

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Иванова Дмитрия Александровича
на тему «Нейроморфные методы оптимизации систем искусственного
интеллекта для задач обучения с подкреплением»
по специальности 2.3.5 – Математическое и программное обеспечение
вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей

Диссертационная работа Д.А. Иванова посвящена решению одной из ключевых проблем современных систем искусственного интеллекта – их высокой энергоемкости и низкой скорости работы при работе («инференсе») в задачах обучения с подкреплением. Автор предлагает в качестве решения использовать нейроморфные (биологически подобные) методы, заимствованные из принципов работы мозга человека. Такой подход представляется крайне актуальным и перспективным, особенно для приложений, требующих работы в реальном времени с жесткими ограничениями по энергопотреблению и задержкам, таких как робототехника, автономные системы и управление сложными объектами.

Автор аргументирует, что фундаментальной причиной низкой эффективности современных систем ИИ является «бутылочное горлышко фон Неймана», особенно остро проявляющееся в задачах RL, где размер пакета данных зачастую равен единице. В связи с этим, основное внимание в работе уделено разработке методов, направленных на сокращение обращений к памяти и объема вычислений за счет внедрения биологически инспирированных принципов, таких как структурная и временная разреженность, а также квантование.

В первой главе представлен систематический анализ проблем современных систем ИИ, основанных на фон-неймановской архитектуре. Автор детально рассматривает взаимосвязь алгоритмов машинного обучения и аппаратного обеспечения, что является важным и часто упускаемым из вида аспектом. Проведен обзор существующих методов оптимизации каждого типа вычислителей и обоснована необходимость нейроморфного подхода. Особого внимания заслуживает анализ особенностей обучения с подкреплением, которые усугубляют проблему доступа к памяти.

Вторая глава посвящена анализу принципов работы мозга человека и их потенциальной адаптации в системах ИИ. На основе проведенного сравнения автор предлагает классификацию вычислительных принципов мозга. Подробно рассмотрены такие концепции, как импульсный характер передачи информации, асинхронность, активационная, временная и структурная разреженность, квантованность и вычисления в памяти. Этот анализ служит теоретическим фундаментом для последующих практических разработок.

В третьей главе представлены основные научные результаты работы: два новых алгоритма оптимизации работы («инференса») нейронных сетей для задач RL. Первый алгоритм основан на комбинации структурной разреженности (прунинга) и квантования. Второй алгоритм сочетает структурную и временную разреженность (дельта-алгоритм). Автор дает детальное описание методов, включая псевдокод и обоснование выбора параметров.

Четвертая глава содержит обширное экспериментальное исследование, подтверждающее эффективность предложенных методов. Эксперименты проведены на стандартных наборах данных (MuJoCo, Atari) с использованием популярных алгоритмов RL (SAC, DQN). Результаты демонстрируют впечатляющее сокращение размеров моделей

(до 400 раз) при сохранении качества работы. Автор не ограничивается анализом качества предсказаний, но и исследует влияние методов на количество обращений к памяти и вычислительных операций, что напрямую соотносится с заявленными целями работы.

Достоверность и обоснованность полученных результатов обеспечена их строгим теоретическим обоснованием, проведением серии вычислительных экспериментов на стандартных тестовых средах, использованием стандартных метрик оценки качества и воспроизводимостью предлагаемых алгоритмов.

Новизна работы заключается в следующем:

- Предложена оригинальная классификация вычислительных принципов мозга человека применительно к системам ИИ.
- Впервые разработан метод оптимизации работы («инференса») для нейронных сетей в задачах RL, основанный на комбинации структурной разреженности и квантования, позволяющий добиться сокращения модели на 1-2 порядка.
- Впервые разработан метод оптимизации, комбинирующий структурную и временную разреженность для задач RL, что позволяет значительно сократить объем вычислений и обращений к памяти.

Научная и практическая значимость работы состоит в развитии теоретических основ построения энергоэффективных систем ИИ и в создании конкретных практических методов, позволяющих существенно ускорить работу («инференс») и снизить её стоимость для критически важных приложений. Разработанные алгоритмы имеют высокий потенциал для внедрения в реальные системы. Практическая ценность подкреплена публикацией результатов в высокорейтинговых журналах.

Основные результаты опубликованы в 3 публикациях, все – в изданиях WoS (две статьи опубликованы в журнале Q1, одна – в Q2), Scopus, RSCI, рекомендованных для защиты в диссертационном совете

МГУ им. М.В. Ломоносова по специальности 2.3.5. Автореферат в полной мере отражает содержание диссертационной работы.

Замечания по диссертационной работе:

1. В работе представлены результаты по сокращению модели и операций, однако отсутствует детальный анализ влияния предложенных методов на реальное энергопотребление и скорость работы на конкретных аппаратных платформах.

2. Автор отмечает, что введенная в одном из предложенных методов асинхронность нейронов обеспечивает большую масштабируемость. Хотелось бы видеть развитие этой мысли (подкрепление тезиса экспериментальными данными или анализом).

3. Аналогичное предыдущему можно сделать замечание к фразе про «сложное внутреннее взаимодействие и взаимная интерференция обоих алгоритмов оптимизации».

Вместе с тем, указанные замечания к диссертации не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 2.3.5 Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Иванов Дмитрий Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-

математических наук по специальности 2.3.5 Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, доцент

Руководитель отдела в ООО «ВК»

Дьяконов Александр Геннадьевич

04.12. 2025 г.

Контактные данные:

Тел.: +7 916 160 17 02, email: alexander.dyakonov@vkteam.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:

01.01.09 – Дискретная математика и математическая кибернетика

Адрес места работы:

125167, г. Москва, Ленинградский проспект, д. 39, стр. 79.

ООО «ВК»

Тел.: +7 916 160 17 02, email: alexander.dyakonov@vkteam.ru

Подпись руководителя отдела в ООО «ВК»

Дьяконова А.Г. удостоверяю:

Начальник отдела кадров Сидорова О.В.

04.12. 2025 г.