

ОТЗЫВ
официального оппонента
д.ф.-м.н., профессора РАН Ю.В. Визильтера
на диссертацию Достоваловой Анастасии Михайловны
«Вероятностно-информированные нейросетевые модели анализа изображений
при ограниченных обучающих данных»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
1.2.1 - «Искусственный интеллект и машинное обучение»

Актуальность темы диссертации.

Актуальность диссертации обусловлена необходимостью обработки ограниченных в том или ином смысле наборов изображений в широком спектре прикладных областей. Характерным примером являются данные аэрокосмических систем, характеризующиеся высокой специфичностью и изменчивостью. Для таких данных сложно найти эквивалентные среди открытых наборов, поэтому для их анализа требуется разработка специализированных решений, которые должны учитывать определенный тип ограниченности данных, что не позволяет использовать типовые методы и технологии искусственного интеллекта.

Информирование нейронных сетей заключается во внедрении математических моделей в структуру глубоких архитектур. Такой подход снижает чувствительность алгоритмов к объему данных и расширяет возможности их применения в условиях дефицита выборки по сравнению с классическими методами. Особый интерес представляет развитие подхода информирования в области задач обработки изображений на основе вероятностных моделей для учета различных стохастических факторов. Решению актуальных задач в этой области и посвящена диссертация А.М. Достоваловой.

Основные результаты и их научная новизна.

В диссертационной работе представлен оригинальный подход информирования нейросетей вероятностными моделями для повышения точности обработки сложных и ограниченных наборов изображений.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации составляет 160 страниц, в списке литературы приведен 231 источник.

Введение содержит обоснование актуальности, научной новизны и практической значимости, обзор связанных с тематикой диссертационной работы предшествующих исследований и описание основных результатов диссертации с указанием выносимых на защиту научных положений.

В первой главе представлен метод информирования нейросетевых архитектур моделью факторного анализатора с импульсно-аддитивным шумом для более точной классификации малых наборов изображений. Исследованы свойства предложенной модели факторного анализатора, обосновывающие ее применение при обработке малых наборов изображений. Представлена нейросетевая архитектура, информированная факторным анализатором в блоке слияния признаков. Доказано, что при определенных значениях гиперпараметров вычислительная сложность блока ниже, чем у неинформированных аналогов. В ходе экспериментального тестирования метода было рассмотрено 13 открытых наборов изображений и 7 различных нейросетевых архитектур для сравнения. Информированный подход демонстрирует значительные приросты точности как по лучшим, так и по средним значениям стандартных классификационных метрик (Top-k Accuracy), в том числе полученных в результате кросс-валидации. Приведены величины стандартных отклонений метрик от средних значений, демонстрирующие устойчивость разработанных соискателем нейросетевых моделей. При этом качества предложенных методов (прирост точности) над неинформированными

аналогами повышается с уменьшением количества обучающих примеров в наборе, что и позволяет решать поставленную задачу для малых данных.

Во второй главе описан метод информирования композицией моделей смеси вероятностных распределений и случайного поля Маркова в виде квадродрева для повышения точности сегментации неоднородных наборов изображений. Доказана теорема о возможности повышения точности обработки неоднородных наборов при информировании смесью на уровне входных признаков. Продемонстрирована возможность представления алгоритма обработки изображения марковскими полями как специального случая графово-сверточной нейронной сети. Метод информирования композицией моделей протестирован на реальных радиолокационных снимках Земной поверхности. Как и в первой главе, продемонстрированы значительные приросты точности над неинформированными сверточными и трансформерными архитектурами по значениям стандартных сегментационных метрик, в том числе и в рамках процедуры кросс-валидации. При этом величина приростов точности зависит от уровня данных: Показано, что обработка именно существенно неоднородных радиолокационных снимков в высоком разрешении становится значительно более эффективной по сравнению с известными методами.

В третьей главе представлен метод сегментации сильно несбалансированных наборов изображений, содержащих малые по площади объекты, с помощью нейронной сети, информированной случайным полем Маркова. Выбор модели для решения такой задачи обоснован доказанной теоремой об эргодичности поля Маркова в виде квадродрева. Доказано, что сеть, информированная этой моделью, способна обучаться быстрее, чем сопоставимые с ней по размеру аналоги. Информированная сеть протестирована на нескольких открытых наборах изображений поверхности Земли, полученных с помощью беспилотных летательных аппаратов и спутниковых радиолокаторов. Рассмотрены две задачи – многоклассовая сегментация и обнаружение малоразмерных объектов на фоне (то есть двухклассовая сегментация) с более ярко выраженным дисбалансом разделяемых классов. В обоих случаях предложенный информированный подход демонстрирует результаты значительно более высокой точности в сравнении с известными сверточными и трансформерными решениями, в том числе специализированными. При этом информированная сеть содержит существенно меньшее количество параметров в сравнении с аналогами.

В заключении кратко описаны основные полученные результаты.

Теоретическая значимость.

Разработанные новые методы информирования нейронных сетей обосновываются в диссертации с использованием строгих математических подходов. Это касается выбора способа информирования (чаще всего – на уровне архитектуры), а также установления свойств используемых вероятностных моделей (факторные анализаторы, случайные поля Маркова в виде квадродрева). Для конечных нормальных смесей получен аналитический результат, который для задачи обработки неоднородных наборов изображений обосновывает реализацию информирования на уровне входных признаков сети. Также показано, что вероятностно информированные модели демонстрируют большую вычислительную эффективность с точки зрения уменьшения выполняемых операций и ускорения обучения сети в сравнении с неинформированными моделями. Таким образом, получен набор новых теоретически обоснованных результатов для задач искусственного интеллекта.

Практическая значимость.

Методы, представленные в работе, интересны не только с точки зрения развития фундаментальных основ методов искусственного интеллекта, но и имеют потенциал прикладного применения. Например, они могут быть востребованы в задачах мониторинга положения малоразмерных объектов методами компьютерного зрения, в особенности при обработке аэрокосмических снимков поверхности Земли. На основе

разработанных в диссертации подходов возможно развитие технологий мониторинга автомобильного трафика и отслеживания судов в «умных» портах. Кроме того, методы обработки ограниченных наборов могут быть применены для ускорения нанесения разметки при создании датасетов для задач компьютерного зрения.

Достоверность и обоснованность результатов.

Достоверность результатов диссертационного исследования подтверждена строгими математическими доказательствами и всесторонним тестированием методов на открытых наборах изображений. Основные результаты диссертационного исследования опубликованы в 13 работах, из которых 9 – это статьи в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК и приравненных к ним международных наукометрических баз. Соискатель имеет опыт публикации в ведущих журналах: 4 статьи опубликованы А.М. Достоваловой в журналах из первого-второго квартилей баз Web of Science. Основные результаты диссертации докладывались на профильных российских и международных конференциях по тематике исследований.

Результаты диссертации соответствуют в полной мере паспорту специальности 1.2.1 – «Искусственный интеллект и машинное обучение». Доказанные в главе 1 теоремы о статистических свойствах модели факторного анализатора с импульсно-аддитивным шумом, а также теоремы 6 и 7 из главы 2 о свойствах поля Маркова в виде квадродерева соотносятся с положениями пункта 15 «Математические исследования в области статистики, логики, алгебры, топологии, анализа функции и других областях, ориентированные на решение задач искусственного интеллекта и машинного обучения».

Метод архитектурного информирования моделью факторного анализатора с импульсно-аддитивным шумом из главы 1, метод комбинированного информирования композицией моделей конечной смеси вероятностных распределений и случайного поля Маркова из главы 2 и информированная модель обработки несбалансированных датасетов из главы 3 соответствуют пункту 5 «Методы и технологии поиска, приобретения и использования знаний и закономерностей, в том числе – эмпирических, в системах искусственного интеллекта. Исследования в области совместного применения методов машинного обучения и классического математического моделирования. Методы и средства использования экспертных знаний».

Теоремы о вычислительной сложности информированного блока слияния из главы 1, теорема о повышении точности обработки данных при информировании конечной смесью распределений на уровне признаков из главы 2 и теоремы о более быстром убывании функции потерь из главы 3 соответствуют пункту 17 «Исследования в области многослойных алгоритмических конструкций, в том числе – многослойных нейросетей».

Результаты всех трех глав соответствуют пункту 4 «Разработка методов, алгоритмов и создание систем искусственного интеллекта и машинного обучения для обработки и анализа текстов на естественном языке, для изображений, речи, биомедицины и других специальных видов данных», поскольку ориентированы на реализацию эффективных нейросетевых процедур обработки ограниченных наборов изображений.

Замечания. Имеются следующие замечания по содержанию диссертации.

1. Предложенный в первой главе метод информирования нейросетевых архитектур моделью факторного анализатора с импульсно-аддитивным шумом для более точной классификации малых наборов изображений действительно демонстрирует интересные и перспективные результаты в проведенных экспериментах. Однако представляется, что возможно альтернативное объяснение механизма работы данного метода, а именно – что в данном методе проводится рандомизированная аугментация данных, только не на уровне входных изображений, а на уровне сформированных глубоких признаков. Такая интерпретация хорошо объясняет эффект улучшения работы алгоритма обучения на малых выборках. Если учесть такую интерпретацию полученных результатов, то желательно провести дополнительное сравнение предложенного подхода с известными подходами, но уже не с другими архитектурами, а с другими методами аугментации.

2. Для предложенного во второй главе метода информирования композицией моделей смеси вероятностных распределений и случайного поля Маркова в виде квадродерева повышение точности сегментации неоднородных наборов изображений продемонстрировано в ряде экспериментов на небольшом количестве изображений. Желательно было бы сравнить результаты данного метода с результатами других известных методов и моделей семантической сегментации на более представительном датасете, например, на основе тех же данных с Sentinel-1.

3. Предложенный в третьей главе метод сегментации с помощью нейронной сети, информированной случайным полем Маркова в виде квадродерева, по сути, представляет собой способ постобработки выхода сети-кодировщика с целью вероятностной регуляризации карты сегментации. В связи с этим желательно было бы добавить сравнение результатов работы предложенного метода с результатами работы других методов регуляризации результатов сегментации изображений.

Указанные замечания не влияют на общее положительное впечатление от работы и высокую оценку проведенных соискателем исследований.

Общая оценка работы. Диссертация А.М. Достоваловой выполнена на высоком уровне. Получены новые математические результаты, которые представляют интерес для области искусственного интеллекта и машинного обучения. Продемонстрирована высокая эффективность разработанных информированных архитектур в задачах обработки реальных изображений, прежде всего, аэрокосмических и полученных с беспилотных летательных аппаратов. Автореферат корректно отражает содержание диссертации и описывает все основные полученные А.М. Достоваловой результаты.

Заключение. Диссертация «Вероятностно-информированные нейросетевые модели анализа изображений при ограниченных обучающих данных» Достоваловой Анастасии Михайловны является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком уровне и соответствующей всем требованиям и критериям Положения ВАК РФ «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Её автор, Достовалова Анастасия Михайловна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.1 – «Искусственный интеллект и машинное обучение».

Официальный оппонент:

д.ф.-м.н., профессор РАН,
директор по направлению – руководитель научного комплекса
«Искусственный интеллект и техническое зрение»
ФАУ «ГосНИИАС»



Визильтер Юрий Валентинович
01.06.2026 г.

Подпись Визильтера Ю. В. заверяю
Ученый секретарь ФАУ «ГосНИИАС»
д.т.н., профессор



Мужичек Сергей Михайлович

Визильтер Юрий Валентинович – доктор физико-математических наук по специальности 05.13.17 «Теоретические основы информатики», профессор РАН, директор по направлению – руководитель научного комплекса «Искусственный интеллект и техническое зрение» Федерального автономного учреждения «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем» (ФАУ «ГосНИИАС»).

Адрес: 125319, г. Москва, ул. Викторенко, 7, к. 2
Эл.почта: viz@gosniias.ru
Тел.: (499) 157-94-98