

О Т З Ы В

официального оппонента доктора технических наук, профессора Пяткина Валерия Павловича на диссертационную работу **“Теория и методы обработки видеoinформации на основе двухмасштабной модели изображения”**, представленную **Чочиа Павлом Антоновичем** на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Актуальность темы. Диссертационная работа П.А. Чочиа посвящена теории и методам обработки видеoinформации (ВИ). ВИ (изображение, последовательность изображений) — важнейшее средство получения исходных данных о наблюдаемой сцене. Число областей, в которых ВИ выступает как основной вид исходных данных, огромно (системы технического зрения, космического мониторинга, видеотелефонии, медицина, Интернет, и многие другие направления). При этом весьма существенную роль продолжают играть цифровые методы обработки ВИ. Само изображение — это окно в мир моделей и в сам процесс моделирования на ЭВМ. Вот почему, все результаты, полученные диссертантом в этой области, были востребованы временем, самой наукой, приложениями в промышленности.

Основные научные результаты диссертации получены при выполнении работ в Институте проблем передачи информации РАН. Разработанные методы и программные комплексы применялись для обработки снимков поверхности планет, переданных отечественными 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); для обработки данных, получаемых системами наблюдения поверхности Земли (АО «Российские космические системы»); при разработке систем автоматического контроля и диагностики 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 проведенных исследований использовались при выполнении работ по темам, выполнявшимся по правительственным программам, распоряжениям Президиума Академии наук, договорам с зарубежными компаниями и отечественными организациями. **Тема диссертационной работы П.А. Чочиа, безусловно, актуальна.**

Научная новизна исследований. Автором диссертации получен ряд новых научных результатов. Основной научный результат диссертации, определяющий научную новизну и значимость исследований, безусловно, связан с разработкой двухмасштабной многокомпонентной модели изображения (**Глава 1**), на основе которой диссертантом получены новые эффективные методы и алгоритмы обработки и анализа ВИ. Диссертант проанализировал предложенные ранее многие модели цифрового изображения и отметил их общий недостаток, что они не универсальны по величине области анализа. Дело в том, что статистические характеристики областей малых и больших размеров (масштабов) существенно различаются. Так модели малого масштаба (в пределах нескольких элементов) не могут описать свойства протяженных областей, и наоборот, модели большого

масштаба не в состоянии учесть особенности контурных участков изображения. Заслуга диссертанта состоит в том, что ему удалось построить двухмасштабную модель, адекватно описывающую свойства изображений на протяжении как малых, так и больших областей анализа.

Также важным свойством построенной диссертантом модели является её многокомпонентность, когда сигнал изображения представляется комбинацией участков аналитически задаваемых поверхностей и случайных текстурной, детальной и шумовой компонент. Статистический подход принципиально важен, скажем, для систем дистанционного зондирования. Благодаря случайному характеру природных процессов данные дистанционных измерений содержат много случайных вариаций, маскирующих характерные различия между интересующими нас классами. Статистический анализ позволяет учесть эти вариации и потенциально уменьшить их отрицательное влияние на точность классификации.

Спектр научных и практических задач цифровой обработки изображений, при решении которых диссертант использовал предложенную им модель, впечатляет. Прежде всего, это классическая задача цифровой обработки изображений — выделение (обнаружение) контуров. Контурные точки — наиболее информативная составляющая любых изображений. В своё время были предложения использовать это обстоятельство для создания систем быстрой передачи изображений по каналам связи и систем их компактного хранения в базах данных.

Диссертантом построена вероятностная модель двумерного контурного изображения, которая базируется на простой аксиоматике задания свойств границ объектов и имеет всего три параметра: вероятность появления контурной линии и вероятности возникновения двух видов узловых точек из трех принципиально возможных. Разработан алгоритм моделирования источника, порождающего дискретные контурные изображения с задаваемыми вероятностными характеристиками.

Отмечу здесь ещё один научный результат диссертанта, связанный с оценкой сложности изображений. Дана интерпретация сложности изображения как характеристики, отражающей число, размеры и заметность деталей на изображении. Исследована возможность оценивания сложности изображения на основе использования аппарата двумерных вариаций. Показана редукция многомерных вариаций непрерывных функций к двумерным дискретным функциям. Проанализированы изменения значений двумерных вариаций при различных преобразованиях изображения. Теоретические выводы подтверждены экспериментально. Исследовано влияние шума и геометрических преобразований изображения на оценку его сложности.

Диссертантом исследована задача сглаживания изображения при условии сохранения контурных перепадов (Глава 2). Показано, что в рамках разработанной двухмасштабной многокомпонентной модели эта задача соответствует разделению изображения на различные информационные компоненты. В частности, разработаны метод и алгоритм декомпозиции изображения на две различные информационные составляющие: кусочно-гладкую компоненту, несущую информацию о яркостях протяженных областей и границах между ними, и текстурно-детальную компоненту, содержащую мелкие детали, текстуру и шум. Показаны возможности применения алгоритма декомпозиции для сглаживания цветных и многоканальных изображений.

Отмечу ещё один **важный научный результат**: — на основе двухмасштабной многокомпонентной модели и метода декомпозиции, позволяющего разделять изображение на компоненты с различным информационным содержанием, предлагается новый подход к анализу и обработке изображений. Суть его в том, что для анализа следует выбирать лишь ту компоненту изображения, в которой должна содержаться искомая информация. При обработке возможно применение преобразований, характерных для каждой из полученных компонент. Кстати, это утверждение о том, что эффективным подходом к обработке и анализу изображения является предварительная его декомпозиция на различные информационные компоненты и последующее применение специфических преобразований к каждой из полученных компонент, иллюстрируется результатами ряда исследований, проведённых диссертантом (**Главы 3, 4 и 5**).

Так в **Главе 3** проведены исследования методов фильтрации, коррекции и улучшения изображений, разработанных на основе двухмасштабной многокомпонентной модели. Предложены новые алгоритмы фильтрации, а также способы автоматического определения необходимых параметров для существующих методов. Показано, что постулатов локальной модели, предполагающей использование лишь ограниченной области анализа изображения, в ряде случаев достаточно для построения не только локальных, но и глобальных методов его обработки. Разработан алгоритм автоматической градационной коррекции изображений, обеспечивающий выравнивание функции локальных контрастов. Исследована задача улучшения изображения усилением локальных контрастов. На основе многокомпонентной модели изображения сформулирована **обобщенная формула** для большинства используемых методов. Согласно обобщенной формуле сигнал изображения разделяется на сглаженную и разностную составляющие. Предложена модификация алгоритмов повышения локальных контрастов путем использования компонент, формируемых при помощи модифицированного алгоритма декомпозиции изображения.

Показано (**Глава 4**), что двухмасштабная многокомпонентная модель и процедура декомпозиции изображения являются подходящим фундаментом для построения ряда алгоритмов анализа ВИ, в числе которых: обнаружение объектов, дефектов, контуров, различий на изображениях и другие. На основе многокомпонентной модели и методе декомпозиции предложен новый подход и разработаны алгоритмы решения задачи обнаружения объектов на изображении по их площади, в которой рассмотрены три возможных варианта: обнаружения объектов с площадью меньше задаваемого порога, больше порога и с площадью в задаваемом интервале. Введено понятие «локальной площади», позволяющее обнаруживать тонкие протяженные объекты. Предложен новый подход к процедуре нахождения границ объектов как участков с перепадами яркостей, состоящий в том, что контурные перепады следует обнаруживать не непосредственно по исходному изображению, а по предварительно сглаженной компоненте, формируемой в результате операции декомпозиции. Это позволяет с одной стороны повысить слитность контурных линий и обеспечить меньшую их толщину, а с другой — значительно снизить количество ошибок первого и второго рода, вызываемых шумом и текстурой.

В диссертации (**Глава 5**) исследовано также применение модели и разработанных методов обработки ВИ для решения ещё одной важной

классической задачи цифровой обработки изображений — проблемы сегментации изображений. Рассмотрены два различных подхода, обусловленные принципиальными различиями исходных данных и критериев разделения областей (см. раздел отзыва **Практическая значимость полученных результатов**). Важно отметить, что во всех проведённых исследованиях предложенная диссертантом модель показала её соответствие реальной ВИ.

Следует отметить, что научная новизна и актуальность результатов исследований диссертанта (на период их разработки и опубликования) не подлежат сомнению. На каждом этапе научная новизна исследований по каждой из решаемых задач соответствовала требованиям времени. Здесь обратил бы внимание на ещё один факт. Разработанные диссертантом методы и программные комплексы применялись для обработки совершенно уникальных снимков поверхности планеты Венера, переданных отечественными автоматическими межпланетными станциями «Венера-9, -10; -13, -14; -15, -16». Одним из пионеров их обработки и анализа был П.А. Чочиа (см. Приложение 1). Убеждён в том, что результаты этих исследований будут востребованы и использованы при подготовке миссии новой российской станции «Венера-Д» (запуск планируется в 2025 году), предназначенной для изучения Венеры. Новизна полученных диссертантом научных результатов подтверждается также публикациями по теме диссертации в ведущих научно-технических журналах, докладами на конференциях и симпозиумах, в том числе международных.

Практическая значимость полученных результатов. Большим достоинством рассматриваемой диссертации является её практическая направленность. Решен ряд важных, практических научно-технических задач. Одна из них — обнаружение широкого класса дефектов на поверхности электронных микросхем по снимкам, формируемым оптическим или сканирующим электронным микроскопом высокого разрешения (Глава 4, Приложение 2). В разработанной для обнаружения дефектов последовательности операций использованы алгоритмы совмещения и обработки изображений, построенные на основе предложенной двухмасштабной многокомпонентной модели изображения. Проверка алгоритма на серии из 464 тестовых снимков показала его полное соответствие предъявляемым требованиям в 92% и частичное – в 6,25% случаев.

Исследована также научно-техническая задача сегментации снимков поверхности электронных микросхем, формируемых сканирующим электронным микроскопом. Разработан алгоритм, основанный на декомпозиции и обнаружении объектов, позволяющий привести разные типы границ к одному виду. Результатом является символическое описание, т.е. разбиение изображения на связные области, в которых каждому из элементов сегмента приписан один и тот же индекс. Тестирование алгоритма показало, что результаты сегментации удовлетворяют требуемым критериям точности разделения объектов в 98,3% случаев.

Здесь же исследована задача цвето-текстурной сегментации изображений общего вида, в которой изображение должно разбиваться на однородные области, отличающиеся от соседствующих по своим яркостным, цветовым и/или текстурным характеристикам. В качестве критерия однородности или различия элементов и областей изображения выбрано расстояние между их образами в пространстве признаков. На основе анализа расстояний в пространстве признаков разработан иерархический пирамидальный алгоритм сегментации изображений,

использующий как признаки для отдельных точек, так и суммарные признаки для формируемых пространственных кластеров. Предложенный иерархический подход и разработанный алгоритм показали эффективность и приемлемые результаты на подавляющем большинстве доступных изображений. Разработанный алгоритм допускает модификации путем применения различных цветовых, текстурных или обобщенных признаков и метрик. Необходимо только выбрать адекватный набор признаков и метрику, а также подобрать соответствующие параметры.

Диссертантом решена ещё одна важная научно-техническая задача автоматического анализа и извлечения необходимой информации из видеопоследовательностей, формируемых компьютерным капилляроскопом (Глава 6). Предложенный диссертантом алгоритм позволяет в результате определять ряд статических и динамических параметров капиллярного кровотока. Экспериментальный анализ показал, что вероятность правильного обнаружения мажоритарного капилляра, проведения контурных линий и определения скорости кровотока составляет около 87%.

К практически значимому результату я бы отнёс исследование особенности перехода от двумерных (2D-) изображений к трехмерным (объемным, 3D-) изображениям (Глава 7). Осуществлено расширение двухмасштабной многокомпонентной модели изображения в применении к трехмерной ВИ. На примере преобразования Фурье проиллюстрирована общая схема модификации алгоритмов частотной фильтрации при переходе в 3D.

Отмечу также разработку **параллельного алгоритма** вычисления гистограммы и порядковых статистик по скользящему фрагменту для двумерных и трехмерных изображений. Предложена схема его реализации на основе группы процессоров с простыми арифметико-логическими операциями.

Особо отмечу, что все научные подходы, алгоритмы и методы, предложенные в диссертации, реализованы в виде конкретной специализированной системы обработки изображений «IRBIS» и внедрены в ряде организациях страны, что подтверждается соответствующими документами. Два факта, подтверждающих значимость этой разработки, хотел бы подчеркнуть. Во-первых, разработанный автором программный комплекс «IRBIS» на Международной выставке компьютерных и информационных технологий CeBit (г. Ганновер, Германия) в 1992 г. был признан Национальным номинантом на Гран-при «Golden Softies» в области инноваций и разработки программного обеспечения в Европе (Приложение 3). Во-вторых, этот комплекс (частично или полностью) используется в настоящее время в практической работе, как в Институте проблем передачи информации РАН, так и в организациях, в которых внедрены результаты диссертанта, например, насколько мне известно, в программном комплексе PlanetaMonitoring ФГБУ «НИЦ «Планета» Роскомгидромета. Хотел бы обратить внимание на очень большой общий объём работы, проделанной диссертантом.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов.

Предложенные в диссертации методы и алгоритмы обработки ВИ строго обоснованы математически. Научные положения и выводы представленной работы подтверждаются также проведенными теоретическими исследованиями, результатами моделирования на тестовых и реальных данных. Обоснованность и достоверность полученных автором результатов подтверждается и их использованием при решении ряда прикладных задач в рамках проведенных НИР с

рядом предприятий конкретных ведомств (см. **Приложения** и разделы отзыва: **Актуальность темы** и **Практическая значимость полученных результатов**), а также стабильным спросом потребителей на выходную информационную продукцию, создаваемую с помощью разработанных диссертантом алгоритмов, методов и технологий.

Рекомендации по использованию результатов диссертации. Результаты диссертации целесообразно использовать в научно-исследовательских институтах Академии наук России и организациях различных ведомств, связанных с использованием, проектированием и разработкой систем обработки и анализа ВИ. Материал диссертации может быть использован также в учебном процессе при подготовке специалистов по специальностям: прикладная математика, аэрокосмические исследования природных ресурсов, и др. Результаты диссертации представляют большой практический интерес и могут быть использованы в ИВМиМГ СО РАН, ИЯФ СО РАН, ИАиЭ СО РАН, ФГБУ «НИЦ «Планета», ИПФ РАН, ИПМ им. Келдыша, МГУ им. Ломоносова и других.

В связи со сказанным выше в качестве еще одной рекомендации настоятельно советую диссертанту по материалам данной диссертационной работы написать и опубликовать монографию.

Замечания по работе.

1. 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.

2. 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.

3. 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.

Общее заключение. Сделанные замечания не влияют на общую положительную оценку рассматриваемой диссертационной работы. Оценивая работу в целом, отмечу, что диссертационная работа Чочиа Павла Антоновича **“Теория и методы обработки видеoinформации на основе двухмасштабной модели изображения”** выполнена на достаточно высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу. Все основные результаты являются новыми, строго обоснованными и в совокупности представляют собой весомый вклад диссертанта в развитие большого научного направления, имеющего важное фундаментальное и прикладное значение — разработка и создание систем моделирования и анализа цифровой видеoinформации.

Тематика диссертации охватывает решение как фундаментальных проблем математического моделирования и численных методов в области цифровой обработки видеoinформации, так и их реализации в виде комплекса программ при решении ряда важных прикладных задач. Результаты диссертации П.А. Чочиа в целом можно квалифицировать как новое и весомое научное достижение в теории цифровой обработки и анализа видеoinформации.

Диссертация хорошо оформлена. Результаты диссертации опубликованы в научной печати (по теме диссертации — 63 публикации, большинство, из которых представлены в рецензируемых и рекомендованных ВАК РФ изданиях). Они хорошо известны специалистам и прошли достаточную апробацию. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Принимая во внимание актуальность темы диссертации, научную новизну и практическую значимость ее результатов, считаю, что диссертация **“Теория и методы обработки видеoinформации на основе двухмасштабной модели изображения”** удовлетворяет всем необходимым требованиям и критериям, предъявляемым к докторским диссертациям “Положением о присуждении ученых степеней” от 24 сентября 2013г. № 842, а её автор, **Чочиа Павел Антонович**, безусловно, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.18 — математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент
д.т.н., профессор

В.П. Пяткин
01.03.2016

Пяткин Валерий Павлович.

Адрес: 630090, Новосибирск, проспект ак. Лаврентьева 6

E-mail: pvp@ooi.sccc.ru

Телефон: (8383)330-73-32

Сайт: <http://www.sccc.ru>

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук (ИВМиМГ СО РАН).

Заведующий лабораторией обработки изображений.

Докторская диссертация оппонента защищена по двум специальностям: 05.13.18 — математическое моделирование, численные методы и комплексы программ; 05.13.11 — математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей.

Достоверность подписи В.П. Пяткина подтверждаю.

Ученый секретарь ИВМиМГ СО РАН,

к.ф.-м.н.

М.А. Марченко

«01» марта 2016 г.

