

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора физико-математических наук, профессора Маликова Рамиля Фаруковича на диссертационную работу Арапова Сергея Юрьевича на тему «Математическое и алгоритмическое обеспечение информационной системы для контроля цвета искусственно окрашенных поверхностей», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации.

Актуальность темы исследования

Решение проблемы повышения конкурентоспособности потребительской продукции на мировом рынке требует постоянного совершенствования не только производственных процессов, но и систем контроля качества. Повседневный опыт убедительно доказывает, что при принятии решения о приобретении конкретной единицы продукции, потребитель во многом опирается на восприятие её внешнего вида, следовательно, внешний вид продукции является неотъемлемой составляющей понятия «качество продукции». В диссертационной работе С. Ю. Арапова рассмотрена проблема реконструкции спектра отражения и определения цвета фрагмента окрашенной поверхности по мультиспектральному изображению. Её решение позволяет реализовать обнаружение различных дефектов внешнего вида промышленных изделий в одной мультиспектральной информационной системе. Мультиспектральные системы хорошо зарекомендовали себя в задачах дистанционного зондирования, и в ближайшей перспективе можно рассматривать их использование в качестве средств диагностики и контроля в промышленности, поскольку элементная база для этих разработок с каждым годом становится доступней. Таким образом, исследования, ориентированные на промышленное применение методов обработки и анализа мультиспектральных изображений, представляют несомненный интерес и являются актуальными.

Научная новизна полученных результатов

В диссертационной работе получены следующие новые научные результаты:

- Разработано математическое и алгоритмическое обеспечение для реконструкции спектра отражения по мультиспектральному изображению, отличающееся от известного теоретической оценкой случайной погрешности результатов;
- Предложен новый тип фиксированных функциональных базисов для аппроксимации спектров отражения в задачах искусственного синтеза цвета, соответствующий характерному виду кривых спектров отражения;
- Проведено экспериментальное исследование по выявлению факторов, влияющих на точность реконструкции спектров отражения при работе с образцами, моделирующими промышленное получение окрашенных поверхностей.

Обоснованность и достоверность научных положений, сформулированных в диссертации

Обоснованность и достоверность полученных в диссертационной работе научных результатов, выводов и рекомендаций обеспечивается корректным применением математических методов, подтверждается проведёнными экспериментами и сопоставлением с результатами, представленными в работах других авторов. Результаты диссертации опубликованы в 20 научных работах, из них 5 статей опубликованы в рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ, включая 2 статьи в изданиях, индексируемых в международных цитатно-аналитических базах Scopus и Web of Science.

Практическая значимость результатов диссертации

Практическая значимость результатов диссертации заключается в разработке математического и алгоритмического обеспечения для реконструкции спектров отражения с теоретической оценкой погрешности создающего предпосылки для разработки метрологического обеспечения,

необходимого для практического использования мультиспектральных информационных систем в промышленности, а также в подтверждении возможности разработки высокоскоростных мультиспектральных информационных систем. Результаты диссертационного исследования используются в Уральском федеральном университете имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (Екатеринбург, Россия); в ПАО «Аскольд», (г. Арсеньев, Россия), в ООО «СК Графические системы» (г. Екатеринбург, Россия).

Оценка содержания диссертации и её оформления

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 136 наименований, содержит 93 рисунка и 13 таблиц. Основной текст работы составляет 176 страниц, приложения составляют 40 страниц. Общий объем 216 страниц.

В первой главе проведен анализ состояния разработок МИС в области репродуцирования изображений, в том числе: их элементной базы, технических решений, а также методов обработки мультиспектральных изображений, формирование которых описывается линейной моделью с учётом аддитивного шума. Приведена оценка вычислительной сложности существующих методов реконструкции спектров отражения и предложена соответствующая классификация. Показано, что высокие требования к скорости работы промышленных мультиспектральных информационных систем делают предпочтительными решения в виде линейного преобразования мультиспектральных данных. В заключении главы сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе описано разработанное математическое обеспечение для реконструкции спектров отражения в мультиспектральных информационных системах. Проведен анализ систем спектров отражения и рассмотрены варианты их аппроксимации для различных технологий получения искусственно окрашенных поверхностей. Предложен новый вариант сглаженных ступенчатых базисов. Показано, что после преобразования модели формирования данных в мультиспектральной системе с использованием

аппроксимации спектра отражения, его реконструкция может быть произведена линейным отображением. Использованное при этом неравенство Рао-Крамера позволило определить величину стандартного отклонения результатов. Также рассмотрены различные виды фотометрических искажений в мультиспектральных информационных системах и предложены варианты их компенсации.

Для применения разработанного математического обеспечения в промышленных мультиспектральных информационных системах предложен алгоритм, и дана оценка его вычислительной сложности. Показано, что асимптотическая оценка сложности прямо пропорциональна чёткости мультиспектрального изображения. Алгоритм реконструкции спектров отражения позволяет эффективно применять параллельные вычисления. Данный результат позволяет сделать обоснованный вывод о том, что разработанное математическое и алгоритмическое обеспечение может быть использовано в высокоскоростных мультиспектральных информационных системах.

В третьей главе описана экспериментальная мультиспектральная информационная система, разработанная с целью апробации математического и алгоритмического обеспечения. Представлена схема мультиспектральной информационной системы, рассмотрены её подсистемы, программное обеспечение, методики калибровки и проведения экспериментов. Анализ результатов пробной реконструкции спектров отражения экспериментальных объектов и уровня шумов показал, что формирование данных в мультиспектральной информационной системе удовлетворительно соответствует линейной модели с аддитивным шумом, подтверждена допустимость использования основных расчётных формул и корректность разработанного алгоритмического обеспечения.

В четвертой главе изложены и обобщены результаты экспериментальных исследований по выявлению факторов, влияющих на точность реконструкции спектров отражения при работе с образцами, моделировавшими промышленную продукцию. На основе полученных результатов сформулированы рекомендации по использованию разработанного

математического и алгоритмического обеспечения в мультиспектральных информационных системах.

В заключении представлены основные научные и практические результаты исследований, полученные в ходе выполнения диссертационной работы.

Замечания и вопросы по работе

1. Во втором из выносимых на защиту положений (стр. 7) указано, что «Предложенный тип базисов может быть эффективно использован для реконструкции СО искусственно окрашенных поверхностей в случае невозможности использования метода главных компонент». Однако, из предшествующего текста не ясно насколько часто возникают такие случаи и насколько они значимы при решении рассматриваемой задачи? Это можно было бы пояснить, например, при обосновании актуальности работы.
2. Во второй главе на стр. 54 указано: «По данным [108] у использованного в диссертационной работе спектрофотометра *i1Pro* для высоких значений спектрального коэффициента отражения ($\sim 0,9$) доверительный интервал локальных вариаций составляет $3\sigma_r = 0,00039$ ». Данный прибор описан в третьей главе, а говорится о нём во второй. Наверно следовало сначала ввести в рассмотрение этот прибор, написать о причинах и цели его использования.
3. На стр. 65 вводится базис типа «сглаженная ступенька» но не даётся чёткого определения этого типа. Несмотря на достаточно подробное и понятное описание принципов построения таких базисов без определения не ясно какие свойства базисных функций автор считает необходимыми для отнесения к вводимому типу?
4. В выводах по второй главе (стр. 126) сказано: «Формирование тоновых значений в получаемых МСИ хорошо описывается линейной моделью (3.4), что следует из линейности калибровочных зависимостей на диаграммах (рисунок 3.15, рисунок 3.16)». В данном утверждении характеристика «хорошо» не является строгой. В соответствующем разделе 3.5 диссертации также не содержится других оценок линейности МИС кроме визуальной по приведённым графикам. Поскольку линейность экспериментальной МИС

является одним из принципиальных результатов работы, следует привести какие-то количественные характеристики.

Высказанные замечания, однако, имеют дискуссионный характер и не снижают научной ценности работы.

Заключение по работе

Исследовательская работа изложена грамотным научно-техническим языком, в полной мере отвечает требованиям по актуальности, научной новизне, практической значимости, личному вкладу автора, отражению результатов в публикациях, а также полностью соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ. Автор диссертации, Арапов Сергей Юрьевич, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации.

Официальный оппонент

Доктор физико-математических наук, профессор,

Профессор кафедры информационных технологий

Института физики, математики, цифровых и нанотехнологий

ФГБОУ ВО «Башкирский государственный педагогический университет
им. М.Акумлы»

Тел.: +7 (347) 246-32-16

e-mail: rfmalikov@mail.ru

Адрес: 450008, Республика Башкортостан, г. Уфа,

ул. Октябрьской революции, 3-а



Маликов Рамиль Фарукович
05.05.22

Заверяю: Начальник отдела документационного обеспечения
ФГБОУ ВО «БГПУ им. М.Акумлы»