

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.077.05
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ПРОБЛЕМ ПЕРЕДАЧИ
ИНФОРМАЦИИ им. А. А. ХАРКЕВИЧА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 19 сентября 2016 года, № 13

О присуждении Чочиа Павлу Антоновичу ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Теория и методы обработки видеоинформации на основе двухмасштабной модели изображения» по специальности 05.13.18 — Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки), принята к защите 28 декабря 2015 года, протокол № 10, диссертационным советом Д 002.077.05 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем передачи информации им. А. А. Харкевича Российской академии наук (127051, Москва, Б. Каретный пер., 19, строение 1, приказ о создании диссертационного совета от 10 июля 2015 года № 784/нк).

Соискатель Чочиа Павел Антонович, гражданин Российской Федерации 1951 года рождения, в 1974 году окончил Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)», работает старшим научным сотрудником Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем передачи информации им. А.А. Харкевича Российской академии наук.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему: «Исследование диалоговых методов цифровой коррекции искаженных изображений и разработка средств их реализации в автоматизированных систе-

мах» по специальности 05.13.01 – Техническая кибернетика и теория информации соискатель защитил в 1982 году в диссертационном совете, созданном на базе Института проблем передачи информации Академии наук СССР.

Диссертация выполнена в Лаборатории № 2 — Методы анализа и цифровой обработки изображений Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем передачи информации им. А.А. Харкевича Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

1. Дворкович Виктор Павлович, гражданин РФ, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Мультимедийных систем и технологий» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)» (МФТИ);

2. Моттль Вадим Вячеславович, гражданин РФ, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник отдела «Интеллектуальные системы» Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук (далее ФИЦ ИУ РАН);

3. Пяткин Валерий Павлович, гражданин РФ, доктор технических наук, заведующий лабораторией обработки изображений Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук (далее ИВМиМГ СО РАН)

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация — Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», г. Москва, в своем *положительном* заключении, подписанном Денисовым Александром Михайловичем, доктором физико-математических наук, заведующим кафедрой математической физики факультета ВМК МГУ имени М.В. Ломоносова, подготовленном Крыловым Андреем Серджевичем, доктором физико-математических наук, профессором

кафедры математической физики, заведующим лабораторией математических методов обработки изображений факультета ВМК МГУ имени М.В.Ломоносова, и утвержденном Федяниным Андреем Анатольевичем доктором физико-математических наук, проректором МГУ имени М.В.Ломоносова, указала, что результаты и выводы диссертационной работы рекомендуется использовать для разработки новых методов анализа, обработки и сжатия неподвижных, движущихся, а также объемных изображений, при проектировании вновь создаваемых систем анализа и переработки видеоданных, в частности промышленных роботов, автоматических систем анализа в дефектоскопии и медицинском приборостроении, а также в других приложениях, теоретические результаты могут быть использованы в дальнейших научных исследованиях и в учебном процессе при изучении основ цифровой обработки видеoinформации; в научно-практической работе в организациях, связанных с вопросами обработки и анализа изображений и видеоданных. Среди таковых можно назвать предприятия, специализирующиеся на разработке систем дистанционного зондирования (ИКИ РАН, НЦ оперативного мониторинга Земли), телевидения и видеомониторинга (ВНИИ телевидения, ВНИИТР), дефектоскопии (НИИ Интроскопии МНПО «Спектр»), предприятия полиграфии и медицинского приборостроения, а также многие другие.

Отзыв одобрен и принят на заседании кафедры математической физики ВМК МГУ имени М.В.Ломоносова «09» марта 2016 года, протокол № 3.

Соискатель имеет 106 опубликованных работ, из них **84 по теме диссертации**, в том числе 49 в научных журналах, включенных в перечень российских рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций. Из них 23 личные публикации объемом 219 страниц. В публикациях, совместных с соавторами (26 работ, 248 страниц) соискателю принадлежат основные результаты, относящиеся к тематике диссертационной работы.

Основные результаты диссертации опубликованы в 8 работах без соавторов.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Чочиа П.А. Двухмасштабная модель изображения // Кодирование и обработка изображений. М: Наука, 1988. С. 69-87.
2. Чочиа П.А. Сглаживание изображения при сохранении контуров // Кодирование и обработка изображений. М.: Наука, 1988. С. 87-98.
3. Chochia P.A. Image Enhancement Using Sliding Histograms // Computer Vision, Graphics and Image Processing. 1988. V. 44, no. 2. P. 211-229.
4. Чочиа П.А. Вероятностная модель контурного изображения // Иконика. Цифровая обработка видеоинформации. М.: Наука, 1989. С. 25-34.
5. Chochia P.A. Image Decomposition and Enhancement Using Rank Filtering // Computer and Holographic Optics and Image Processing. Proceedings SPIE, 1998. V. 3348. P. 261-266.
6. Чочиа П.А. Сегментация изображений на основе анализа расстояний в пространстве признаков // Автометрия. 2014. Т. 50, № 6. С. 97-110.
7. Чочиа П.А. Определение параметров капиллярного кровотока на основе анализа видеоданных // Медицинская техника. 2015. № 1. С. 14-17.
8. Chochia P.A. Transition from 2D- to 3D-images: modification of two-scale image model and image processing algorithms // Journal of Communications Technology and Electronics. 2015. V. 60, no. 6. P. 678-687.

На диссертацию и автореферат поступило 11 отзывов, включая отзывы ведущей организации и официальных оппонентов, каждый из которых содержит положительную оценку работы Чочиа П.А. и вывод о её соответствии требованиям, предъявляемым Высшей аттестационной комиссией к докторским диссертациям на соискание степени доктора технических наук по специальности 05.13.18 — Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

В отзыве **ведущей организации**, Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», в качестве замечания отмечено, что для алгоритма декомпозиции, который можно интерпретировать как сглаживание изображения, недостаточно полно проведены исследования по устранению различного вида шумов на изображении; вопрос определения фазы помехи при

пространственной фильтрации периодических помех изложен недостаточно четко; в диссертационной работе, за исключением ссылок на работы автора, мало ссылок на работы, опубликованные за последние пять лет; при рассмотрении быстрого алгоритма корреляционного совмещения изображений было бы полезно провести исследование вопроса о границах требования условия квазирегулярности изображений, что позволило бы ввести оценку возможности применения предложенного алгоритма не только к квазирегулярным, но и к изображениям более общего вида.

В отзыве **официального оппонента Дворковича Виктора Павловича**, в качестве замечаний отмечено следующее. Во всех главах диссертации и особенно в 1-ой главе чересчур подробно излагаются известные способы цифровой обработки изображений, что существенно увеличивает ее объем, не изменяя ее информативность; в этом плане следует привести известные формулы непрерывных и дискретных преобразований Фурье, изображенных на стр.235; при расчете приведенных в во 2-й главе алгоритмов декомпозиции изображений, к сожалению, не отражено использование новых двумерных и трехмерных базисных функций вейвлет-преобразований, а также применение систем деблокинговой фильтрации, предусмотренной в кодирующих устройствах в соответствии с международными стандартами H.264/AVC и H.265/HEVC; в исследованиях, результаты которых приводятся в главах 3 и 4, должны были бы предусмотрены варианты внутрикадровой обработки изображений, которая предусмотрена в кодерах указанных стандартов; обработка трехмерной видеoinформации должна быть реализована также с применением межкадрового кодирования, предусмотренного стандартами H.264/AVC и H.265/HEVC и применяемого при обработке 3D моделей изображений; на рис.2.3.1 и рис.3.4.2 приводятся «странные» трехмерные цветовые диаграммы, со ступками дискретных значений R-G-B участков, не соответствующих изображению цветового куба и локусу МКО; ряд материалов, посвященных изложению результатов разработок автора и их внедрению, часто содержит краткий иллюстративный материал — его изложение целесообразно было бы представить в Приложениях.

В отзыве **официального оппонента Моттля Вадима Вячеславовича**, в качестве замечаний отмечено следующее. В главе 1 предложена оценка визуальной контрастности изображения, но не приведено ее достаточное исследование и нет использования данной оценки в дальнейшем. При исследовании метода декомпозиции и сравнении с известными методами сглаживания приводится утверждение, что метод билатеральной фильтрации является упрощением предлагаемого метода декомпозиции, но численных сравнений не приводится. В главе 2, в которой рассматривается алгоритм декомпозиции изображений, приводится пример анализа и обнаружения деталей на основе декомпозиции. При том, что пример без сомнения полезен, его, по-видимому, стоило поместить в Главу 4, посвященную алгоритмам анализа изображений. При рассмотрении декомпозиции цветного изображения приводится иллюстрация распределения значений точек в трехмерном цветовом пространстве. Сгущения точек на рисунке показаны сферическими, тогда как для реальных изображений они, как правило, имеют вытянутую форму.

В отзыве **официального оппонента Пяткина Валерия Павловича**, в качестве замечаний отмечено следующее. При построении алгоритма сглаживания/декомпозиции (Глава 2) использована лишь простейшая кусочно-постоянная модель, когда степень приближающего полинома равна нулю. В то же время предложенная модель фрагмента изображения допускает приближение поверхностями более высоких степеней. Представляет большой интерес разработка соответствующего алгоритма. В алгоритме обнаружения на изображении объектов (Глава 4) используется понятие «локальная площадь». В результате будут обнаруживаться объекты вытянутой формы, локальная площадь которых невелика, но общая может оказаться существенно больше. Такие объекты не будут дифференцированы от объектов, имеющих общую площадь в задаваемых пределах. В задаче сегментации (Глава 5) текстурные признаки вычисляются лишь по яркостной компоненте. Вероятно, допустимы случаи, когда существенные текстурные различия возникают лишь в цветовых составляющих. Представляется, что такие особенности не учтены предложенным алгоритмом.

В отзыве на автореферат Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН), подписанном директором д.т.н., чл.-корр. РАН Юсуповым Рафаэлем Мидхатовичем и старшим научным сотрудником СПИИРАН к.т.н. доцентом Хариновым Михаилом Вячеславовичем в качестве замечания указано следующее. Понятия «двухмасштабная многокомпонентная модель» и просто «двухмасштабная модель», судя по всему, различаются только по интерпретации вычислений, но на это нет прямого указания в тексте. В автореферате детально описана, обоснована и верифицирована оценка сложности изображения, но недостаточно полно раскрыто ее использование в модели и на практике. Предложенное автором решение задачи сегментации изображений общего вида, упомянутое в списке важных научно-технических задач обработки конкретных объектов п. 5 «Основных положений и результатов, выносимых на защиту» следовало бы сформулировать как самостоятельное положение.

В отзыве на автореферат **Садыкова Султана Сидыковича**, профессора кафедры Информационных систем Муромского института (филиал) Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, доктора технических наук, профессора, в качестве замечаний указано следующее. Получаемые в работе контуры являются неодноточечными, что затрудняет их математическое описание при растровом представлении. Не осуществлена оценка вычислительной сложности большинства предложенных автором алгоритмов. Не оценено преимущество предлагаемой автором модели 3D изображений по сравнению со спектральной моделью многомерных изображений.

В отзыве на автореферат **Сергеева Владислава Викторовича**, заведующего лабораторией математических методов обработки изображений ФГБУН Институт систем обработки изображений Российской академии наук (ИСОИ РАН), профессора, доктора технических наук, приводятся два замечания-вопроса. Почему введенная модель изображения названа «двухмасштабной многокомпонентной», а не просто «двухкомпонентной», т.е. состоящей из кусочно-гладкой составляющей, определяющей области (объекты) и случайной текстурной? Из

автореферата не видно, понимается ли в диссертации «много...» шире, чем «два». Представляется методически некорректным рассмотрение границ областей как цепочек пикселей, а не как линий нулевой ширины, проходящей между пикселями. Цепочка пикселей может в любой момент оборваться — как тогда будет выделена «гладкая» область первой составляющей модели?

В отзыве на автореферат **Удода Виктора Анатольевича**, профессора кафедры «Математические методы и информационные технологии в экономике» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», доктора технических наук, профессора в качестве замечаний указано следующее. На стр. 7 для обозначения непрерывного изображения (функция $f(u, v)$) и соответствующего ему цифрового изображения (функция $f(m, n)$) используется один и тот же символ f , что не совсем удачно. В автореферате было бы целесообразно привести результаты сравнения разработанных соискателем методов и алгоритмов с существующими аналогами. В частности, предложенный автором в пятой главе алгоритм сегментации изображений прослеживанием контуров объектов желательно было бы сравнить, например - с детектором границ Канни (J. Саппу).

Отзывы на автореферат советника РАН академика РАН **Кузнецова Николая Александровича**, доктора технических наук, профессора **Василенко Георгия Ивановича** (Москва, не работает) и профессора кафедры информационной безопасности Тульского государственного университета **Двоенко Сергея Даниловича**, доктора физико-математических наук, доцента замечаний не содержат.

Выбор оппонентов и ведущей организации подтвержден их научными публикациями. Дворкович В.П. — доктор технических наук по специальности 05.12.04 (Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения) — авторитетный специалист в области цифровых видеоинформационных систем, кодирования и сжатия видеоданных. Моттль В.В. — доктор технических наук по специальности 05.13.16 (Применение вычислительной техники, математического моделирования и математических методов в научных исследованиях, смежной с

05.13.18) — известный ученый в области распознавания образов, численных методов анализа и математического моделирования. Пяткин В.П. — доктор технических наук по специальности 05.13.18 (Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ) и 05.13.11 (Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей) — высококвалифицированный специалист в области численных методов обработки и анализа видеоинформации, а также программных комплексов переработки данных дистанционного зондирования.

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова — один из ведущих в России центров исследований и экспертизы в области фундаментальных основ и применения математического моделирования, численных методов и комплексов программ для решения фундаментальных и прикладных проблем.

Диссертационный совет отмечает, что **на основании выполненных соискателем исследований** получены следующие **основные результаты**.

1. **Разработана** двухмасштабная многокомпонентная математическая модель изображения, описывающая его свойства в пределах областей анализа малого и большого масштаба, представляющая изображение суммой кусочно-гладкой компоненты и случайных текстурно-детальной и шумовой компонент; модель изображения обеспечивает проведение исследований и построение новых эффективных алгоритмов обработки и анализа видеоинформации.

2. **Построена** модель контурного изображения и разработан алгоритм источника контурных изображений; модель позволяет формировать дискретные контурные изображения с задаваемыми характеристиками, которые могут применяться в задачах, связанных с обработкой, анализом и сжатием видеоинформации в качестве тестового сигнала с заданными свойствами.

3. **Предложен** и исследован способ оценивания сложности изображения при помощи двумерных вариаций. Введены показатели оценивания характеристик объектов; получаемые характеристики позволяют оценивать качество изображения и использоваться, например, в стабилизирующем функционале при решении задач восстановления сигнала.

4. **Решена** задача сглаживания изображения при сохранении контурных перепадов. Разработаны и исследованы метод и алгоритм декомпозиции изображения на компоненты с различным информационным содержанием, соответствующие многокомпонентной модели; показано, что декомпозиция обеспечивает значительно более точное восстановление искаженного шумом изображения по сравнению с другими алгоритмами сглаживания. Предложен подход, заключающийся в том, что для анализа поступающих данных следует выбирать только ту компоненту, в которой должна содержаться искомая информация, а при обработке данных применять преобразования, специфические для каждой из компонент.

5. На основе двухмасштабной модели **предложены** новые подходы, разработаны новые и модифицированы известные методы и алгоритмы фильтрации, коррекции, улучшения и анализа изображений, которые были эффективно использованы при решении различных научно-технических задач.

6. **Разработан** параллельный алгоритм вычисления гистограммы и порядковых статистик по скользящему фрагменту для двумерных и трехмерных изображений, обеспечивающий выполнение вычислений за конечное число операций независимо от размера фрагмента. Предложена схема его реализации на основе группы процессоров с простыми арифметико-логическими операциями.

7. **Созданы** специализированные программные комплексы обработки изображений для ЭВМ различных типов, в рамках которых реализованы и исследованы разработанные методы и алгоритмы.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что разработаны теоретические положения, согласно которым изображение представляется многокомпонентной моделью, позволяющей:

- разрабатывать математические модели цифрового многоградационного изображения;
- разрабатывать модели контурного изображения;
- получать и обосновывать способы оценки сложности изображения;
- разрабатывать численные методы декомпозиции изображения, обработки и анализа видеoinформации.

Теоретические исследования, изложенные в диссертационной работе, позволяют строить новые методы и алгоритмы более высокого уровня сложности.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- полученные результаты могут использоваться для разработки новых методов анализа, обработки и сжатия неподвижных, движущихся или объемных изображений, при проектировании вновь создаваемых систем анализа и переработки видеоданных, в частности промышленных роботов, автоматических систем анализа в дистанционном зондировании, дефектоскопии, медицинском приборостроении, в учебном процессе при изучении теоретических основ обработки видеoinформации, а также в других приложениях;

- разработанные и изложенные в диссертации методы и алгоритмы использовались и используются в ИППИ РАН и других организациях при создании программных комплексов обработки и анализа видеoinформации;

- комплексы программ, реализующие разработанные соискателем алгоритмы, применялись, для обработки снимков поверхности Земли и планет, переданных автоматическими межпланетными станциями «Марс-4, -5», «Венера-9, -10», «Венера-13, -14», «Фобос-2», «Венера-15, -16» (совместно с НИИ космического приборостроения и ОКБ МЭИ), при разработке систем контроля автоматизированных систем дефектоскопии (НИИ Интроскопии МНПО «Спектр»), для восстановления архивных фотоснимков (НИЦ технической документации СССР), для анализа видеоданных, формируемых капилляроскопом (ЗАО Центр «Анализ веществ»);

- результаты исследований использовались при проведении работ по темам, выполнявшимся по правительственным программам, распоряжениям Президиума Академии наук, договорам с отечественными и зарубежными организациями, в частности с компаниями L.H. Conceil Optronic (France) – разработка алгоритмов и программ согласования и коррекции изображений в реальном времени для видеокамеры кругового обзора, Samsung Advanced Institute of Technology (Republic of Korea) – разработка алгоритмов цвето-текстурной сегментации изображений, MicroSpec Technologies Ltd. (Carl Zeiss Group) – разработка

комплекса алгоритмов и программ анализа снимков поверхности микросхем, получаемых электронными и оптическими микроскопами. Кроме того научные положения, результаты и выводы диссертации использовались в АО «Российские космические системы», в ЗАО «Центр Анализ Веществ» и ООО «Визиллект Сервис».

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

- достоверность результатов диссертационной работы обеспечивается корректностью проведенных теоретических и экспериментальных исследований, результатами компьютерного моделирования и практических экспериментов, проверяющих теоретические положения, а также подтверждается эффективностью использования разработанных моделей, методов и алгоритмов при решении ряда важных научно-технических задач;

- методы исследований базируются на использовании теории обработки непрерывных и дискретных сигналов и изображений, математической статистики и теории статистических решений, теории информации, цифрового моделирования, экспертного оценивания, двумерных вариаций;

- установлено качественное и количественное совпадение теоретических предположений и экспериментальных результатов;

- эффективность и достоверность разработанных моделей, методов и алгоритмов убедительно продемонстрированы их применением для решения ряда важных научно-технических задач:

- задачи обнаружения дефектов на поверхности электронных микросхем по снимкам, формируемым оптическим или электронным микроскопом;

- задачи сегментации изображений электронных микросхем на основе обнаружения и прослеживания границ сложного вида;

- задачи цвето-текстурной сегментации изображений на основе анализа расстояния в пространстве признаков и построения иерархического алгоритма.

- задачи автоматического анализа и извлечения информации из видеоданных, получаемых компьютерным капилляроскопом.

Личный вклад соискателя: научные положения и результаты, составляющие основное содержание диссертации, получены автором лично.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследования, непротиворечивой методологической платформы, основной идейной линии, концептуальности и взаимосвязи выводов. По своему содержанию диссертация отвечает паспорту специальности 05.13.18 — «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» по следующим пунктам паспорта специальности: 1 (разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений), 3 (разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий), 4 (реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента), 5 (комплексные исследования научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента), 6 (разработка новых математических методов и алгоритмов проверки адекватности математических моделей объектов на основе данных натурального эксперимента).

Диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация Чочиа Павла Антоновича «Теория и методы обработки видеоинформации на основе двухмасштабной модели изображения» представляет собой научно-квалификационную работу, в которой решена научная проблема построения теории обработки видеоинформации на основе двухмасштабной модели изображения и разработки на ее основе новых эффективных численных методов и алгоритмов обработки и анализа изображений, имеющая важное теоретическое и прикладное значение. На основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в теории анализа и обработки видеоинформации.

По актуальности, новизне, практической значимости диссертация соответствует требованиям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук.

На заседании 19 сентября 2016 года диссертационный совет Д 002.077.05 принял решение присудить Чочиа Павлу Антоновичу ученую степень доктора технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 30 человек, из них 6 докторов наук по специальности и отрасли наук рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 35 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени – 28, против присуждения учёной степени – 0, недействительных бюллетеней – 2.

Председатель

диссертационного совета Д 002.077.05

Кулешов А.П.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 002.077.05

Цитович И.И.

19 сентября 2016 г.