



**НПО
ЛАВОЧКИНА**

Акционерное общество
«Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина»
(АО «НПО Лавочкина»)

Ленинградская ул., д. 24, г. Химки, Московская область, 141402, ОГРН 1175029009363, ИНН 5047196566
тел.: +7 (495) 573-56-75, факс: +7 (495) 573-35-95, e-mail: npol@laspace.ru, www.laspace.ru

«30 05» 2023 г. № 502/НЧЗ9

На № _____ от _____

Ученому секретарю диссертационного
совета Д ПНИПУ.05.14,
д.т.н., профессору Фрейману В.И.
614990, г. Пермь, Комсомольский
проспект, д. 29, ауд.345

Отзыв

официального оппонента, кандидата технических наук,

Соколовой Юлии Васильевны

на диссертацию Бахтина Вадима Вячеславовича

на тему: «Метод синтеза нейросетевых устройств для реализации режима fog computing», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.2 – Вычислительные системы и их элементы

Нейронные сети являются новой технологией и повсеместного применения в авиации пока не получили. Среди основных областей применения нейронных сетей – прогнозирование, принятие решений, распознавание образов, оптимизация, анализ данных.

Одной из важных задач является разработка и реализация методов синтеза нейросетевых устройств для реализации распределенных нейронных сетей, который сможет сбалансировать нагрузку на уже имеющиеся устройства и оптимально распределить нагрузку между узлами вычислительной системы,

имеющими запас производительности, при этом не вызвав на них существенного ухудшения как технико-экономических, так и эксплуатационных характеристик.

В работе Бахтина Вадима Вячеславовича предлагаются модель, метод и алгоритмы работы нейросетевых устройств в режиме туманных вычислений, необходимые для повышения качественных и эксплуатационных характеристик вычислительных систем и их элементов, в зависимости от входных параметров декомпозиции нейронной сети и оптимального распределения блоков нейронной сети между узлами. Метод, разработанный автором, может использоваться не только в рамках данной задачи, но и для решения других многокритериальных задач, в которых необходимо находить оптимальные по заданным параметрам декомпозиции нейронных сетей.

Диссертация Бахтина Вадима Вячеславовича представляет собой законченную исследовательскую работу, которая состоит из введения, литературного обзора, методической части, результатов исследований и их анализа, заключения и списка литературы. Работа изложена на 153 страницах машинописного текста, содержит 10 таблиц, 43 рисунков и 104 библиографических источника.

Научная новизна работы показана в следующих пунктах:

1. *Математическая модель искусственной нейронной сети для синтеза нейросетевых устройств, ориентированных на туманные вычисления, позволяющая получать требуемую загрузку вычислительных узлов при распределении блоков нейронной сети между различными устройствами при помощи балансировки размеров декомпозированных блоков.*

2. *Метод синтеза устройств реализации искусственных нейронных сетей, ориентированных на туманные вычисления, позволяющий выбрать оптимальный вариант декомпозиции нейронной сети по заранее определенным параметрам (стоимости, энергопотреблению, времени работы распределенной нейронной сети и времени отклика определенных устройств на внешние сигналы) и продолжать работу даже в случае отказа или сбоя части устройств в каскаде.*

3. *Алгоритм декомпозиции монолитной нейронной сети на каскад блоков блочной нейронной сети, адаптированной для туманных вычислений*, позволяющий реализовать диагностику и адаптацию каскада вычислительных устройств в случае отказа или сбоя, а также проводить многократную декомпозицию в глубину, например, если потребуется декомпозировать отдельный блок еще на несколько блоков.

4. *Алгоритм выбора оптимального варианта декомпозиции нейронной сети для реализации на распределенных вычислительных устройствах*, позволяющий находить Парето-оптимальную декомпозицию монолитной нейронной сети сразу по нескольким важным для вычислительной системы параметрам.

Теоретическая и практическая значимость работы также выражена в следующем.

Полученные научные результаты, а именно модель, метод и алгоритмы были активно использованы на практике. Это доказывают акты внедрения, представленные Бахтиным В.В. в приложениях.

По основным показателям отмечено, что внедрение результатов работы позволило уменьшить затраты на создание прототипа системы биометрической идентификации на 27% (акт ЗАО «Проминформ»), а также сократить энергопотребление прототипа системы биометрической идентификации на 12,7% (акт ЗАО «Проминформ»). Результаты работы внедрены в учебный процесс кафедры «Автоматика и телемеханика» (акт ФГАОУ ВО «ПНИПУ»).

Во **введении** представлено современное положение дел в области использования вычислительных систем и их элементов в различных сферах и при различных условиях эксплуатации. Проведенный обзор, а также сформулированные актуальность и степень научной проработанности, позволили автору определить объект и предмет исследования, а также цель и задачи, решение которых позволит достичь указанной цели. Автором также описаны методы, применяемые в данном исследовании.

В первой главе проведён общий анализ существующих методов синтеза нейросетевых устройств, реализации распределенных нейронных сетей. Также, рассмотрев способы осуществления распределенных нейросетевых вычислений с использованием различных архитектур вычислительных систем, Бахтин В.В. выбрал синтез вычислительных систем и их элементов, используемых для реализации искусственных нейронных сетей, ориентированных на туманные вычисления, в качестве предмета своего исследования. Автор, проанализировав несколько методов синтеза нейросетевых устройств и реализации распределенных нейронных сетей, сформулировал математическую постановку задачи данного исследования.

Во второй главе автор производит анализ существующих архитектур нейронных сетей и накладываемых на них ограничений, описанных в работах отечественных и зарубежных ученых. Бахтин В.В. отмечает, что с учетом ограничений, которые выставляются в представленной работе, и необходимых для этого усовершенствований, рассматриваемая задача еще не была решена. Необходимость декомпонировать нейронную сеть на несколько блоков становится основой для разработанной автором математической модели искусственной нейронной сети, ориентированной на туманные вычисления.

Разработанная математическая модель основывается на модели монолитной нейронной сети. Разработаны математические модели нейронных сетей с различными архитектурами: сети прямого распространения (FFNN), сверточные и рекуррентные. Представленная модель подразумевает, что к моменту декомпозиции нейронные сети уже были обучены.

Сформулированы и доказаны теоремы о существовании блочной нейронной сети и об эквивалентности монолитной и блочной нейронных сетей. Адекватность математической модели подтверждается доказательствами сформулированных теорем. Математическая модель позволяет рассчитать различные параметры декомпозиции, используя несколько способов разделений нейронной сети на блоки. Также модель позволяет получить оптимальное разбиение для конкретного случая.

В **третьей главе** представлен разработанный метод синтеза устройств реализации искусственных нейронных сетей, ориентированных на туманные вычисления, и его отказоустойчивой модификации.

Метод синтеза устройств реализации распределенной нейронной сети позволяет совместить знания о параметрах нейронной сети и ее архитектуре с выбранными параметрами вычислительного каскада, позволяя при этом формировать оптимальную по выбранным параметрам последовательность нейросетевых устройств для реализации режима fog computing.

Метод имеет также отказоустойчивую реализацию, основанную на активной отказоустойчивости, реализуемой методами диагностики и последующей адаптации. Реконфигурация, то есть перераспределение функций в рамках всего вычислительного каскада, заключается в том, что в процессе адаптации замещающий узел системы начнет выполнять дополнительно функции отказавшего узла.

Результаты моделирования показывают, что в рассмотренных ситуациях метод, разработанный в данной главе, имеет преимущества по сравнению с существующими при решении задачи декомпозиции искусственной нейронной сети и реализации полученных блоков в каскаде нейросетевых устройств. Преимущества заключаются в возможности выбрать оптимальный вариант декомпозиции по заранее определенным параметрам, и организовать вычислительный каскад таким образом, чтобы продолжать работу даже в случае отказа части устройств в каскаде.

В **четвертой главе** автор описывает разработанные алгоритмы: преобразования классической нейронной сети в нейронную сеть, адаптированную для туманных вычислений, запуска и работы распределенной нейронной сети и выбора оптимального варианта декомпозиции нейронной сети для реализации на распределенных вычислительных устройствах. Алгоритм декомпозиции нейронной сети на блоки подразумевает 2 этапа, на каждом из которых происходит расчёт по разработанным модели и методу. Данный

алгоритм позволяет в рамках своей работы выбрать оптимальный способ декомпозиции в зависимости от входных параметров.

Разработанный модифицированный алгоритм запуска и работы распределенной нейронной сети отличается возможностью диагностики работы соседних вычислительных узлов, а также реконфигурации одиночного вычислительного узла таким образом, чтобы он мог принять на себя вычисления от соседнего отказавшего узла. Следует отметить, что все представленные алгоритмы имеют полиномиальную сложность.

Бахтин В.В. в данной главе представил разработанные программы, которые были написаны на языке JAVA, и реализовывали декомпозицию монолитной нейронной сети различными способами и распределенный запуск блочной НС.

В пятой главе приведены результаты внедрения результатов диссертационной работы в модификацию программно-аппаратного комплекса зала заседаний ЗАО «Проминформ». Рассмотренная система состоит из нескольких вычислительных узлов, которые разделили между собой новую нагрузку, в виде нейросетевых вычислений. Данная система решает задачи идентификации и авторизации на рабочих местах с помощью алгоритмов распознавания биометрических данных, а также голосования, выступления по вопросам повестки, работы с электронными документами. Разработанные автором модель, метод и алгоритмы были адаптированы и внедрены в прототип разрабатываемой модификации системы, что в свою очередь позволило уменьшить затраты на создание прототипа системы биометрической идентификации на 27%, а также сократить энергопотребление прототипа системы биометрической идентификации на 12% и более.

Важно отметить, что результаты, полученные в рамках моделирования, и практические результаты, полученные в реальной системе, не противоречат друг другу.

В заключении автором сформулированы основные результаты, полученные в рамках проводимого исследования, а также сделаны выводы. Эти выводы полностью отражают научные достижения автора.

Тем не менее, к представленной работе имеется ряд замечаний:

1. В анализе предметной области рассмотрено недостаточное количество работ, раскрывающих проблематику блочного синтеза нейросетевых устройств для распределенных вычислений.

2. Недостаточно описаны преимущества разработанного метода синтеза нейросетевых устройств при решении многокритериальной задачи.

3. Недостаточно описаны характеристики вычислительных узлов полученной блочной нейронной сети, с точки зрения взаимозаменяемости, выполняется ли для них свойство коммутативности.

4. Эксперименты, представленные для проверки эффективности полученных результатов не рассматривают достаточно небольшое число элементов вычислительной системы (<100).

5. При подробном рассмотрении рисунков 14 и 15 создается впечатление, что выход блока номер 2 идет на вход блоку D-1, что не подтверждается описанием алгоритма, а значит на рисунке допущена неточность.

Используемые Бахтиным В.В. подходы к решению исследовательских и практических задач доказывают свою состоятельность и характеризуют его как сформировавшегося исследователя и специалиста в области вычислительной техники.

Считаю, что диссертационная работа Бахтина В.В. является актуальной для практического применения в различных сферах использования вычислительных систем.

Диссертация выполнена на достаточно высоком научном и техническом уровне с использованием современных инструментальных средств и методик, а основные выводы достаточно обоснованы и подтверждены результатами внедрения.

Основные положения, выносимые на защиту, соответствуют пунктам паспорта научной специальности 2.3.2 «Вычислительные системы и их элементы»:

1. Математическая модель распределенной искусственной нейронной сети для синтеза нейросетевых устройств, ориентированных на туманные вычисления.

2. Метод синтеза устройств реализации искусственных нейронных сетей для работы в режиме туманных вычислений и его модификация, позволяющая обеспечить отказоустойчивость.

3. Алгоритм декомпозиции монолитной нейронной сети на каскад блоков нейронной сети, адаптированной для туманных вычислений.

4. Алгоритм выбора оптимального варианта декомпозиции нейронной сети для реализации на распределенных вычислительных устройствах.

5. Результаты апробации разработанных модели, метода и алгоритмов, реализованных в структуре аппаратного и программного обеспечения элементов вычислительных систем.

Диссертационная работа Бахтина Вадима Вячеславовича «Метод синтеза нейросетевых устройств для реализации режима fog computing» представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой содержится постановка и решение актуальной научно - технической задачи разработки метода синтеза нейросетевых устройств для реализации режима fog computing

Основные положения соответствуют пункту 7 «Разработка научных методов и алгоритмов организации параллельной и распределенной обработки информации, многопроцессорных, многоядерных, многомашинных и специальных вычислительных систем» и пункту 4 «Теоретический анализ и экспериментальное исследование функционирования вычислительных систем и их элементов в нормальных и экстремальных условиях с целью улучшения их технико-экономических и эксплуатационных характеристик» паспорта научной специальности 2.3.2 «Вычислительные системы и их элементы».

Диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Бахтин Вадим Вячеславович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.2 - Вычислительные системы и их элементы.

Я, Соколова Юлия Васильевна, даю своё согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент:

Ведущий специалист,
кандидат технических наук

Соколова Ю.В.

Соколова Юлия Васильевна

Кандидатская диссертация защищена по специальности 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления

Подпись ведущего специалиста, кандидата
технических наук Соколовой Ю.В. удостоверяю

Заместитель генерального директора
по персоналу и общим вопросам



 Шолохова И.В.

Акционерное общество «Научно-производственное объединение
им. С.А. Лавочкина» (АО «НПО Лавочкина»)

Адрес: 141400, г. Химки, Московская область, ул. Ленинградская, д. 24

Тел.: +7 (495) 575-55-87,

Эл. почта: jv.sokolova@mail.ru