

ОТЗЫВ
официального оппонента
д.ф.-м.н., профессора В.В. Мясникова
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

Рассматриваемая в диссертации тематика обучения по малым, неоднородным и несбалансированным выборкам является важной проблемой современного искусственного интеллекта. Она приводит к объективной сложности восстановления распределения реальных данных при использовании типовых нейросетевых решений и, как следствие, снижению качества обучения. Одним из существующих в настоящее время путей решения указанной проблемы является информирование нейронных сетей, заключающееся в использовании ими свойств обучающих данных, которые объективно не могут быть получены в процессе обучения. Настоящая работа направлена на теоретическое обоснование методов и алгоритмов информирования нейросетевых моделей анализа изображений для случаев относительно малых выборок. Таким образом, диссертация посвящена актуальной тематике искусственного интеллекта: вероятностному информированию нейросетевых моделей для решения задач обработки изображений.

Основные результаты и их научная новизна

Диссертационная работа Достоваловой А.М. состоит из введения, трёх содержательных глав и заключения. Общий объем диссертации составляет 160 страниц, в списке литературы приведен 231 источник.

Во введении представлено обоснование актуальности темы диссертации, определена цель работы и сформулированы задачи, решение которых ориентировано на ее достижение. Для основных полученных результатов исследования указаны новизна и значимость. Также во введении представлен обзор современных методов в области обработки ограниченных наборов данных, их достоинства и недостатки.

В первой главе представлен метод информирования нейронных сетей классификации изображений в процессе обучения на малых выборках. Для повышения точности обучения соискателем предлагается дополнительный архитектурный блок постобработки данных, реализующий конкатенацию линейно-преобразованных карт признаков с различных слоев нейросетевой модели, добавление импульсного (аналог процедуры отбрасывания – dropout) и аддитивного шумов с последующим линейным преобразованием к требуемой размерности (по числу классов). Приводится обоснование аналитических свойств модели. В частности, доказываются несмещенность и состоятельность оценок параметров, полученных при обучении в ходе минимизации кросс-энтропии. Дополнительно приводится аналитическое исследование вычислительной сложности блока: при определенных параметрах (например, при большом числе классов) предлагаемое решение оказывается вычислительно эффективнее, чем типовые сверточные или полносвязные слои для классификации. Данный результат также демонстрируется экспериментально. В завершении главы описаны результаты проведенных экспериментов, которые демонстрируют повышение точности классификации на открытых наборах данных при сравнении информированных классификаторов с сопоставимыми неинформированными архитектурами.

Вторая глава посвящена разработке способа информирования нейронных сетей сегментации неоднородных наборов изображений. В качестве таких данных рассматриваются зашумленные радиолокационные (одноканальные) изображения. Соискатель предлагает для информирования использовать:

- параметры/коэффициенты разложения значений отсчетов яркости по ядрам модели гауссовской смеси (распределения отсчетов конкретного изображения) как составляющие расширенного вектора описания отсчета яркости и

- случайную модель поля Маркова в виде квадродерева, применяемую апостериорно для изображения-результата, как средство учета пространственных свойств цифровых изображений.

Доказывается теорема, показывающая, что первый способ информирования может (но не гарантирует) повысить точность интерполяции произвольной одномерной функции. Доказывается также, что алгоритм обхода вершин квадродерева эквивалентен обработке их предобученной графово-сверточной нейронной сетью. Также доказывается эргодичность поля Маркова в виде квадродерева. Этот результат существенным образом используется в главе три для обоснования предложенных там архитектурных решений. Оставшаяся часть главы посвящена тестированию предложенного подхода: демонстрируется превосходство по точности сегментации в сравнении с неинформированными аналогами.

В главе три представлено дальнейшее развитие идеи информирования с использованием поля Маркова в виде квадродерева, применяемой для сегментации сильно несбалансированных наборов аэрокосмических изображений и обнаружения на них малых объектов). Согласно доказанным во второй главе свойствам (поля Маркова в виде квадродерева), информированная модель строится как графово-сверточная нейронная сеть, обрабатывающая изображение с представлением в виде графа-квадродерева. Представлен ряд положений, доказывающих возможность ускорения обучения в сравнении с неинформированными аналогами. Эти положения в дальнейшем демонстрируются экспериментально. В завершении главы соискатель демонстрирует преимущество предложенного метода информирования моделью квадродерева в сравнении с существующим трансформерными и сверточными архитектурами (сегментирования изображений): демонстрируется значительный прирост точности выделения малоразмерных объектов, таких как корабли в море и автомобили на снимках улиц. Точность сегментации также растет и для крупных объектов, таких как здания и дороги.

Заключение диссертационной работы содержит общие выводы о новизне и значении полученных результатов.

Теоретическая значимость

Теоретическая значимость работы заключается в том, что представленные в ней новые методы информирования нейронных сетей являются аналитически обоснованными с точки зрения выбора модели и способа информирования в каждой конкретной задаче. Для модели факторного анализатора доказаны свойства оценок ее параметров, обосновывающие ее применение при информировании в задаче классификации малых выборок. Представлено доказательство аналитических свойств поля Маркова в виде квадродерева, которые демонстрируют эффективность информирования с его помощью нейросетевых моделей при обнаружении малых объектов. Аналитически обоснован выбор способа информирования для модели конечной смеси распределений и поля Маркова при обработке неоднородных и несбалансированных наборов изображений. Также доказано, что применение методов вероятностного информирования способно уменьшать количество выполняемых операций при обработке данных и ускорять обучение сети в сравнении с неинформированными архитектурами.

Практическая значимость

Практическая значимость работы обосновывается тем, что теоретически обоснованные методы информирования нейронных сетей успешно применены для повышения точности обработки малых, неоднородных и несбалансированных наборов данных. Такие наборы часто встречаются в практических задачах обработки данных научных экспериментов или технических систем, например, аэрокосмических радиолокационных и оптических снимков поверхности Земли.

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 – статьи в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК и приравненных к ним международных наукометрических баз. Основные результаты диссертации докладывались на восьми конференциях в период 2023–2026 гг.

Результаты диссертации соответствуют 4 пунктам паспорта специальности 1.2.1 – «Искусственный интеллект и машинное обучение», а именно: 15 «Математические исследования в области статистики, логики, алгебры, топологии, анализа функции и других областях, ориентированные на решение задач искусственного интеллекта и машинного обучения»; 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»; 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» и 17 «Исследования в области многослойных алгоритмических конструкций, в том числе – многослойных нейросетей».

Так, метод архитектурного информирования моделью факторного анализатора с импульсно-аддитивным шумом в блоке слияния признаков и доказанные в главе 1 теоремы о его аналитических свойствах и оценке вычислительной сложности соответствуют пп. 15 и 5 в части математических результатов, в том числе для вероятностно-статистических моделей.

Метод комбинированного информирования на уровне признаков и архитектуры сети композицией моделей конечной смеси вероятностных распределений и случайного поля Маркова и доказанные в главе 2 теоремы о повышении точности обработки неоднородных наборов данных соответствуют пп. 15 и 5 в части использования методов математического моделирования для задач искусственного интеллекта.

Также к этим пунктам относится набор фундаментальных результатов об аналитических свойствах модели Марковского случайного поля в виде квадродерева, в том числе теорема о связи с графово-сверточными нейронными сетями (главы 2 и 3), а также разработанный в главе 3 метод архитектурного информирования моделью Марковского случайного поля нейронных сетей и доказанные там же теоремы о более быстром убывании функции потерь.

Созданные нейросетевые методы на основе разработанных соискателем теоретических подходов успешно применены для обработки реальных наборов изображений – малых зашумленных в главе 1, неоднородных в главе 2 и несбалансированных в главе 3. Это соответствует п. 4 паспорта. Наконец, все предложенные в диссертации соискателем архитектуры являются глубокими, что в полной мере относится к п. 17.

Замечания по содержанию и оформлению автореферата и диссертации

Имеются следующие замечания по тексту диссертации.

1. Ошибки формального/математического изложения, например:

а) выражение (1) для сверточного слоя приведено без учета глубины/канальности входного тензора карты признаков; здесь же - для фильтра w указаны размеры $m \times m$, а по формуле суммирования максимальное значение каждого индекса равно $2m$, т.е. превышает m ;

б) неверно указан индекс суммирования для априорных вероятностей появления яркостей в выражении (2.5);

в) на стр.29 указано, что «...искомые вероятности классов... считаются наблюдаемыми величинами Z », в то же время выражение для Z , приведенное на стр.25 (линейное преобразование факторов и добавление шума), не гарантирует ни требуемого для вероятностей диапазона $[0,1]$, ни выполнения условия нормировки. То есть компоненты Z не могут выступать в качестве вероятностей;

г) множественность смысловых значений одной и той же величины (справедливо для целого ряда обозначений) даже в пределах одной главы и/или раздела. Например, на стр. 24 величина Θ в тексте определена как «матрица факторов», однако на этой же странице на рисунке 1.1 она определена в виде множества. Величина h на стр.61 указана как плотность распределения, на стр.63 она указана как шаг интерполяционной сетки, на стр.66 это номер уровня квадродерева и т.д.;

д) чрезмерная множественность введенных обозначений, которые часто играют декларативную роль и никак не связаны между собой и/или не участвуют в содержательных выкладках.

Последние два указанных недостатка (1г и 1д) делают чрезвычайно затруднительным (а иногда - невозможным) верное содержательное понимание и интерпретацию отдельных разделов текста работы сторонним читателем без комментариев ее автора.

2. Неполнота изложения и/или опущенные в формулировках теорем/положений явные условия их доказательства, не позволяющая однозначно и/или корректно воспринимать текст работы, например:

а) в формулировке теоремы 2 потеряно требование ортогональности матрицы факторов Θ , что делает невозможным переход от выражение (1.4) к последующему (поскольку в общем случае $\Theta\Theta^T \neq I$). При этом указанное условие (ортогональность получаемых описаний) выглядит чрезмерно нереалистичным - в архитектуре сети или предлагаемой «надстройки» нет отсылки к процедуре ортогонализации факторов;

б) в формулировке теоремы 5 на стр.63 не указан интервал, для которого указывается погрешность восстановления (по приведенной формуле - на всей области определения функции F); также некорректно в оценке указана константа M (а ниже M_2), которая в действительности не является константой, а напрямую связана с максимальным абсолютным значением второй производной искомой функции; здесь же - функция $f(x)$, указанная как «полносвязная однослойная нейронная сеть» по факту является просто линейной функцией вида $f(x)=ax+b$ скалярного аргумента;

в) в формулировке теоремы 8 на стр.99 сравниваются две линейных графовых сети G и G_0 , которые при данной в тексте формулировке (ссылка на одно и то же выражение (3.1)) должны быть идентичны.

3. Нет обоснования, почему именно таким образом (с использованием базисных функций, взятых из гауссовской смеси) в разделе 2.2 выполняется формирование вектора описания для отсчета(ов) изображения. Как изменится (и изменится ли) результат, если в качестве базиса брать какой-либо иной, например, в виде полиномов или гармонических функций. И почему подбор вектора представлений (то есть выбор базиса) не сделан в результате решения конечной задачи (то есть при обучении модели).

4. На стр.81-82 (раздел 2) указано, что «Набор данных слишком мал для обучения архитектуры ViT без информирования: сеть систематически не различает классы...». При этом при информировании каждый численный отсчет радарного изображения был дополнен набором значений, которые функционально являются с ним связанными. Это привело к пропорциональному росту числа параметров в первичном блоке ViT. Осталось не ясным, почему обучение сети ViT с меньшим числом параметров вызывало проблемы, а с большим (при той же архитектуре) - нет.

5. Нет сравнения предложенных методов «информирования» с иными способами решения недоопределенных/некорректных задач, в частности, с развитыми методами регуляризации.

6. Не достаточно четко определены зоны применимости разработанных решений. В частности, не доказано и не продемонстрировано, могут или не могут предложенные решения использоваться совместно.

Сделанные замечания не влияют на общую положительную оценку работы.

Общая оценка работы

Диссертационная работа Достоваловой Анастасии Михайловны выполнена на высоком научном уровне. В диссертации решен ряд актуальных задач в области искусственного интеллекта и получены новые научные результаты, которые обладают фундаментальной и прикладной значимостью. Цели, задачи и результаты диссертации в полной мере соответствуют паспорту специальности 1.2.1 – «Искусственный интеллект и машинное обучение». Автореферат корректно отражает основное содержание диссертации, научные положения и основные полученные А.М. Достоваловой результаты.

Заключение

Диссертационная работа Достоваловой Анастасии Михайловны «Вероятностно-информированные нейросетевые модели анализа изображений при ограниченных обучающих данных» является законченной научно-квалификационной работой и соответствует 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, а 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:

профессор кафедры геоинформатики и информационной безопасности ФГАОУ высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»,
доктор физ.-мат. наук, профессор


Мясников Владислав Валерьевич

25 05 2026 г.

Мясников Владислав Валерьевич – доктор физико-математических наук по специальности 05.13.17 «Теоретические основы информатики», профессор, профессор кафедры геоинформатики и информационной безопасности Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (Самарский университет им. Королева).

Адрес: 443086, Самара, Московское шоссе, д. 34

Эл. почта: myasnikov.vv@ssau.ru

Тел.: (846) 267-49-05

Сведения об организации:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (Самарский университет)

Адрес: 443086, Самара, Московское шоссе, д. 34

Тел.: +7 (846) 267-49-05

М. П.



Подпись Мясникова В.В. удостоверяю.
начальник отдела сопровождения деятельности
ученых советов Самарского университета
Бояркина Бояркина У.В.
« 25 » мая 2026 г.