Схема алгоритма заполнения строки координат одной оси точек поверхности

Для разработки библиотеки классов выбрана графическая библиотека *OpenGL*, язык *C#* и среда разработки *Microsoft Visual Studio.NET*. БМП-подход и гипотезы о распределении LOR-областей реализованы в программе для ЭВМ *Glance* [14], выполненной в рамках государственного контракта «Математическая и компьютерная модель человеческого зрительного восприятия объектов» № 14.740.11.1149 от 09.06.2011 г.

В четвёртой главе с помощью программы для ЭВМ *Glance* выясняются факторы, влияющие на кривизну деформирующейся поверхности.

В качестве испытуемой выбрана плоская поверхность, ограниченная плоской симметричной фигурой (тогда искажения наиболее показательны): упрощённая октаграмма с зеркально поворотной осевой симметрией 8-го порядка.

Точки исходной поверхности задаются пользователем в виде таблицы. Остальные исходные данные вводятся в поля на форме: $2d$ — межцентровое расстояние; $a_1, b_1 = c_1$ — радиусы исходного полуэллипсоида по осям OX, OY, OZ ; $a_2, b_2 = c_2$ — радиусы смещённого полуэллипсоида по осям координат; $F^I(x_f^I, y_f^I, z_f^I)$ и $F^{II}(x_f^{II}, y_f^{II}, z_f^{II})$ — исходный и смещённый фокус; R_f^I и R_f^{II} — длины радиус-векторов исходного и смещённого фокуса; α, β, γ — углы между радиус-вектором фокуса и осями OX, OY, OZ .

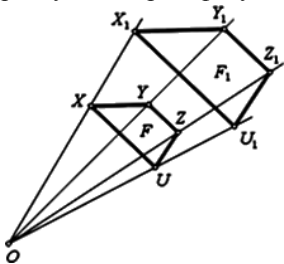


Рисунок 7 — Схема выполнения преобразования гомотетии

Преобразование параллельного переноса над точкой в БМП напоминает преобразование гомотетии. Гомотетией с центром O и коэффициентом $k \neq 0$ (рисунок 7) называется преобразование подобия, когда каждой точке X ставится в соответствие точка X_1 , такая, что выполняется равенство $\mathbf{OX}_1 = k \cdot \mathbf{OX}$.

Несмотря на ряд существенных различий между преобразованиями гомотетии и параллельного переноса в БМП, их сравнение обосновано, так как они оба описывают принцип построения подобных фигур с опорой на заданный в пространстве центр (центры). Гомотетия реализует это в евклидовом пространстве, а БМП-подход — в рамках субъективной модели представления этого пространства человеческим сознанием.

Для построения фигуры, гомотетичной исходной, в качестве коэффициента подобия k выбирается частное длин R_f^{II} и R_f^I радиус-векторов смещённого и исходного фокуса: $k = R_f^{II} / R_f^I$, где $k \in (0; 1]$, $R_f^I \in (0; \infty)$, $R_f^{II} \in (0; R_f^I]$. Тогда для построения любой точки поверхности, гомотетичной начальной, используется выражение: $R_T^{III} = k \cdot R_T^I$, где R_T^I и R_T^{III} — длины радиус-векторов от начала координат O до взаимосвязанных точек исходной и соответствующей ей гомотетичной поверхности. Из рассмотренных выражений получается критерий оценки результатов эксперимента (оценочный критерий) λ :

$$\lambda = R_T^{III} / R_T^{II} = k \cdot R_T^I / R_T^{II} = R_f^I / R_f^{II} \cdot R_T^I / R_T^{II}, \quad \lambda \in (0; +\infty), \quad (1)$$

где $k \in (0; 1]$ — коэффициент подобия; R_f^I и R_f^{II} — длины радиус-векторов исходного и смещённого фокуса; $R_T^I, R_T^{II}, R_T^{III}$ — длины радиус-векторов от точки O до точек поверхностей: исходной, смещённой и гомотетичной (которая соответствует исходной).

Смысл оценочного критерия λ заключается в численном выражении степени искривления результирующей поверхности относительно гомотетичной.

Результаты более показательны, когда тесты разделены на группы, в каж-

дой из которых изменяется по возможности только один из параметров модели.

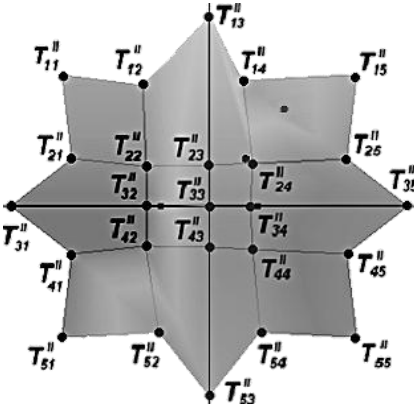


Рисунок 8 — Изображение смещённой поверхности

косинус угла δ наклона к оси OX проекции GT''_{xy} на плоскость XOY центрального отрезка GT'' между точкой зрительного центра G и точкой T'' смещённой поверхности. Расстояние от точки T'' результирующей поверхности до соответствующего зрительного центра G связывается с $\cos \delta$ при помощи величины ρ — показателя зрительного центра:

$$\rho = \cos \delta \cdot |\mathbf{GT}''| = GT''_x \cdot \sqrt{(GT''_x)^2 + (y_T'')^2 + (z_T'')^2} / \sqrt{(GT''_x)^2 + (y_T'')^2}, \quad (2)$$

где $G \in \{L; O; R\}$ — точка зрительного центра (левого, среднего или правого); $2d$ — межцентровое расстояние; x_G — проекция G на OX : $x_G = -d$ при $G = L$, $x_G = d$ при $G = R$, $x_G = 0$ при $G = O$; $T''(x_T'', y_T'', z_T'')$ — точка смещённой поверхности под влиянием центра G , должно выполняться хотя бы одно из условий: $x_T'' \neq x_G$ или $y_T'' \neq 0$; GT'' — центральный отрезок между точками G и T'' ; \mathbf{GT}'' — вектор от точки центра G до точки T'' смещённой поверхности; GT''_{xy} и $GT''_x = x_T'' - x_G$ — проекции отрезка GT'' на плоскость XOY и ось OX ; δ — угол наклона GT''_{xy} к оси абсцисс.

Суть показателя зрительного центра ρ заключается в том, что, во-первых, его знак даёт информацию о месторасположении точки поверхности T'' относительно плоскости, проходящей через соответствующий зрительный центр G параллельно YOZ , а, во-вторых, ρ позволяет судить о величине расстояния GT'' от точки поверхности T'' до соответствующего зрительного центра G . Таким образом, ρ — индикатор положения точки относительно её центра.

По завершению опытов установлено, что зависимость $\lambda(\rho)$ можно назвать функциональной, близкой к идеальной функции Ψ_{II} :

$$\Psi_{II} = \lambda(\rho) = 1 / (n \cdot |\rho| + 1), \quad \rho \neq 0, \quad (3)$$

где λ — оценочный критерий; ρ — показатель зрительного центра; n — коэффициент сжатия по оси ρ .

Тесты категории 2: выявление зависимости оценочного критерия от межцентрового расстояния. Эти эксперименты основаны на изменении межцентрового расстояния $2d$ с сохранением длин R_f^I и R_f^{II} радиус-векторов исходного и смещённого фокуса. По итогам эксперимента выяснилось, что одному значению $2d$ соответствует единственное значение λ , то есть зависимость $\lambda(2d)$ — функциональная.

Тесты категории 1: выявление зависимости λ от показателя зрительного центра. Устанавливаются начальные параметры испытательной модели: смещённая поверхность имеет несимметричную форму (рисунок 8) — случай общего вида в распределении LOR -областей: точка фокуса не принадлежит ни одной из координатных плоскостей, а её абсцисса не лежит в пределах области между зрительными центрами (рисунок 4).

Для каждой точки T'' полученной смещённой поверхности рассчитывается λ по формуле (1) и расстояние GT'' до соответствующего зрительного центра $G \in \{L; O; R\}$ (левого, среднего или правого).

Для каждой точки T'' учитывается

Тесты категории 3: выявление зависимости оценочного критерия от длины радиус-вектора смещённого фокуса. Данные эксперименты нацелены на изменение длины R''_f радиус-вектора смещённого фокуса при постоянном межцентровом расстоянии $2d$ и неизменных углах α , β и γ между этим вектором и осями OX , OY и OZ . В конце теста стало известно, что одному значению R''_f соответствует единственное значение λ , их зависимость $\lambda(R''_f)$ функциональная, монотонно возрастающая, близкая к виду:

$$\begin{cases} \lambda(R''_f) = \log_{(q \cdot R''_f + 1)}(q \cdot R''_f + 1), \\ \lambda(R''_f) = 1 \text{ при } R''_T = R''_f; \end{cases} \quad (4)$$

где $\lambda \in (0; 1]$ — оценочный критерий; $R''_f \in (0; \infty)$ и $R''_T \in (0; R''_f]$ — длины фокусных радиус-векторов; R''_T — длина радиус-вектора точки смещённой поверхности; $q \in (0; \infty)$ — основание логарифма для зависимости $\lambda(R''_f)$.

Тесты категории 4: выявление зависимости оценочного критерия от распределения областей зрительных приоритетов. Этот вид экспериментов численно сравнивает разные случаи распределения LOR -областей среди точек искажённой поверхности в зависимости от углов α , β и γ между радиус-вектором фокуса и осями OX , OY и OZ при постоянном межцентровом расстоянии $2d$ и радиусах $a_2, b_2 = c_2$ полуэллипсоида смещённого фокуса.

Рассмотрены следующие ситуации расположения точки фокуса: 1) на оси OX ; 2) в плоскости YOZ , но не в точке O ; 3) в плоскости XOZ , но не на осях OX и OZ ; 4) в плоскости XOY , но не на осях OX и OY ; 5) вне XOY, XOZ и YOZ .

В каждом из этих опытов для контрольных точек были вычислены значения λ . Зависимости $\lambda(N)$ ($N \in [1; 5]$ — номер опыта) для контрольных точек оформлены в виде диаграммы.

Выводы по результатам экспериментов. Два основных аспекта искажения поверхности: изменение её кривизны и поведение симметричных точек.

Форма поверхности зависит от формы полуэллипсоида смещённого фокуса: смещённая поверхность искажается, когда этот полуэллипсоид начинает отличаться от полуэллипсоида исходного фокуса. LOR -области играют лишь второстепенную роль в изменении формы поверхности. Исчезновение или появление симметрии между точками смещённой поверхности обусловлено распределением областей зрительных приоритетов. Изменение формы полуэллипсоида смещённого фокуса напрямую зависит от длины радиус-вектора смещённого фокуса и косвенно — от межцентрового расстояния. Оценить степень искривления точки искажённой поверхности позволяет расстояние до её зрительного центра, а с позиции величины λ — расстояние до начала координат.

Для опытов, разделённых на 4 категории, в качестве оценки искажения поверхности выбран критерий λ . Поскольку в условиях проведённых экспериментов привязка к началу координат разумна, λ вычисляется как произведение и отношение длин радиус-векторов и сравнивает искажённую поверхность с фигурой, гомотетичной исходной поверхности, при параллельном переносе вдоль оси OY (исходная поверхность построена параллельно плоскости XOZ).

LOR -области распределяются в зависимости от положения точки фокуса, которая характеризуется длиной радиус-вектора и его углами наклона к координатным осям. Эти углы формируют зрительно-приоритетные области, распределение которых делится на 5 случаев, разобранных в опытах категории 4.

В приложениях представлены дополнительные материалы. В приложении А приводятся основные сведения об *анатомии глаза* и *физиологии зрения*. В приложении Б *оптическая иллюзия* рассматривается как *феномен зрительного восприятия* и даётся *описание видов иллюзий*, близких к теме исследований. В приложении В сформулированы и решены *прикладные задачи* аналитической геометрии, наиболее важной среди которых является задача *параллельного переноса* точки в БМП. Приложение Г содержит перечень *элементов логических типов данных* разработанной библиотеки классов. В приложении Д раскрыт процесс проектирования оптимального *пользовательского интерфейса*. В приложении Е изложено *проведение экспериментов* с помощью компьютерной модели. В приложении Ж перечислены наборы *экспериментальных данных*. Приложение И содержит свидетельство РФ о государственной регистрации программы для ЭВМ. В приложениях К и Л приводятся акты внедрения результатов работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные **результаты** диссертационной работы следующие.

1. Сформулирован БМП-подход, описывающий человеческое зрительное восприятие *анаморфных поверхностей*, кажущихся наблюдателю по форме и расположению идентичными некоторому заданному объекту, что позволило произвести математическое моделирование иллюзий-анаморфоз, ранее *не формализованных*.
2. Разработана математическая модель для построения *анаморфных* объектов на основе решения ряда *прикладных задач* аналитической геометрии на плоскости и в пространстве.
3. Разработана интерактивная компьютерная модель для расчёта и наглядного отображения координат точек *поверхности, деформирующейся* в процессе *параллельного переноса* вдоль радиус-вектора фокуса в направлении начала координат в БМП, позволяющая *редактировать* параметры исходной поверхности, локализации смещённого объекта, зрительные характеристики человека и *мгновенно получать результат*. Ранее анаморфные объекты создавались *интуитивно*, получались *фиксированной формы*, не подлежали изменениям в реальном времени и не учитывали различия в зрительных анализаторах разных людей.
4. Выдвинута гипотеза о распределении LOR-областей, излагающая новый способ разделения пространства на ареалы, каждый из которых находится *под контролем зрительного центра*, ярче выявляющего различия в этой области.
5. Разработан алгоритм «CentripetaSpiculas», решающий *прикладную задачу автоматического построения сетчатых поверхностей* в условиях их нефункционального поточечного представления.
6. Предложен критерий оценки результатов экспериментов для полученной компьютерной модели, благодаря которому определены факторы, влияющие на искажение поверхности по итогам *экспериментов* четырёх категорий, — это *форма полуэллипсоида смещённого фокуса* и *распределение LOR-областей*.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. **Котова, Е. А.** Гипотеза о распределении областей зрительных приоритетов в бицентрическом монофокусном полупространстве [Электронный ресурс] / Е. А. Котова, В. К. Столчнев, А. Н. Пылькин // Современные проблемы науки и образования. — Электрон. журн. — М. : РАЕ, 2014. — № 4. — Режим доступа : <http://www.science-education.ru/118-14454>. — Загл. с экрана.

2. **Котова, Е. А.** Анализ результатов экспериментов по искажению смещённой поверхности, получаемых с помощью компьютерной модели бицентрического монофокусного полупространства [Электронный ресурс] / Е. А. Котова, В. К. Столчнев, А. Н. Пылькин // Современные проблемы науки и образования. — Электрон. журн. — М. : РАЕ, 2014. — № 4. — Режим доступа : <http://www.science-education.ru/118-14456>. — Загл. с экрана.

3. **Котова, Е. А.** Математическая и программная модель параллельного переноса точки в бицентрическом монофокусном полупространстве [Текст] / Е. А. Котова, А. Н. Пылькин ; под ред. С. Н. Кириллова // Вестник РГРТУ. — Рязань : РГРТУ, 2012. — № 1, Вып. 39. — Ч. 1. — 136 с. — С. 55–58.

Публикации в других изданиях

4. **Котова, Е. А.** Коррекция величин углов наклона радиус-вектора фокуса к координатным осям в бицентрическом монофокусном полупространстве [Электронный ресурс] / Е. А. Котова ; под ред. Е. В. Никульчева // Cloud of Science. — Электрон. журн. — М. : МТИ, 2014. — Т. 1, № 4 — С. 549–565. — Режим доступа : http://cloudofscience.ru/sites/default/files/pdf/CoS_1_4.pdf. — Загл. с экрана.

5. **Котова, Е. А.** Автозаполнение координат сетчатой поверхности в условиях поточечного представления [Текст] / Е. А. Котова, В. К. Столчнев ; под ред. В. А. Немтинова // Виртуальное моделирование, прототипирование и пром. дизайн : материалы междунар. научно-практ. конф. — Тамбов : ТГТУ, 2015. — 376 с. — С. 51–57.

6. **Котова, Е. А.** Математическое и компьютерное моделирование человеческого зрительного восприятия объектов [Текст] / Е. А. Котова, А. Н. Пылькин // Сборник работ победителей отборочного тура Всероссийского смотр-конкурса научно-технического творчества студентов вузов «ЭВРИКА». — Новочеркасск : ЛИК, 2012. — 299 с. — С. 7–10.

7. **Котова, Е. А.** Обобщенное представление математической и компьютерной модели человеческого зрительного восприятия объектов [Текст] / Е. А. Котова, А. Н. Пылькин, В. К. Столчнев ; под ред. А. Н. Пылькиной // Математическое и программное обеспечение вычислительных систем : межвуз. сб. науч. тр. — Рязань : РГРТУ, 2012. — 96 с. — С. 57–61.

8. **Котова, Е. А.** Кадрирование изображения по экстремальным точкам объекта [Текст] / Е. А. Котова, А. Н. Пылькин ; под ред. А. Н. Пылькиной // Программные информационные системы : межвуз. сб. науч. тр. — Рязань : РГРТУ, 2011. — 116 с. — С. 95–102.

9. **Котова, Е. А.** Математическое и программное моделирование параллельного переноса точки в бицентрическом монофокусном полупространстве [Текст] / Е. А. Котова // Новые информационные технологии в научных исследованиях : материалы XVI Всероссийской научно-технич. конф. студентов, молодых учёных и специалистов. — Рязань : РГРТУ, 2011. — 354 с. — С. 297–299.

10. **Котова, Е. А.** Алгоритм кадрирования изображения по крайним точкам объекта [Текст] / Е. А. Котова, А. Н. Пылькин // Научно-техническая международная молодёжная конференция «Системы, методы, техника и технологии обработки медиаконтента» : сб. тез. — М. : МГУП им. Ивана Фёдорова, 2011. — 125 с. — С. 55.

11. **Котова, Е. А.** Этапы моделирования человеческого зрительного восприятия объектов [Текст] / Е. А. Котова, А. Н. Пылькин ; под ред. А. Н. Пылькиной // Математическое и программное обеспечение вычислительных систем : межвуз. сб. науч. тр. — Рязань : РГРТУ, 2011. — 224 с. — С. 172–174.

12. **Котова, Е. А.** Моделирование искажения трёхмерного пространства при параллельном переносе поверхности в бицентрическом монофокусном полупространстве

[Текст] / Е. А. Котова // Новые информационные технологии в научных исследованиях и образовании : материалы XV Всероссийской научно-технич. конф. студентов, молодых ученых и специалистов. — Рязань : РГРТУ, 2010. — 406 с. — С. 108–109.

13. **Котова, Е. А.** Моделирование искажения трёхмерного пространства при параллельном переносе поверхности относительно радиус-вектора фокуса в направлении начала координат в бицентрическом монофокусном полупространстве, реализованное на языке программирования Delphi 6 с использованием ресурсов OpenGL [Текст] / Е. А. Котова ; под ред. С. С. Гаврюшина // Студенческий научный вестник : сб. ст. Междунар. молодеж. науч. форума-олимпиады по приоритет. направлениям развития Российской Федерации / МГТУ им. Н.Э. Баумана. — М. : НТА «АПФН», 2010. — 540 с. — С. 31–38.

Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ

14. Gance [Текст] : свидетельство о гос. регистрации progr. для ЭВМ № 2014617719 Российская Федерация / **Е. А. Котова** ; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Рязанский государственный радиотехнический университет». — № 2014615257 ; заявл. 03.06.2014 ; зарегистр. в Реестре программ для ЭВМ 31.07.2014. — 1 с.

Личный вклад автора. Подготовка к публикации результатов исследований проводилась совместно с соавторами, вклад диссертанта был определяющим. Все представленные в диссертации результаты получены лично автором: в [1] выдвинута *гипотеза* о распределении *LOR*-областей в БМП; в [3, 9, 12, 13] предложен *способ получения искажённой поверхности* при параллельном переносе точки в БМП; в [4] решена *прикладная задача* аналитической геометрии по расчёту положения радиус-вектора фокуса в БМП; в [8, 10] разработан *алгоритм* кадрирования изображения по экстремальным точкам объекта; в [5] представлен *алгоритм* автозаполнения координат сетчатой поверхности в условиях поточечного представления; в [6, 7] создана *математическая и компьютерная модель* человеческого зрительного восприятия объектов; в [2, 11] проведены *опыты* в полученной экспериментальной системе и произведён *анализ результатов*; на основе парадигмы БМП-подхода и гипотезы о *LOR*-областях было разработано *программное обеспечение Gance* (свидетельство РФ о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014617719) [14].

Научному руководителю д.т.н., профессору Пылькину А. Н. принадлежит определение области научных исследований, постановка задачи диссертационной работы, руководство в решении поставленных задач, участие в обсуждении и интерпретации результатов экспериментальных исследований.

Котова Екатерина Александровна

Математическое и компьютерное моделирование зрительного восприятия иллюзорных искажённых объектов трёхмерных сцен

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук

Подписано в печать 01.04.2015. Формат бумаги 60×84 1/16.

Бумага офсетная. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 1,0

Тираж 100 экз. Заказ 1850.

Рязанский государственный радиотехнический университет.
390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1.

Отпечатано в НПЦ «Информационные технологии».
390035, г. Рязань, ул. Островского, 21/1. Тел.:(4912) 98-69-84.

