

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертационной работе Чочиа Павла Антоновича «Теория и методы обработки видеoinформации на основе двухмасштабной модели изображения», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

1. Оценка актуальности темы диссертационной работы

Проблема цифровой обработки видеoinформации находится в фокусе внимания исследователей на протяжении нескольких десятилетий. Несмотря на огромное многообразие современных путей применения компьютера для обработки изображений, существующие методы в основном используют разбиение всего изображения на совокупность обычно пересекающихся ограниченных областей с последующим анализом изображения в каждой отдельной области и комбинированием локальных результатов. Понятно, что анализ областей существенно зависит от их размеров.

Целью диссертационной работы Чочиа П.А. является систематическое изучение проблемы выбора размеров локальных областей на предъявленном изображении, выбора классов их моделей, и совместного использования результатов локального анализа в областях нескольких разных размеров. Диссертация ориентирована на разработку эффективных методов и алгоритмов обработки и анализа видеoinформации на основе совершенствования существующей методологии построения моделей цифрового изображения. Ключевым моментом предлагаемой расширенной методологии является обеспечение возможности комбинировать свойства изображения в ограниченных областях нескольких разных масштабов.

Содержание рецензируемого диссертационного исследования определяется пятью проблемными ситуациями, выделенными автором в рамках изложенной выше общей цели исследования.

Первая проблемная ситуация заключается в том, что разным по размеру областям изображения адекватны существенно разные требования к моделям их описания. Характеристики областей малых и больших размеров существенно различаются хотя бы потому, что изображение в целом есть совокупность протяженных областей с малыми изменениями яркости, разделенных контурными границами. Существующие модели специфичны к размеру области анализа. Модели малого масштаба не могут описать свойства протяженных областей, и наоборот, модели большого масштаба не в состоянии учесть особенности контурных участков изображения. Актуально создание математической модели, адекватно описывающей свойства изобра-

жений на протяжении как малых, так и больших областей анализа, которая бы позволила повысить точность представления данных.

Вторая проблемная ситуация порождается известным представлением изображения как аддитивной совокупности нескольких компонент – кусочно-гладкой скалярной функции яркости с разрывами на неизвестных, но объективно существующих границах между областями (либо нескольких таких функций в случае цветного изображения), текстурной компоненты, вообще говоря, разной в разных областях, малоразмерных отдельных нарушений, соответствующих мелким объектам, и случайного шума. Возникает проблема разделения этих компонент изображения, обычно называемая в существующей литературе проблемой сглаживания. Однако известные методы сглаживания, неизбежно являющиеся нелинейными, во-первых, предполагают небольшой размер области анализа, и, во-вторых, не обеспечивают требуемой точности разделения компонент изображения. Необходима адаптация нелинейных методов локального оценивания данных для разработки методологии декомпозиции изображения на компоненты с различным информационным содержанием, которая была бы универсальна относительно размера области анализа. Разумеется, остается актуальной и быстрая численная реализация алгоритмов декомпозиции.

Третья проблемная ситуация порождена тем обстоятельством, что модели как областей, так и совокупности аддитивных компонент изображения, как правило содержат некоторый параметр модели, отвечающий за «глубину» обработки. Чем больше значение этого параметра, тем «проще» результирующее изображение, получающееся в результате обработки, в том смысле, что оно содержит все меньше и меньше «несущественных» деталей. Естественным критерием останова при увеличении такого параметра является прекращение уменьшения «сложности» изображения, но для этого надо уметь численно оценивать эту сложность. Известны оценки сложности для сигналов, функций и потока сообщений, и актуальна проблема разработки таких критериев для изображений.

Четвертая проблемная ситуация непосредственно вытекает из первых трех и порождена необходимостью решения практических задач. Чрезвычайно важно вырабатывать пути использования созданных локальных моделей областей изображения, методов декомпозиции изображений и методов выбора уровня сложности результата обработки для решения типовых задач обработки изображений. В диссертации рассмотрены следующие классы таких задач:

- фильтрация помех, в частности, импульсных и периодических;
- автоматическая градиентная коррекция изображений;
- улучшение изображений (image enhancement);
- обнаружение объектов и локальных различий двух изображений;
- корреляционное совмещение квазирегулярных изображений.

Неотъемлемым аспектом этой проблемы является быстродействующая численная реализация создаваемых методов.

Наконец, диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук должна содержать убедительные примеры актуальности и работоспособности предложенной методологии для инженерной практики. Поэтому в настоящем отзыве иллюстрация разработанных моделей и методов в ходе решения конкретных практических задач рассматривается как **пятая фундаментальная проблема**, решаемая в диссертации.

2. Содержание работы

Во введении дан краткий анализ известных публикаций, посвященных вопросам обработки и анализа видеоинформации, обосновывающий цели диссертационного исследования. В первой главе построены и изучены математические модели изображения. Во второй главе исследована проблема сглаживания и декомпозиции изображений. В третьей главе разработаны и исследованы методы и алгоритмы фильтрации, коррекции и улучшения изображений на основе двухмасштабной многокомпонентной модели. В четвертой главе двухмасштабная многокомпонентная модель изображения использована для построения алгоритмов анализа видеоинформации. Построенные алгоритмы применены при решении прикладной задачи обнаружения дефектов на снимках электронных микросхем. В пятой главе исследована проблема сегментации изображений. Полученные результаты послужили инструментальной основой решения прикладных задач сегментации снимков электронных микросхем и яркостно-цвето-текстурной сегментации изображений общего вида. Шестая глава целиком посвящена прикладной задаче автоматического анализа видеопоследовательностей, получаемых компьютерным капилляроскопом, и определения параметров капиллярного кровотока. В седьмой главе исследованы пути модификации моделей, численных методов и алгоритмов обработки для трехмерных изображений.

Каждый раздел диссертации заканчивается краткими выводами, а общие теоретические и практические результаты сформулированы в заключении. Диссертация написана хорошим научным языком, легко читается.

3. Научная новизна

В диссертации получен ряд научных результатов, являющихся новыми на период проведения исследований и опубликования.

Для разрешения **первой проблемной ситуации**, сформулированной в первом разделе отзыва, в диссертации выдвинуты следующие научные положения.

Показано, что для целей практики достаточно ограничиться двумя уровнями масштаба области анализа изображения. В связи с этим принципиальным решением в диссертации разработана новая двухмасштабная многокомпонентная математиче-

ская модель изображения, описывающая его свойства в пределах локальных областей анализа малого и большого масштабов, отличающаяся представлением сигнала изображения комбинацией участков аналитически задаваемых поверхностей и случайных текстурной, детальной и шумовой компонент. Разработанная модель позволила существенно повысить точность представления данных.

Построена оригинальная вероятностная модель контурного изображения, отличающаяся аксиоматикой задания свойств границ объектов. Разработан алгоритм источника изображений, позволяющий моделировать контурные изображения с задаваемыми вероятностными характеристиками.

Для разрешения **второй проблемной ситуации** разработаны новые метод и алгоритм декомпозиции изображения на компоненты с различным информационным содержанием согласно модели изображения – кусочно-гладкую компоненту, несущую информацию о протяженных объектах и резких границах между ними, и текстурно-детальную компоненту, содержащую малоразмерные детали, текстуру и шум. Для декомпозиции изображения предложено использовать метод Парзеневского окна, принадлежащий к непараметрическим методам классификации. Основная идея заключается в применении Парзеневского метода сначала к области анализа малого масштаба, а затем – большого масштаба.

Экспериментально показано, что разработанный метод декомпозиции обеспечивает более точное восстановление зашумленного сигнала по сравнению с другими известными методами сглаживания.

Для разрешения **третьей проблемной ситуации** в диссертации предложен метод оценивания сложности изображения, основанный на понятии вариаций функций двух переменных, известном в математической литературе как вариации А.С. Кронрода. На основе вариации такого типа впервые введены понятия показателей числа и размеров объектов на изображении. Исследовано изменение этих функций при типичных преобразованиях изображения – линейных амплитудных, масштабных, повороте, расширении области изображения. Исследовано также влияние шума на оценку сложности изображения.

В качестве результатов разрешения **четвертой проблемной ситуации** в диссертации с единых позиций построен комплекс новых алгоритмов обработки изображений, в совокупности представляющий собой отдельный фундаментальный результат диссертации:

- ранговый алгоритм фильтрации импульсных помех с динамическим определением порога;
- алгоритм автоматического формирования маски фильтра для частотной фильтрации периодических помех;

- алгоритм анализа и устранения периодических помех вдоль развертки изображения;
- алгоритм яркостно-цвето-текстурной сегментации изображений общего вида на основе метрического анализа областей изображения;
- метод автоматической градационной коррекции изображений на основе введенного в диссертации понятия функции локальных контрастов;
- методы улучшения изображений усилением локальных контрастов;
- новые алгоритмы обнаружения объектов по площади и нахождения различий анализируемых изображений;
- новые алгоритмы быстрого корреляционного совмещения изображений.

Наконец, совокупность решенных прикладных задач обработки и анализа изображений следует рассматривать как еще один **явный фундаментальный результат** диссертации, представленной на соискание ученой степени доктора технических наук.

Начнем с упомянутой чуть выше задачи яркостно-цвето-текстурной сегментации изображений общего вида, о которой шла речь чуть выше. Эта задача целиком и полностью была сформулирована и решена по заказу компании Самсунг.

Далее в диссертации рассмотрены две задачи анализа микроснимков поверхности электронных микросхем, решенные по заказу компании MicroSpec Technology, входившей в свое время в состав Carl Zeiss Group.

На самом деле это две отдельные задачи – обнаружения дефектов микросхем и сегментации снимков с целью распознавания объектов на них. Решение обеих из этих задач принципиально основано, прежде всего, на двухмасштабной многокомпонентной математической модели изображения, являющейся одним из фундаментальных результатов диссертации. Разработанные алгоритмы используют предложенные в диссертации методы декомпозиции изображения и быстрого корреляционного совмещения пар изображений.

Еще одна прикладная задача, решенная автором диссертации, это задача анализа видеопоследовательностей, формируемых компьютерным капилляроскопом. Эта задача явилась результатом сотрудничества с российской компанией «Центр Анализ Веществ». Целью анализа является измерение скорости кровотока по данным компьютерной капилляроскопии. Решение задачи существенно базируется на идее и алгоритмах, во-первых, корреляционного совмещения изображений, во-вторых, автоматической градационной коррекции изображения и, в третьих, фильтрации периодических помех.

Следует заметить, что хотя чрезвычайно актуальные проблемы анализа видеопоследовательностей и трехмерных изображений не являлись предметом специ-

ального исследования в настоящей диссертации, решение целого ряда прикладных задач, в частности, последней прикладной задачи компьютерной капилляроскопии, требует некоторой адаптации методов, разработанных в диссертации для неподвижных двумерных изображений. Результат такой адаптации демонстрирует возможные пути обобщения положений диссертации на класс задач анализа видеопоследовательностей и трехмерных изображений, указывая методологию дальнейших исследований.

4. Достоверность и практическая ценность полученных научных результатов

Все основные положения, выносимые на защиту, являются обоснованными. Это подтверждается подробными сравнениями предложенного подхода и получаемых решений с известными. Многочисленные примеры и проведенные численные эксперименты подтверждают эффективность авторского подхода и убедительно иллюстрируют основные результаты и выводы диссертационной работы. Практическая ценность подтверждается результатами решения прикладных задач.

5. Замечания по диссертации

1. В главе 1 предложена оценка визуальной контрастности изображения, но не приведено ее достаточное исследование и нет использования данной оценки в дальнейшем.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

6. Заключительная оценка

Указанные недостатки не снижают научной и практической ценности работы. Тема диссертационной работы Чочиа П.А. «Теория и методы обработки видеoinформации на основе двухмасштабной модели изображения», безусловно, актуальна. В целом, работа написана убедительно. Основные результаты диссертации опубли-

кованы в ведущих научных журналах. Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации.

Диссертационная работа является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны новые математические методы моделирования объектов, с применением современных вычислительных технологий разработаны и исследованы эффективные численные методы и алгоритмы, которые реализованы в виде проблемно-ориентированного программного комплекса. В работе содержатся новые научные результаты, представляющие существенный вклад в науку и имеющие важное практическое значение. В целом результаты диссертации можно квалифицировать как новое крупное научное достижение в теории обработки и анализа видеoinформации.

Считаю, что диссертационная работа полностью отвечает требованиям, предъявляемым ВАК к докторским диссертациям, соответствует специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», а ее автор, Чочиа П.А., заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук.

Официальный оппонент

доктор технических наук, профессор,

ведущий научный сотрудник Федерального исследовательского центра
«Информатика и управление» РАН (Вычислительный центр РАН)

Почтовый адрес: Москва, 119333, ВЦ РАН, ул. Вавилова, д.40.

Тел. (903) 659 0812, e-mail: vmottl@ccas.ru



В.В. Моттль

