



УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по научной работе
ФНИИ «Кристаллография и фотоника» РАН

д.ф.-м.н. Волошин А.Э.

« 27 » марта 2019 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу

Ершова Егора Ивановича

**«Быстрое преобразование Хафа как инструмент анализа двумерных и
трехмерных изображений в задачах поиска прямых и линейной
кластеризации»,**

представленную на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук по специальности

05.13.17 – Теоретические основы информатики

Актуальность диссертационной работы

Представленная к защите диссертационная работа Ершова Е.И. посвящена построению алгоритмов быстрого преобразования Хафа (БПХ) для трехмерных изображений, исследованию свойств БПХ для дву- и трехмерных изображений и разработке методов обработки изображений на их основе.

Преобразование Хафа (дискретное преобразование Радона) – преобразование суммации пикселей изображения вдоль всевозможных прямых (для трехмерного изображения – прямых или плоскостей). Оно используется во многих алгоритмах анализа и обработки изображений, однако область его применений ограничивается вычислительной сложностью алгоритма. В настоящее время публикуется значительное число работ, предлагающих вычислительно эффективные аппроксимации преобразования Хафа, среди которых БПХ выделяется тем, что, во-первых, позволяет вычислять значения во всех точках Хаф-образа, и, во-вторых, использует при реализации только операцию сложения, что важно для достижения максимальной производительности на процессорных архитектурах с медленным умножением. Таким образом, тема и задачи диссертационной работы Ершова Е.И. «Быстрое преобразование Хафа как инструмент анализа

двумерных и трехмерных изображений в задачах поиска прямых и линейной кластеризации» актуальны и имеют практическое значение.

Структура и основное содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, 3 глав, заключения и приложения. Диссертация изложена на 118 страницах, содержит 24 рисунка и 1 таблицу. Список литературы состоит из 154 наименований.

Во введении приведена общая характеристика работы, обоснована актуальность выбранной темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследования, изложены положения, выносимые на защиту.

В главе 1 выполнен аналитический обзор литературы и представлены ранее известный алгоритм БПХ для двумерных и разработанные автором алгоритмы БПХ для трехмерных изображений для прямых и плоскостей. В аналитическом обзоре рассмотрены различные подходы к ускорению и повышению точности вычисления стандартного преобразования Хафа. Для алгоритмов БПХ показаны (для разработанных автором – впервые исследованы) их свойства: точность аппроксимации диадического паттерна, асимптотическая вычислительная сложность, размерность вычисляемого Хаф-образа, а для алгоритма БПХ по множеству прямых в трехмерном пространстве показано, что он имеет предельную асимптотическую сложность.

В главе 2 рассматривается задача поиска прямой на изображении с шумом путем вычисления классических М-оценок для ортогональной линейной регрессии. Предложены две группы методов детекции прямых на плоском изображении и на объемном для плоскостей и для прямых. Отдельную практическую ценность представляет из себя группа методов со свёрткой Хаф-образа, поскольку позволяет осуществлять быстрый подбор неизвестных параметров аддитивного шума. Для предложенных методов получены верхние оценки погрешности вычисления.

В главе 3 описан метод линейного разделения гистограмм, позволяющий быстро вычислять любой оптимизируемый функционал, выразимый через меры, заданные на области определения изображения. Для предложенного метода приведен способ апостериорного расчета точности вычисленного оптимального значения функционала.

Интересно заметить, что методы анализа гистограмм, предложенные во второй и третьей главах, демонстрируют наибольшую эффективность в случае работы с большими объемами данных, а именно, когда число наблюдений превышает число пикселей гистограммы.

В приложении к диссертации приведено подробное исследование свойств диадического паттерна.

Новизна исследования и полученных результатов

Автор четко сформулировал цель своей работы, которая заключается в создании алгоритмов БПХ для трёхмерных изображений, исследовании их свойств, а также разработке на их основе методов анализа двумерных и трёхмерных изображений и гистограмм.

В соответствии с поставленной целью корректно сформулированы задачи исследования, которые решены в результате проделанной работы:

1. Исследованы свойства диадического паттерна как дискретной модели прямой для двумерных и трёхмерных изображений.
2. Исследованы способы обобщения БПХ для трёхмерных изображений.
3. Разработаны и исследованы методы поиска прямых на двумерных, а также прямых и плоскостей на трёхмерных изображениях путём вычисления М-оценок в задаче ортогональной линейной регрессии (ОЛР) с помощью БПХ.
4. Разработаны и исследованы методы быстрой линейной бинарной кластеризации на основе БПХ для двумерных и трёхмерных изображений и гистограмм.

Диссертационная работа Ершова Е.И. обладает научной новизной, которая заключается в исследовании свойств диадических паттернов, аппроксимирующих прямые в быстром преобразовании Хафа, создании алгоритмов БПХ для трёхмерных изображений и методов приближенного вычисления М-оценок и линейной бинарной кластеризации:

1. Впервые получено теоретически обоснованное аналитическое (а не рекуррентное, как ранее) выражение для координат диадического паттерна; установлена зависимость оценки его ортогональной ошибки аппроксимации геометрической прямой от размера изображения, а также показано, что система ДП (набор паттернов, суммации по которым составляют БПХ) покрывает все пары пикселей изображения.
2. Впервые предложены алгоритмы БПХ для трёхмерных изображений, позволяющие производить быстрые вычисления сумм по всем дискретным диадическим прямым и плоскостям трёхмерного изображения; для первого асимптотическая сложность не может быть уменьшена.

3. Впервые предложен и исследован метод приближенного вычисления М-оценок с использованием БПХ в задаче ортогональной линейной регрессии для двумерных и трёхмерных изображений.
4. Впервые предложен и исследован метод линейной бинарной кластеризации с помощью БПХ для обобщённого метода глобальной бинаризации Оцу.

Значимость полученных результатов для науки и индустрии

Теоретическая значимость работы обусловлена тем, что ее результаты позволяют проектировать алгоритмы обработки изображений с известными свойствами, а также устанавливать точностные свойства уже известных алгоритмов.

Практическая значимость работы обусловлена возможностью применения алгоритмов, использующих быстрое преобразование Хафа, в промышленных системах обработки изображений. Так, предложенный метод детекции прямых используется в проекте компании ООО «Визиллект Сервис» по созданию беспилотного автобуса для детекции дорожной разметки, а предложенный метод линейной бинарной кластеризации используется в проекте по созданию визуального классификатора проезжающих транспортных средств для фильтрации ложных проездов путём кластеризации на гистограмме срабатываний детектора колёс, что подтверждено соответствующими актами.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и заключений, сформулированных в диссертации

Анализ материалов диссертации и публикаций автора свидетельствует о том, что аналитические результаты получены соискателем с использованием строгого математического аппарата, в частности теории вычислительной оптимизации, математической статистики и математического анализа. Достоверность полученных результатов подтверждена выполненными автором вычислительными экспериментами. Полученные диссертантом результаты согласуются с результатами, полученными другими исследователями.

Основные результаты работы докладывались на научных семинарах и 6 профильных международных конференциях, из которых одна – российская, а остальные – зарубежные, и опубликованы в 3 статьях в журналах из перечня ВАК, 1 из которых индексируется системой Web of Science.

Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертации

Из приведенного выше следует, что тема диссертационной работы актуальна, полученные результаты обладают необходимой новизной, налицо их теоретическая и практическая значимость. Сформулированные положения, выводы и заключения обоснованы и достоверны. Полученные результаты соответствуют поставленной цели.

Основное содержание диссертации, а также научные положения, выносимые на защиту, достаточно полно отражены в опубликованных работах. Диссертация соответствует специальности 05.13.17 - Теоретические основы информатики, поскольку посвящена разработке и исследованию алгоритмов анализа изображений, обнаружению и извлечению закономерностей.

Результаты работы могут быть рекомендованы к использованию в таких институтах как ИСОИ РАН, ИВМ РАН, ИПМ РАН, ИСП РАН, ВЦ РАН, ИПИ РАН, ИСА РАН, НИИСИ РАН, СПИИРАН и других организациях для создания алгоритмов обработки изображений и систем технического зрения, а также выступать в университетах СамГУ, МГТУ, МФТИ, МАИ, МИРЭА, МГУ, ВШЭ и других в качестве методического материала для курса по тематике анализа и обработки изображений.

К недостаткам по содержанию диссертации и автореферата

можно отнести следующее:

1. Как отмечено в диссертации, дискретное преобразование Радона может быть вычислено с использованием быстрого преобразование Фурье (БПФ), такой подход породил целую группу быстрых алгоритмов. Они изложены, к примеру, в книге В.Г. Лабунца «Алгебраическая теория сигналов и систем». Несмотря на это, в работе не рассмотрен вопрос связи между БПХ и дискретным преобразованием Радона, вычисляемым с помощью БПФ.
2. Во второй главе рассматривается и теоретически обосновывается задача поиска прямой на изображении. Однако вопрос одновременной детекции множества прямых в диссертации не рассмотрен.
3. Демонстрация работы метода быстрого линейного разделения гистограммы, изложенного в третьей главе, осуществляется на примере смеси двух гауссовских нормальных распределений, в

то время как конкретные примеры практического применения метода не рассмотрены.

4. В работе имеется незначительное количество опечаток, например:
 - a. стр. 53, раздел 2.3 в первом предложении содержится лишняя запятая;
 - b. стр. 69, формула (2.39), неверно поставлена точка;
 - c. стр. 69, на следующей строке после формулы (2.39) лишний пробел;
 - d. стр. 77 в предпоследней формуле, отсутствуют закрывающие скобки.

Заключение

Отмеченные недостатки не снижают теоретической и практической значимости выполненной Е.И. Ершовым работы. Полученные результаты соответствуют поставленной цели. Все результаты диссертации, вынесенные на защиту, получены автором самостоятельно. Постановка задач и обсуждение результатов проводились совместно с научным руководителем. Численные сравнения методов поиска прямых и теоретическое обоснование максимальной ортотропной ошибки аппроксимации диадическим паттерном производились совместно с соавторами публикаций, но эти результаты не являются основными и не выносятся на защиту. Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Основные результаты изложены в 3 статьях в журналах из перечня ВАК.

Диссертационная работа Ершова Е.И. «Быстрое преобразование Хафа как инструмент анализа двумерных и трехмерных изображений в задачах поиска прямых и линейной кластеризации» является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальных задач цифровой обработки изображений и имеющей значение как для области анализа изображения, так и для разработки технических систем компьютерного зрения. Представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям раздела II «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г., а её автор Ершов Егор Иванович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.17 – «Теоретические основы информатики».

Материалы диссертации, автореферат и отзыв обсуждались на Учёном совете ИСОИ РАН – филиала ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН «20» марта 2019 г., протокол №3.

Сведения о составителе отзыва:

Доктор технических наук,
заведующий лабораторией математических методов обработки изображений
Института систем обработки изображений РАН – филиала Федерального
государственного учреждения «Федеральный научно-исследовательский
центр «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук

 Сергеев Владислав Викторович

Телефон: +7 (846) 267-49-06

E-mail: mchi@geosamara.ru


Адрес организации:

Федеральное государственное учреждение «Федеральный научно-исследовательский центр «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук» (ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН).

Адрес: 119333, г. Москва, Ленинский пр., 59. Тел.: +7(499)135-63-11

Оф. сайт: <http://www.kif.ras.ru>, E-mail: office@crys.ras.ru

Подпись Сергеева В.В. заверяю.

Руководитель ИСОИ РАН – филиала ФНИЦ «Кристаллография и фотоника»
РАН  Казанский Н.Л.

