

ОТЗЫВ

официального оппонента

д.ф.-м.н. Визильтера Юрия Валентиновича

на диссертационную работу **Зубюка Андрея Владимировича**

«Морфологические методы идентификации объектов со случайно изменяющейся формой по их изображениям», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Диссертационная работа Зубюка А.В. посвящена решению задачи идентификации изображений в рамках морфологического анализа изображений. Данная задача относится к активно развивающейся в последние десятилетия области компьютерного зрения. Методы компьютерного зрения широко применяются на практике в системах безопасности, навигационных системах, при решении задач медицинской диагностики, дистанционного зондирования Земли и других подобных задач. При этом методы анализа изображений, используемые для обнаружения и распознавания объектов, могут быть условно разделены на две группы – методы на основе обучения (learning-based vision) и методы на основе моделей (model-based vision).

К первой группе относятся методы теории распознавания образов и машинного обучения, в том числе нейросетевые методы и глубокое обучение. Такие методы не требуют от разработчика погружения в предметную область, к которой относится решаемая прикладная задача, поскольку подстройка параметров решающих процедур под целевые классы происходит автоматически в процессе обучения на примерах. Однако отсутствие содержательной интерпретации параметров таких распознающих процедур делает невозможным полноценный контроль качества полученных

в результате обучения процедур для каждой конкретной прикладной задачи, не позволяет чётко обозначить границы их применимости и гарантировать качество их работы на изображениях, не вошедших в обучающую выборку или наперёд заданную тестовую выборку. В связи с этим для успешного обучения, например, глубоких нейронных сетей требуются сверхбольшие выборки, включающие сотни тысяч или даже миллионы примеров. Создание таких выборок на практике далеко не всегда является возможным.

Ко второй группе «модельных» методов можно отнести такие методы анализа изображений как преобразование Хафа и его обобщения, корреляционный анализ, методы математической морфологии Серра, скелетную морфологию Л.М. Местецкого, морфологический анализ Ю.П. Пытьева и ряд других. Общей чертой таких методов является ориентированность каждого из них на решение конкретной достаточно узкой задачи, обоснованное в рамках определённой модели порождения или регистрации изображений. Модельные методы не обладают той универсальностью, которой обладают методы машинного обучения. Однако в тех задачах, для решения которых они разработаны, демонстрируют сравнительно более высокое качество при существенно меньших объемах выборок (правда, с ростом объема выборок ситуация меняется на противоположную). Кроме того, методы второй группы зачастую оказываются гораздо менее затратными в вычислительном плане, что исключительно важно при создании практических систем машинного зрения. Указанные достоинства определяют актуальность их развития.

Одной из важнейших групп модельных методов являются методы морфологического анализа изображений Пытьева, позволяющие строить алгоритмы анализа изображений, инвариантные относительно изменений условий освещения и параметров регистрирующей аппаратуры. В основе морфологии Пытьева лежит понятие формы как максимального инварианта относительно некоторой группы преобразований изображений,

описывающих условия их регистрации. Однако существенным недостатком данной морфологии является неинвариантность моделей формы относительно возможных изменений геометрических характеристик наблюдаемых объектов. Попытка учёта изменений формы путем введения множества эталонных форм для одного класса объектов приводит к затратным в вычислительном плане переборным алгоритмам. В связи с этим тема диссертационного исследования А. В. Зубюка, посвящённого разработке и исследованию математических моделей, которые позволяют учесть случайные изменения геометрических форм объектов при анализе их изображений, является достаточно **актуальной**.

В работе автором получен ряд **новых и оригинальных результатов**.

В диссертации разработаны методы математического моделирования случайной формы изображения, которые впервые в морфологическом анализе изображений позволили учесть априорную информацию о допустимых вариациях геометрических форм изображённых объектов, задав на множестве форм изображений распределение вероятности или распределение возможности. Исследование задач идентификации объектов со случайной геометрической формой в рамках вероятностной и возможностной моделей как задач минимизации максимальной вероятности и возможности ошибки идентификации позволило разработать методы эмпирического построения оптимальных (в рамках выбранных моделей и рассматриваемых критериев) правил идентификации на основе обучающей выборки изображений объектов.

Определено понятие сравнительной близости форм изображений, на основе которого введена функция конкурентного сходства форм изображений. Показано, что данный подход может быть использован для оценки вероятности неправильного отнесения изображения к одной из форм изображений из заданного семейства методом ближайшего соседа.

Предложены методы сведения математических задач идентификации объектов со случайно изменяющейся формой по их изображениям к упрощённым конечномерным задачам оптимизации, на основе которых разработаны численные методы и алгоритмы поиска приближённых решений исходных задач идентификации и их программные реализации.

Разработан метод ускорения морфологических алгоритмов анализа изображений объектов с изменяющейся формой за счёт использования параллельных вычислений на видеокартах. Оценены предельные возможности метода с учётом параметров современных видеокарт.

Научная достоверность и обоснованность полученных результатов определяются корректностью математических доказательств, согласованностью выводов и данных. Разработанные численные методы приближённого решения задач идентификации объектов по изображениям, искажённым случайным аддитивным шумом, обоснованы теоретически с использованием известных результатов из линейной алгебры и неравенства Чебышёва для вероятности отклонения случайной величины от её математического ожидания. Разработанные методы поиска приближённых решений задач идентификации на основе обучающей выборки изображений обоснованы теоретически с использованием неравенства Хёфдинга для вероятности отклонения частоты события от его вероятности и леммы Бореля-Кантелли.

Практическая значимость работы определяется возможностью применения разработанных методов и алгоритмов, а также показателями качества идентификации и быстродействия, обоснованными в проведённых автором вычислительных экспериментах.

Автореферат достаточно полно и правильно отражает содержание диссертации. Тематика и содержание диссертационного исследования соответствуют паспорту специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»:

- проведена разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений, а именно – разработка новых методов математического моделирования форм для вероятностной и возможностной моделей изображений;

- выполнены разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий, а именно – сведение задач идентификации к конечномерным задачам оптимизации, для которых разработаны численные методы их решения; разработка и программная реализация алгоритмов поиска объектов со случайно изменяющейся геометрической формой с использованием параллельных вычислений на графических процессорах; тестирование разработанных методов и алгоритмов;

- осуществлена реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента, а именно – разработка программного комплекса, реализующего предложенные численные методы и алгоритмы обнаружения и идентификации объектов со случайной геометрической формой, включая реализацию алгоритмов поиска для высокопроизводительных видеокарт фирмы NVIDIA с использованием технологии CUDA.

Таким образом, в диссертации присутствуют оригинальные результаты одновременно из трех областей: математического моделирования, численных методов и комплексов программ.

В качестве **замечаний** по содержанию и оформлению данной работы можно указать следующие:

1. Не все используемые в работе обозначения являются традиционными. В частности, n -мерное евклидово пространство обозначается R_n , тогда как традиционное обозначение такого пространства – R^n .

2. Согласно тексту автореферата обобщенная форма еловых веток должна иметь вид структуры с произвольными яркостями пикселей в центральной части изображения и полосами постоянной яркости, имеющими одинаковые кривизну и наклон, но на Рис.1 реферата изображены полосы постоянного наклона. При этом в тексте диссертации соответствующие рисунки с различной кривизной имеются.

3. В постановке задачи идентификации объектов базовая модель геометрической формы (семейство форм) V для разных объектов (классов) является единой, а различия заключаются лишь в распределении вероятностей или возможностей на семействе форм. Однако в явном виде это ограничение не вводится и не обосновывается. Интересно было бы рассмотреть случай, когда не только вероятностная модель, но и семейства форм V различны для моделей различных объектов, подлежащих идентификации. Например, когда идет речь о нескольких различных параметризованных пространствах форм.

4. В диссертации дано формальное определение каркаса семейства форм изображений, однако процедура его практического построения описана недостаточно подробно. Было бы уместно дать подробное описание такой процедуры для рассмотренной в диссертации задачи идентификации породы ели по изображению её ветки.

5. В работе предложены методы идентификации форм, представленных примерами изображений. Однако практические эксперименты по идентификации объектов переменной формы проводятся только с искусственно сконструированным параметрическим семейством форм (для задачи распознавания типа елей). Желательно было бы показать, как подобные результаты могут быть получены путем обучения на примерах в каких-либо еще задачах.

6. В разделе 4.3 диссертации приведен пример применения метода для поиска и распознавания рукописной цифры 8 на изображениях. Однако

никаких оценок вероятности поиска и распознавания рукописных цифр в работе не приводится. Данная задача является на сегодня достаточно хорошо исследованной в области компьютерного зрения и машинного обучения. Лучшие результаты в распознавании рукописных цифр дают глубокие нейронные сети (CNN). Желательно было бы сравнить результаты предложенного метода с результатами других методов обнаружения и распознавания, в том числе, на базе CNN.

7. В работе указано, что вычисления при помощи GPU NVIDIA дали ускорение в 25.64 раза по сравнению с вычислениями на CPU. Желательно было бы также указать абсолютные значения времени вычислений на GPU и CPU.

Указанные замечания не снижают научной и практической значимости диссертационной работы. Работа производит целостное впечатление, выполнена на высоком научном уровне, содержит решение актуальной задачи идентификации объектов по их изображениям. Описанные выше оригинальные результаты работы не имеют аналогов в известных оппоненту публикациях, т.е. являются новыми научными результатами. Содержание диссертации в достаточной степени опубликовано в научной печати – в 11 работах, в том числе в 6 печатных работах, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, из них 5 работ — в научных журналах, рекомендованных ВАК РФ. Основные результаты докладывались на научных конференциях и семинарах.

В целом диссертационная работа «Морфологические методы идентификации объектов со случайно изменяющейся формой по их изображениям» представляет собой законченное научное исследование, выполненное на высоком научном уровне на актуальную тему, содержит новые научные результаты, имеющие существенное значение для рассматриваемой предметной области, и отвечает всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям (п. 9 «Положения о

присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013, №842), а ее автор – Зубюк Андрей Владимирович – заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент,
начальник подразделения
ФГУП «ГосНИИАС»,

д.ф.-м.н., профессор РАН



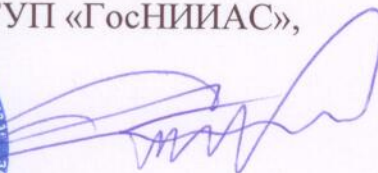
Визильтер Юрий Валентинович

«26» мая 2017 г.

Подпись Визильтера Ю. В. заверяю.

Ученый секретарь ФГУП «ГосНИИАС»,

д.т.н.



Мужичек Сергей Михайлович

«29» мая 2017 г.

Визильтер Юрий Валентинович – доктор физико-математических наук по специальности 05.13.17, старший научный сотрудник, профессор РАН, начальник подразделения "Системы интеллектуального анализа данных, технического зрения, улучшенного и синтезированного видения" Федерального государственного унитарного предприятия "Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем" (ФГУП "ГосНИИАС").

г. Москва, ул. Викторенко, 7, тел.: (499) 157-94-98, e-mail: viz@gosniias.ru.