

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, доцента, профессора
кафедры прикладной математики и информатики ФГБОУ ВО «Казанский
национальный исследовательский технический университет им. А.Н.

Туполева-КАИ» Новиковой Светланы Владимировны

на диссертационную работу Ковальчука Андрея Викторовича «Разработка
нейроморфных алгоритмов принятия решений в задачах распознавания
объектов на изображении», представленную на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук по специальности 5.12.4 -

«Когнитивное моделирование»

Диссертационная работа А.В. Ковальчука посвящена разработке и исследованию нейроморфных алгоритмов принятия решений в задачах распознавания объектов на изображении. Работа выполнена в русле современного направления, связанного с построением адаптивных биоморфных систем обработки визуальной информации, и ориентирована на решение задач выделения информативных признаков, адаптивного выбора алгоритмов обработки, коллективного распознавания и коррекции ошибок детекторов. Целью исследования является разработка и исследование элементов нейроморфной системы, реализующих адаптивный выбор алгоритмов обработки и коррекцию решений на основе внутренней динамики и тернарного коллективного распознавания. Для достижения поставленной цели автором сформулирован и решен комплекс задач, включающий разработку рекуррентных алгоритмов выделения признаков, критерия невязки в процессе «кодирование–восстановление», алгоритмов построения тернарного классификатора, методов коррекции решений каскадных детекторов, а также экспериментальную проверку предложенных подходов на реальных биометрических базах данных.

1. Актуальность темы диссертационного исследования

Задача распознавания объектов на изображении является одной из фундаментальных проблем в области искусственного интеллекта и когнитивного моделирования. Несмотря на значительные успехи глубоких нейронных сетей, традиционные подходы достигают предела эффективности при работе с изменчивыми данными, шумами, малыми выборками и необходимостью интерпретируемости решений. Биологически вдохновленные нейроморфные алгоритмы, имитирующие принципы организации живых нейронных систем (параллелизм, латеральное торможение, динамическая адаптация), открывают новые возможности для построения устойчивых и адаптивных систем распознавания.

Диссертационная работа Ковальчука А.В. посвящена разработке нейроморфных алгоритмов принятия решений, включающих: (1) использование динамики нейроноподобных сред для расширения признакового пространства; (2) адаптивный выбор алгоритмов предобработки на основе анализа невязки в цикле «кодирование–восстановление»; (3) построение тернарных классификаторов (экспертных комитетов) для работы в условиях неопределенности; (4) методы коррекции ошибок каскадных детекторов по малому числу примеров.

В настоящее время ощущается потребность в системах, способных адаптироваться к изменяющимся условиям без полного переобучения, работать с ограниченными данными и обеспечивать интерпретируемость решений. Предложенные в диссертации подходы непосредственно направлены на решение этих проблем. Таким образом, тема диссертационного исследования Ковальчука А.В. является актуальной как с научной, так и с практической точки зрения.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Сформулированные в диссертации научные положения, выводы и рекомендации являются обоснованными. Это подтверждается:

- корректным применением методов математического моделирования нелинейных динамических систем, теории дифференциальных уравнений, методов машинного обучения (AdaBoost, SVM), методов оптимизации и статистического анализа;
- использованием широкого спектра известных биометрических баз данных (MNIST, OptDigits, PenDigits, FERET, FG-NET+), а также специально собранных датасетов;
- проведением многократных вычислительных экспериментов с перекрестной проверкой и повторной выборкой, обеспечивающих статистическую достоверность результатов;
- сравнением предложенных алгоритмов с эталонными реализациями (LIBSVM, классический AdaBoost), демонстрирующим их конкурентоспособность или превосходство.

Практическая значимость полученных результатов подтверждается их внедрением:

- в НИОКТР «Автоматическая интеллектуальная система оценки биомеханики верхних и нижних конечностей» (Рег. номер 124091900013-6, 2024);
- в НИОКТР «Биоморфная система искусственного интеллекта для распознавания образов с коррекцией ошибок (БСИИРОКО)» (2022–2025);
- в интеллектуальную систему видеозахвата «Magnetca Golf Video Capturing» для комплексного управления гольф-сервисами (Литва, 2019–2022);
- в виде свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025610744 «PhysioAssist» (Россия, 2025).

3. Достоверность и новизна научных положений и рекомендаций

Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений и обеспечивается:

- строгим математическим выводом уравнений нейроноподобной среды, функций пространственной связи и условий формирования стационарных структур;
- корректной постановкой оптимизационных задач для тернарных классификаторов и алгоритма OnSVM, включая доказательство свойств параметра η и связи с v -SVM;
- многократным тестированием на независимых выборках с использованием стандартных метрик (FAR, FRR, EER, Precision, Recall);
- согласованностью теоретических результатов с данными вычислительных экспериментов и их воспроизводимостью.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующих результатах:

1. Показано, что расширение признакового пространства с помощью динамики однородной нейроноподобной среды с функцией связи типа латеральное торможение (5 масштабов $\times$ 8 ориентаций) позволяет повысить точность классификации лиц. Экспериментально установлено, что учет временной эволюции активности среды в течение 4 дискретных шагов снижает ошибку верификации (EER) с $\sim 13\%$ до $\sim 9.5\%$, что соответствует относительному снижению ошибки на 27% .

2. Впервые предложен критерий оценки качества изображения на основе динамики невязки в процессе «кодирование–восстановление». Показано, что адаптивный выбор алгоритма бинаризации отпечатков пальцев по динамике невязки снижает EER с $\sim 11\%$ (активный фильтр) до $\sim 9\text{--}10\%$, что на $10\text{--}15\%$ лучше одиночного лучшего фильтра.

3. Разработан алгоритм построения тернарного классификатора OnSVM, обеспечивающий корректное распознавание в условиях частичной информативности и неопределенности. В задаче классификации атрибутов лица тернарный режим снижает ошибку на $5\text{--}14\%$ по сравнению с бинарным при ограниченной доле отказов.

4. Реализован алгоритм коррекции решений каскадного детектора объектов, использующий линейные правила по малому числу примеров ошибок (one/few-shot). На базах «Цифры» и «Идентификаторы» показано: FN-корректоры увеличивают полноту детектирования с 0.94 до 0.98, FP-корректоры повышают точность с 0.36 до 0.64 при сохранении полноты ≈ 0.98 .

5. Предложена и экспериментально апробирована методика тестирования алгоритмов коррекции решений каскадных детекторов на размеченных базах данных, включающая кластеризацию ошибок и построение разделяющих гиперплоскостей по критерию Фишера.

4. Значимость для науки и практики выводов и рекомендаций диссертационного исследования

Значимость для науки выводов и рекомендаций диссертации:

- формализованы параметры функций связи типа латеральное торможение, установлена связь между параметрами фильтра и минимальным/максимальным размером выделяемых объектов (L_{min} и L_{max});
- введено и математически обосновано понятие динамики невязки как индикатора качества сигнала и мета-критерия для адаптивного выбора алгоритмов;
- разработана теория тернарного классификатора с областью компетенции, включающая определения ошибки E_m , эффективности R_3 и доказательство верхней границы ошибки ансамбля;
- разработана модификация алгоритма бустинга M-Adaboost для тернарных классификаторов и предложена новая постановка потоковой машины опорных векторов OnSVM с максимизацией зазора.

Значимость для практики:

- предложенные алгоритмы могут быть использованы при разработке биометрических систем распознавания лиц и отпечатков пальцев, детекторов объектов на видео, систем мониторинга и диагностики, а также ИИ-модулей, работающих в условиях ограниченных данных и дрейфа распределений;
- алгоритм OnSVM поддерживает потоковое обучение и готов к распознаванию после инициализации, что критически важно для систем реального времени;
- корректоры ошибок позволяют улучшать существующие детекторы без полного переобучения, что снижает вычислительные затраты и время внедрения.

5. Заключение

5.1. Оценка диссертационного исследования как квалификационной работы

Диссертация Ковальчука Андрея Викторовича является *завершенной, самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой*, в которой впервые приведены результаты, позволяющие квалифицировать их как решение актуальной научной задачи – разработки нейроморфных алгоритмов принятия решений для распознавания объектов на изображении, включающих адаптивный выбор предобработки по динамике невязки, тернарные экспертные комитеты и корректоры ошибок на малых выборках. Работа удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, изложенным в Постановлении Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней» (пункты 9, 10, 11, 13, 14) (в актуальной редакции).

5.2. Оценка содержания и авторского вклада. Соответствие работы паспорту специальности

Диссертация соответствует паспорту специальности 5.12.4 – *Когнитивное моделирование* по следующим пунктам:

п. 7 «Подходы к детекции и корректировке ошибок систем искусственного интеллекта: математическая, профессиональная и обыденная человеческие точки зрения. Анализ и устранение причин коммуникативных неудач в этой области»;

п. 8 «Искусственные нейронные сети (включая конволюционные и импульсные сети) при моделировании базовых когнитивных функций обучения, распознавания, запоминания фигуративной (образной), процедурной и декларативной информации»;

5.3. Общая характеристика работы

Диссертация включает: введение, 4 главы, выводы, заключение, список литературы из 190 наименований, 51 рисунок, 18 таблиц, 42 формулы, 2 приложения. Полный объем диссертации составляет 183 страницы.

Во Введении обоснована актуальность, сформулированы цель и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, представлены положения, выносимые на защиту.

В первой главе исследована динамика нейроноподобных сред с функцией связи типа латеральное торможение. Показано, что использование 40 параллельных сред (5 масштабов $\times$ 8 ориентаций) и учет временной эволюции (до 4 итераций) позволяют снизить ошибку распознавания лиц с EER~13% до ~9.5%.

Во второй главе предложена адаптивная модель принятия решений на основе анализа невязки в цикле «кодирование–восстановление». Эксперименты на отпечатках пальцев показали, что адаптивный выбор бинаризации снижает EER до 9–10%, превосходя одиночные активный (EER~11%) и пассивный (EER~13%) фильтры.

В третьей главе разработаны методы построения экспертных комитетов на основе тернарных классификаторов. Предложен алгоритм M-Adaboost и потоковый алгоритм OnSVM. Эксперименты на задачах классификации пола, возраста и этнической принадлежности лица показали снижение ошибки на 5–14% по сравнению с бинарными классификаторами.

В четвертой главе реализованы два подхода к коррекции ошибок детекторов: (1) метод на основе эффекта «благословения размерности» с кластеризацией ошибок и линейной дискриминацией Фишера; (2) метод на основе динамических сверток для one-shot коррекции. Эксперименты на базах «Цифры» и «Идентификаторы» подтвердили эффективность обоих подходов.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации. Оформление диссертации и автореферата соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011.

5.4. Общие замечания по диссертационной работе

1 *По параметрам нейроноподобной среды (глава 1).* Для выбора оптимального числа итераций (4 шага) эксперименты проведены на одной базе (100 лиц, 4 эталона на класс). Насколько устойчив этот параметр при изменении базы (разрешения, условия освещения, ракурсы)? Есть ли оценки чувствительности качества к числу итераций при различных уровнях шума?

2. *По алгоритму OnSVM (глава 3).* В теоретической части утверждается, что число опорных векторов у OnSVM на 20–30% ниже, чем у классического SVM (стр. 121). Из Таблиц 3.7 и 3.8: для Optdigits OnSVM дает 107.2 опорных вектора против 140.7 у LIBSVM (снижение ~24%), для Pendigits – 978.1 против 1149.1 (снижение ~15%). Не указаны, однако, значения параметра η , при которых достигались эти результаты, детали настройки ядра и критерии остановки. Это затрудняет воспроизводимость результатов.

3. *По экспериментальным базам.* В главе 1 база лиц описана как «100 различных персон, по 4 эталонных и 5 тестовых изображений». Не указано, есть ли перекрытие условий съемки между галереей и тестом, используются ли стандартные протоколы (например, FERET). Для повышения научной ценности следовало бы явно указать степень соответствия известным бенчмаркам.

4. *По методам коррекции (глава 4).* Для FP-корректора, повышающего точность детектора идентификаторов с 0.36 до 0.65, одновременно происходит снижение полноты с 0.98 до 0.94 (Таблица 4.1), что может потребовать дополнительного анализа: не приведет ли это к потере критически важных объектов в реальных системах (например, при детектировании редких или опасных объектов)? Желательно привести рекомендации по выбору порогов отбора примеров в зависимости от приоритета полноты или точности.

5.5. Замечания по оформлению и терминологии:

5.5.1. В работе термины «тернарный классификатор» и «эксперт» используются как синонимы, но строгого разграничения не вводится. В теории коллективного распознавания «эксперт» - это обычно любой классификатор, входящий в ансамбль (может быть и бинарным). Тернарность — лишь одно из свойств. Следовало бы либо ввести иерархию (эксперт - общее понятие, тернарный эксперт - частный случай), либо использовать только один термин.

5.5.2. В математическом моделировании и вычислительной математике «невязка» - это обычно норма разности между левой и правой частью уравнения при подстановке приближенного решения. В работе это понятие расширено до «динамики невязки в цикле кодирование-восстановление», что допустимо, но требует четкого определения в начале главы. Определение дано, но оно размыто. Следовало бы ввести отдельный термин, например,

«реконструкционная невязка» или «ошибка автокодирования», чтобы избежать коллизии с классическим пониманием.

5.5.3. В теории обработки сигналов «активный фильтр» обычно означает фильтр с обратной связью (содержит полюсы), а «пассивный» - без обратной связи (только нули). В работе эти термины используются в другом смысле: активный - способный дорисовывать (генерировать) недостающие элементы, пассивный - только выравнивает яркость и убирает шум. Это терминологическое переопределение следовало бы явно оговорить в начале раздела 2.2, указав, что речь идет о биологически инспирированной классификации, а не о традиционной схмотехнической.

5.5.4. В тексте используется аббревиатура МСТ (Modified Census Transform). Впервые она вводится на стр. 85 диссертации без явной расшифровки, которая дана только в Приложении Б. Аббревиатура должна быть расшифрована при первом упоминании.

5.5.5. В тексте диссертации и автореферата присутствует некоторое количество опечаток. Например, стр. 11 диссертации «3-всероссийской» вместо «3-й всероссийской», строка на стр. 17 диссертации начинается с запятой: «, где:», на стр. 2 автореферата грамматическая ошибка (падеж) «Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении...» и т.д.

Указанные замечания *не снижают* общей высокой оценки диссертационной работы и не ставят под сомнение ее основные теоретические и практические результаты.

5.6. Публикация основных результатов.

По теме диссертации опубликовано 10 статей, из них 8 – в журналах, индексируемых в Web of Science и Scopus, 8 – в RSCI. Результаты апробированы на 25 международных и всероссийских конференциях (2004–2023 гг.). Получено 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ, результаты использованы в 5 НИОКТР и грантах.

5.7. Характеристика источников результатов работы.

В диссертации содержатся необходимые ссылки на источники заимствований (всего 190 цитируемых работ), корректно обозначен личный вклад автора. Работа соответствует пункту 14 Положения о присуждении ученых степеней.

6. Общий вывод

Считаю, что диссертационная работа Ковальчука Андрея Викторовича **«Разработка нейроморфных алгоритмов принятия решений в задачах распознавания объектов на изображении»**, представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 5.12.4 – Когнитивное моделирование (физико-математические науки), соответствует паспорту указанной специальности и удовлетворяет

требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям (пункты 9, 10, 11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 5.12.4 – Когнитивное моделирование.

Оппонент согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и дальнейшую их обработку.

Официальный оппонент:

Профессор кафедры прикладной математики и информатики
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»,
доктор технических наук, доцент



Новикова Светлана Владимировна

« 12 » мая 2026 г.

Адрес: 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10

Тел.: +7 (843) 231-00-86

E-mail: SVNovikova@kai.ru

Подпись официального оппонента С.В. Новиковой заверяю.

Подпись Новикова С.В.
заверяю. Начальник управления
делопроизводства и контроля

