

**Дополнительные сведения\***  
**о приеме к защите, поступивших отзывах,**  
**результатах публичной защиты**  
**диссертации:**  
**Федюков Максим Александрович**  
**«Алгоритмы построения модели головы**  
**человека по изображениям для систем**  
**виртуальной реальности»**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата  
физико-математических наук  
по специальности 05.13.11 «Математическое и программное обеспечение  
вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей»

Дата принятия к защите: 12.01.2016

Дата защиты: 29.03.2016

---

\* Состав дополнительных сведений определяется приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 16 апреля 2014 г. «Об утверждении Порядка размещения в информационно-телекоммуникационной сети Интернет информации, необходимой для обеспечения порядка присуждения ученых степеней» (зарегистрировано в Минюсте РФ 27.05.2014, опубликовано: 11.06.2014 в «РГ», вступает в силу 22.06.2014)

## **Диссертационный совет Д 002.024.01**

Создан на базе ИПМ имени М. В. Келдыша РАН, приказ № 105/нк от 11.04.2012.

Адрес: 125047 Москва, Миусская площадь, д.4. Сайт: [www.keldysh.ru](http://www.keldysh.ru)

Сайт диссертационного совета: <http://keldysh.ru/council/1/>

Председатель диссертационного совета Д 002.024.01: **Сазонов Виктор Васильевич**

доктор физико-математических наук, профессор,

место работы: ИПМ им. М.В. Келдыша РАН,

должность: главный научный сотрудник сектора № 2 «Механика и управление движением космических аппаратов» отдела № 5 «Механика космического полета и управление движением».

Адрес: 125047 Москва, Миусская площадь, д.4

E-mail: [sazonov@keldysh.ru](mailto:sazonov@keldysh.ru)

### **Сведения о соискателе, диссертации, руководителях, официальных оппонентах, ведущей организации**

Соискатель: **Федюков Максим Александрович**

Диссертация: «Алгоритмы построения модели головы человека по изображениям для систем виртуальной реальности».

Диссертация размещена на сайте диссертационного совета 11.01.2016 г.

Диссертация в виде рукописи принята к защите 12.01.2016 г., протокол № 1.

Члены комиссии по приему диссертации к защите: Горбунов-Посадов Михаил Михайлович, Лацис Алексей Оттович, Галактионов Владимир Александрович.

Адрес объявления о защите на сайте ВАК:

<http://vak.ed.gov.ru/dis-details?xPARAM=211886>

#### **1. Научные руководители:**

кандидат физико-математических наук, доцент **Баяковский Юрий Матвеевич**, заведующий лабораторией компьютерной графики и мультимедиа факультета вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, адрес: 119991 ГСП-1 Москва, Ленинские горы, МГУ имени М.В. Ломоносова, 2-й учебный корпус, факультет ВМК, ауд.

701, тел.: 8-495-939-01-90, e-mail: [ymb@graphics.cs.msu.ru](mailto:ymb@graphics.cs.msu.ru), сайт в сети Интернет: <http://graphics.cs.msu.ru/>;

кандидат физико-математических наук, доцент **Конушин Антон Сергеевич**, заведующий лабораторией компьютерной графики и мультимедиа факультета вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, адрес: 119991 ГСП-1 Москва, Ленинские горы, МГУ имени М.В. Ломоносова, 2-й учебный корпус, факультет ВМК, ауд. 701, тел.: 8-495-939-01-90, e-mail: [ktosh@graphics.cs.msu.ru](mailto:ktosh@graphics.cs.msu.ru), сайт в сети Интернет: <http://graphics.cs.msu.ru/>.

### Официальные оппоненты

1. Доктор физико-математических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики» Клименко Станислав Владимирович, профессор кафедры физико-технической информатики факультета инноваций и высоких технологий ФГАОУ ВПО «Московский физико-технический институт (государственный университет)»

Адрес: 141700, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский пер., д.9

Тел.: 8-495-376-15-50

E-mail: [Stanislav.Klimenko@gmail.com](mailto:Stanislav.Klimenko@gmail.com)

Сайт в сети Интернет: <https://mipt.ru/education/chairs/phystechinformatics/>

- Алешин В.П., Афанасьев В.О., Бобков А.Е., Клименко А.С., Клименко С.В., Новгородцев Д.Д., Ротков С.И., Сандлер А.Д. Особенности формирования изображений статических и динамических 3D-сцен в системах виртуального окружения // Приволжский научный журнал. - 2015. - N2 1 - С.84-92
- Kira Konich, Igor Nikitin, Stanislav Klimenko, Valery Malofeev, and Sergey Tyul'bashev. Radio Astronomical Monitoring in Virtual Environment// Procedia Computer Science, V.66, 2015, pp.592-601, doi:10.1016/j.procs.2015.11.067
- Paul, Padma Polash, Marina Gavrilova, and Stanislav Klimenko. "Situation Awareness through Multimodal Biometric Template Security in Real-Time Environments." Cyberworlds (CW), 2013 International Conference on. IEEE, 2013.
- Ермаков А.Н., Клименко А. С., Клименко С.В., Райков А.Н. «Территориальное планирование на основе геокогнитивного моделирования»// Информатизация и связь, 2013, N3, С. 21-26, ISSN: 2078-8320
- Алешин А., Афанасьев В., Ерусенцев П., Ерёмченко Е., Клименко А., Клименко С. и др . «Актуальные информационные технологии: визуализация информации, виртуальное окружение, неогеография, осязаемые изображения», Научная визуализация, том 5, N4, 2013, С. 1-17

- Смирнов А. Г., Клименко С. В., Ростков Д. А., "Комплекс виртуальной имитации зубочелюстной системы." Труды конференции "Графикон": 2010. — С. 292-299.

2. Кандидат технических наук по специальности 05.13.11 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей» Рейер Иван Александрович, научный сотрудник Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук»

Адрес: 119333, Москва, ул. Вавилова, 40

Тел. 8-499-135-04-40

Факс: 8-499-135-61-59

E-mail: [reyer@forecsys.ru](mailto:reyer@forecsys.ru)

Сайт в сети Интернет: <http://www.ccas.ru/>

- Рейер И. А., Жукова К. В. Face Profile Segmentation with Use of Parametric Shape Descriptor. Перспективные прикладные задачи компьютерного зрения: Двусторонний российско-индийский научный семинар: Москва, Россия, 1-5 ноября 2011 года: Сборник статей, С. 75-81.
- Жукова К. В., Рейер И. А. Параметрический дескриптор формы на основе гранично-скелетной модели. Математические методы распознавания образов: 15-я Всероссийская конференция: Сборник докладов, 2011, С. 408-411.
- Ivan Reyer, Ksenia Zhukova. Skeleton Base and Scalable Boundary-Skeletal Shape Model. 25th European Conference on Operational Research, 8-11 July 2012, Vilnius, Lithuania, p. 130.
- Жукова К. В., Рейер И. А. Непрерывная гранично-скелетная модель сегментированного изображения. Интеллектуализация обработки информации: 9-я Международная конференция. Черногория, г. Будва, 16-22 сентября 2012 г.: Сборник докладов. – М.: Торус Пресс, 2012. С. 418–421.
- Жукова К. В., Рейер И. А. Параметрическое семейство базовых скелетов многоугольной фигуры. Машинное обучение и анализ данных, 2012. Т. 1, № 4. С. 391-410.
- Жукова К. В., Рейер И. А. Параметрический дескриптор формы и связность базового скелета. Математические методы распознавания образов: 16-ая Всеросс. конф.: Тез. докл. М.: Торус Пресс, 2013. С. 72.
- Ivan Reyer, Ksenia Zhukova. Continuous boundary-skeleton model of a segmented image. 26th European Conference on Operational Research, Abstract Book, 2013. — p. 123.
- Ivan Reyer, Ksenia Zhukova. Parametric Shape Descriptor based on a Scalable Boundary-Skeleton Model. 20-th Conference of the International Federation of Operational Research Societies (IFORS-2014) 2014 — p. 229.
- Жукова К. В., Рейер И. А. Связность базового скелета и параметрический дескриптор формы. Машинное обучение и анализ данных, 2014. Т. 1, № 10, С. 1354-1368.

- Адуенко А. А., Василейский А. С., Карелов А. И., Рейер И. А., Рудаков К. В., Стрижов В. В. Алгоритмы выделения и совмещения устойчивых отражателей на спутниковых снимках. Компьютерная оптика. – 2015. – Т. 39, № 4. – С. 622-630.

### Ведущая организация

Федеральное государственное унитарное предприятие «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем» (ФГУП «ГосНИИАС»)

Адрес: Россия, 125319, г. Москва, ул. Викторенко, 7

Тел.: (499) 157-70-47

Факс: (499) 943-86-05

Е-mail: [info@gosniias.ru](mailto:info@gosniias.ru)

Сайт в сети Интернет: <http://www.gosniias.ru>

- С.В. Сидякин, Ю.В. Визильтер. Параметрические и морфологические спектры // «Компьютерная оптика», Том 39, №1. 2015, с.109-118.
- Визильтер Ю. В., Горбацевич В.С., Желтов С.Ю., Рубис А.Ю., Воротников А.В. Морфлеты: новый класс древовидных морфологических описаний формы изображений // «Компьютерная оптика», Том 39, №1. 2015, с.101-108.
- Визильтер Ю. В., Горбацевич В.С., Рубис А.Ю., Выголов О.В. Сравнение изображений по форме с использованием диффузной морфологии и диффузной корреляции // «Компьютерная оптика», Том 39, №2. 2015, с.265-274.
- Yu. V. Vizilter, S. V. Sidiyakin. Comparison of shapes of two-dimensional figures with the use of morphological spectra and EMD metrics // Pattern Recognition and Image Analysis, July 2015, Volume 25, Issue 3, pp 365-372.
- V. Gorbatshevich, Yu. Vizilter, V. Knyaz and S. Zheltov. Face pose recognition based on monocular digital imagery and stereo-based estimation of its precision // International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XL-5, ISPRS Technical Commission V Symposium, 23–25 June 2014, Riva del Garda, Italy, pp. 257-263, 2014.
- Лебедев М.А., Комаров Д.В., Бондаренко М.А., Степаньянц Д.Г., Выголов О.В., Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю. Алгоритм автоматического совмещения сенсорной и синтезируемой видеоинформации для авиационной системы комбинированного видения // журнал «Вестник компьютерных и информационных технологий». – №7 (121), 2014. С. 8-13.
- Визильтер Ю.В., Выголов О.В., Рубис А.Ю. Экспериментальное исследование морфологических методов сравнения форм изображений в задачах комплексирования многоспектральной видеоинформации // Вестник компьютерных и информационных технологий, N8, 2013, с.3-9.
- Knyaz V.A., Vizilter Y.V., Kudryashov Y.I., Technique for real-time frontal face image acquisition using stereo system // Proceedings of SPIE. "Videometrics, Range Imaging, and Applications XII; and Automated Visual Inspection" 2013. С. 87910U.
- Визильтер Ю.В., Сидякин С.В. Построение спектров морфологической сложности для двумерных фигур и изображений // Вестник компьютерных и информационных технологий, N11, 2012, с.3-8.
- Vizilter, Y. V. and Zheltov, S. Y.: Geometrical Correlation and Matching of 2D Image Shapes, ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., I-3, 191-196, doi:10.5194/isprsannals-I-3-191-2012, 2012.

- Ю.В. Визильтер, М.В. Ососков, С.Л. Каратеев, И.В. Бекетова. Разработка программно-аппаратных комплексов автоматизированной регистрации цифровых изображений лица человека в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО/МЭК 19794-5-2006 // Юбилейная научно-техническая конференция «Моделирование авиационных систем». г.Москва, 12-14 апреля 2011 г.: сборник докладов. – М.: ФГУП «ГосНИИАС», с.90-95.
- Н.А. Костромов, С.Л. Каратеев, И.В. Бекетова, Ю.В. Визильтер. Применение самоорганизующихся нейронных сетей для кластеризации цветных цифровых изображений и выделения лиц по цвету кожи // Юбилейная научно-техническая конференция «Моделирование авиационных систем». г.Москва, 12-14 апреля 2011 г.: сборник докладов. – М.: ФГУП «ГосНИИАС», с.96-100.
- Визильтер Ю.В., Горбацевич В.С. Локальная нормировка меры сходства и ее влияние на характеристики биометрического распознавания лиц // Математические методы распознавания образов: 15-я Всероссийская конференция. г.Петрозаводск, 11-17 сентября 2011 г.: сборник докладов. –М.: МАКС Пресс, 2011. с.481-484.
- Ю.В. Визильтер, В.С. Горбацевич, С.Л. Каратеев, Н.А. Костромов. Обучение алгоритмов выделения кожи на цветных изображениях лиц с использованием самоорганизующихся нейронных сетей и морфологических классификаторов на разрезах графов // Труды 21-й Международной Конференции по Компьютерной Графике и Машинному Зрению Графикон'2011. Москва, 2011, с.195-198.
- Каратеев С.Л., Бекетова И.В., Ососков М.В., Князь В.А., Визильтер Ю.В., Бондаренко А.В., Желтов С.Ю. Автоматизированный контроль качества цифровых изображений для персональных документов // Информатика и ее применения, 2010. т.4. Вып.1. С.65-73.

### **Отзывы на автореферат и диссертацию**

Отзывы на автореферат и диссертацию не поступили.

### **Результаты публичной защиты**

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Разработан новый комплексный подход для построения трехмерной модели головы человека по фотографиям. Получены следующие новые результаты в области моделирования головы человека для систем виртуальной реальности:

Предложен новый алгоритм обнаружения антропометрических точек лица на парах фотографий анфас и в профиль на основе аппарата несвободных локальных моделей. Предложенный алгоритм отличается от ранее известных тем, что осуществляет многоэтапную оценку координат точек с учетом метрики качества разметки, выполняет поиск на паре фотографий одновременно, имеет в функционале минимизации энергии член, характеризующий взаимную невязку точек, описывающих черты лица, видимые как на фотографии анфас, так и на фотографии в профиль. Благодаря этому предложенный алгоритм обеспечивает более высокую точность обнаружения антропометрических точек лица, а также

согласованность положения найденных точек на паре фотографий анфас и в профиль.

Предложен новый алгоритм оценки параметров трехмерной модели головы с использованием предварительной разметки базовой полигональной модели, проходящей по ее вершинам и описывающей все черты лица. Предложенный алгоритм отличается от существующих проведением многоэтапной («грубо-точной») оценки параметров трехмерной модели головы с использованием генетического алгоритма для оценки всех параметров и уточнения формы отдельных черт лица методом Нелдера—Мида. Благодаря этому предложенный алгоритм обеспечивает более высокую точность построения модели головы.

Предложен оригинальный комплекс алгоритмов генерации текстуры всей головы человека, включающий новые методы фотореалистичного синтеза невидимых областей на основе имеющейся цветовой и геометрической информации. Предложенный алгоритм отличается от существующих полным фотореалистичным текстурированием модели, осуществляет синтез текстуры с использованием как диффузионных алгоритмов, так и алгоритмов синтеза по образцу, и обеспечивает более высокое воспринимаемое качество по сравнению с существующими аналогами.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что для построения трехмерной модели головы человека разработаны эффективные алгоритмы:

1. Детектирования антропометрических точек на фотографиях анфас и в профиль, обеспечивающие высокую точность обнаружения антропометрических точек лица, а также согласованность положения найденных точек на паре фотографий анфас и в профиль.
2. Оптимизации антропометрических параметров сегментированной модели головы, обеспечивающие высокую точность построения модели, до 2 раз снижающие невязку с эталонными моделями по сравнению с базовым подходом оценки многопараметрических моделей.
3. Интерполяции вершин модели, генерации текстур и работы с многослойными текстурами, обеспечивающие в совокупности с остальными алгоритмами сокращение времени построения трехмерных моделей по фотографиям более чем в 2 раза по сравнению с аналогами.

Разработанные алгоритмы были внедрены в качестве основных расчетных методов в программный продукт Avatar Reconstructor, реализованный как в виде отдельного приложения, так и интегрированный в виде подключаемого модуля в популярную систему моделирования 3ds Max. Сравнение, проведенное в диссертации, показывает преимущество разработанных алгоритмов над аналогами, а разработанной системы над существующими коммерческими продуктами.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что все основные положения и заключения, сформулированные в работе, обоснованы с помощью большого количества численных экспериментов и сравнений. Проведенное в диссертации сравнение с существующими коммерческими продуктами является точным и всеобъемлющим, и, таким образом, доказывает преимущество разработанных в диссертации подходов над существующими решениями.

Личный вклад соискателя состоит в следующем: разработка лично автором нового комплексного подхода, включающего новые алгоритмы и их эффективные программные реализации для построения трехмерной модели головы человека по фотографиям для систем виртуальной реальности; алгоритмов обнаружения антропометрических точек лица на парах фотографий анфас и в профиль, многоэтапный алгоритм оценки параметров трехмерной модели головы, генерации текстуры головы человека по паре фотографий анфас и в профиль, включающий в себя новые алгоритмы синтеза текстуры в невидимых областях на основе имеющейся цветовой и геометрической информации; создание системы построения трехмерной модели головы человека по фотографиям, интеграция ее в пакет 3ds Max, интеграция ее в системы виртуальной реальности OpenSim и Second Life; апробация результатов исследования; подготовка основных публикаций по содержанию работы; представление опубликованных работ. Содержание диссертации и основные положения, выносимые на защиту, отражают персональный вклад автора в опубликованные работы. Подготовка к публикации полученных результатов проводилась совместно с соавторами, причем вклад диссертанта был определяющим. Все представленные в диссертации результаты получены лично автором.

На заседании 29 марта 2016 г. диссертационный совет принял решение присудить Федюкову М.А. учёную степень кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.11 «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» присуждение учёной степени – 18, «против» присуждения учёной степени – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 002.024.01

доктор физ.-мат. наук

Полилова Татьяна Алексеевна