

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Борданова Ильи Алексеевича на тему «Модели и алгоритмы оценки функциональной корректности искусственных нейронных сетей на базе мемристоров», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки)

Проблема оценки качества систем искусственного интеллекта всегда являлась важной задачей при их аппаратной реализации. Особую значимость данная проблематика приобрела в последнее десятилетие в связи с бурным развитием нейроморфных вычислителей, которые рассматриваются в качестве одной из наиболее перспективных альтернатив классической архитектуре Джона фон-Неймана. Мемристивные устройства, выступающие в роли электронных аналогов биологических синапсов, позволяют реализовать энергоэффективное матричное умножение за один такт и обеспечивают возможность создания компактных систем обработки информации для интернета вещей, носимой электроники, бортовых устройств беспилотных летательных аппаратов и робототехнических комплексов, где ключевыми требованиями являются минимальное энергопотребление, малые массогабаритные характеристики и возможность обработки данных непосредственно на устройстве без обращения к облачным ресурсам.

Однако широкому внедрению мемристивных нейросетей в практику препятствует наличие ряда технологических ограничений, связанных с физическими процессами в материалах. К числу таких ограничений относятся вариабельность параметров резистивного переключения от цикла к циклу и разброс характеристик от устройства к устройству. Эти неидеальности, обусловленные стохастической природой формирования и разрушения проводящих филаментов в диэлектрике, приводят к тому, что задаваемые сопротивления мемристоров отличаются от номинальных значений, что, в свою очередь, вызывает искажение синаптических весов и, как следствие, снижение функциональной корректности нейросети в целом.

Таким образом, существует объективная потребность в разработке моделей и алгоритмов, которые, с одной стороны, учитывали бы физические особенности мемристоров, а с другой – обладали бы достаточной вычислительной эффективностью для моделирования больших архитектур нейросетей для оценки их функциональной корректности. Поэтому тема диссертационного исследования, не вызывает сомнений в своей актуальности.

В диссертационной работе И.А. Борданова проведено исследование влияния погрешностей задания сопротивлений мемристоров на функциональную корректность искусственных нейронных сетей на базе мемристоров (ИНСМ). Дана оценка возможности применения существующих методов моделирования, выявлены их ограничения. Разработана модель и алгоритм моделирования зависимости сопротивления мемристивного устройства от параметров сигналов его задания, основанные на статистическом подходе с использованием теории планирования эксперимента. Разработана модель и алгоритм моделирования зависимости веса синапса нейрона от сопротивления мемристора и схемы формирования веса, позволяющие прогнозировать разброс весовых коэффициентов. Разработан оригинальный алгоритм оценки функциональной корректности ИНСМ, отличающийся учетом погрешностей весов и ограничений по максимально допустимым напряжениям на входе нейронов. Разработанный алгоритм позволяет повысить степень точности результатов моделирования до 3% отклонения от экспериментальных данных.

Судя по автореферату, работа получила хорошую апробацию на научно-технических конференциях, включая международные. Основные положения диссертации опубликованы в 14 работах, 4 из которых входят в перечень ВАК, 4 публикации индексируются в международных базах Scopus/Web of Science, получены 3 свидетельства Российской Федерации о государственной регистрации программ для ЭВМ.

К недостаткам работы можно отнести следующее:

– одним из ключевых преимуществ ИНСМ является низкое энергопотребление. В работе основное внимание уделено функциональной корректности. Проводилась ли оценка энергопотребления разработанных аппаратных реализаций? Существует ли корреляция между выбранными параметрами сигналов программирования (амплитудой, длительностью) и энергозатратами на запись весов, и учитывался ли этот фактор при выборе оптимальных параметров?

– из текста автореферата не ясно, как выбирались параметры и уровни сигнала для построения модели 1.

Указанные замечания не снижают общей ценности работы.

Судя по автореферату, диссертация Борданова И.А. является завершённой научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения для решения научной задачи, имеющей существенное значение для развития систем искусственного интеллекта. Диссертация содержит новые научно-обоснованные технические решения и разработки, удовлетворяет всем необходимым требованиям ВАК (п. 9 - 14 Положения о присуждении учёных степеней), а сам автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Отзыв составил:

Заведующий кафедрой радиотехнической электроники и наноэлектроники, к.т.н.,  Смирнов Владимир Александрович
доцент «18»  2026 г.

Подпись Смирнова В.А. удостоверяю:  Федотов Александр Александрович
И.о. директора института нанотехнологий, «20»  2026 г.
электроники и приборостроения Южного
федерального университета М.П.

Полное наименование организации: Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» (ЮФУ)
344006, Ростовская обл., г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42.
+7(863)218-40-00, доб. 30116
info@sfedu.ru