



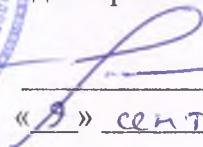
МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»
(КарНЦ РАН)

ул. Пушкинская, 11, г. Петрозаводск, 185910
тел. (8142) 76-97-10, 76-60-40, факс 76-96-00 E-mail: krcras@krc.karelia.ru
ОКПО 02700018, ОГРН 1021000531133 ИНН/КПП 1001041594/100101001

УТВЕРЖДАЮ

И.о. Генерального директора
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр
Российской академии наук»
член-корреспондент РАН
доктор биологических наук




О.Н. Бахмет
« 9 » сентября 2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук» на диссертационную работу Сунь Цюши «Машинное обучение для оптимизации распределения ресурсов в беспроводных системах связи», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Актуальность темы диссертации

Диссертация Сунь Цюши посвящена разработке методов оптимизации распределения ресурсов в беспроводных системах связи с использованием машинного обучения и графовых нейронных сетей. В системах беспроводной связи ресурсами являются полоса пропускания, мощность, частота и время. Пропускная способность системы беспроводной связи зависит от доступных ресурсов сети, а также от методов распределения ресурсов, реализуемых в передатчике. Рациональность распределения ресурсов позволяет достичь или приблизиться к оптимальной производительности системы. Поэтому очень важно разработать эффективные стратегии распределения ресурсов.

Первая задача состоит в построении математической модели задачи распределения ресурсов в декартовой системе координат для различных сложных сценариев сетей связи

(сотовые сети, D2D-сети, крупномасштабные сверхплотные сети), которая соответствует принципам управления системой связи и используется для моделирования рабочих параметров и производительности системы в реальной среде.

Вторая задача заключается в улучшении существующих метаэвристических алгоритмов оптимизации на основе стохастического поиска для оптимизации проблемы распределения ресурсов в однородных сотовых сетях на основе среды "черного ящика".

Третья задача посвящена разработке оптимизационного алгоритма, основанного на глубоком обучении, для распределения ресурсов в однородных D2D-сетях со структурированными данными.

Четвертой задачей является разработка алгоритмической схемы на основе глубокого обучения графов для оптимизации распределения ресурсов гетерогенных D2D-сетей с неструктурированными данными.

Наконец, пятая задача заключается в разработке алгоритмического каркаса на основе обучения с подкреплением для задачи оптимального распределения ресурсов гетерогенных D2D-сетей с крупномасштабной сверхплотной природой.

Актуальность этих задач определяется тем, что результаты и методы их решения вносят вклад в развитие теории методов оптимизации и машинного обучения. Хотя к настоящему моменту разработано множество методик решения подобных задач, в том числе с использованием итерационных численных методов оптимизации, в реальных промышленных сценариях их реализация оказывается сложной в первую очередь из-за размерности и сложной структуры исследуемых систем. Поэтому важно использовать альтернативные подходы, в том числе основанные на методах искусственного интеллекта и машинного обучения, чему и посвящена данная диссертация.

Новизна полученных результатов

Все выносимые на защиту результаты являются новыми. Научная новизна диссертации отражена в следующих аспектах: во-первых, предложен новый метод распределения ресурсов, сочетающий эвристические алгоритмы и глубокое обучение, и путем сравнительного тестирования получено наиболее подходящее решение для задачи распределения ресурсов сетей связи. Во-вторых, задача распределения ресурсов в беспроводной сети связи представлена как задача оптимизации графа, и предложены модели обучения с учителем и без учителя на основе графовых нейронных сетей. Кроме того, разработан новый алгоритм GNN для граф-структурированных гетерогенных сетей связи, который эффективно использует узловые и гетерогенные свойства. Наконец, впервые представлен алгоритм обучения с подкреплением на основе теории среднего поля для крупномасштабных сверхплотных сетей, который оптимизирует распределение ресурсов и управление помехами в сетях связи.

Теоретическая и практическая значимость

Диссертационное исследование имеет большое теоретическое и практическое значение. Практическая ценность работы определяется областью применения исследуемых прикладных моделей. Оптимизация стратегии распределения ресурсов в беспроводных сетях связи позволяет повысить качество и уровень обслуживания сети со стороны операторов связи, удовлетворяющих запросы пользователей, а также снижает стоимость оборудования для повышения экономической эффективности и конкурентоспособности рынка. С

теоретической стороны, данное исследование улучшает существующие алгоритмы и разрабатывает новую структуру алгоритмов оптимизации для сложных систем связи, а также проверяет сходимость и устойчивость алгоритмов с помощью математических доказательств, анализа сложности и экспериментов, что обеспечивает прочную основу для дальнейших научных исследований.

Содержание работы

Диссертация Сунь Цюши состоит из пяти глав: введения, заключения и списка литературы. Во Введении кандидат тщательно описал мотивацию работы, основной вклад и методологию. Очень подробно описано состояние дел в данной области. Глава 1 посвящена проблемам управления мощностью в однородных сотовых сетях, в которой невыпуклые задачи рассматриваются как "черный ящик" и используются эвристические алгоритмы для поиска близких к оптимальным решений. Проводится подробное сравнение эффективности популярных эвристик с выделением наиболее эффективных.

В главах 2 и 3 Сунь Цюши углубляется в практическое проектирование формирования луча и распределения мощности в однородных сетях D2D, предлагая структуру, объединяющую глубокое обучение с эвристическими алгоритмами. Алгоритмы распределения под наблюдением, основанные на DNN (глава 2) и GNN (глава 3), используют состояния канала и близкие к оптимальным распределения ресурсов в качестве обучающего набора. Стратегия распределения ресурсов формируется с учетом топологии сети с помощью методов обучения графов.

В главе 4 Сунь Цюши рассматривает более сложные гетерогенные системы связи D2D, используя обучение без учителя для обучения моделей графовых нейронных сетей. Здесь предлагаются алгоритмы распределения ресурсов, основанные на графовых сетях с механизмом внимания (GAT), учитывающих пространственные данные. Цель состоит в том, чтобы максимизировать общую скорость системы путем совместной оптимизации конструкции формирования луча и распределения мощности.

Наконец, в главе 5 Сунь Цюши рассматривает распределение ресурсов в гипермасштабных плотных гетерогенных сетях связи, предлагая алгоритм, основанный на мультиагентном обучении с подкреплением (MARL) и игре типа среднего поля (MFTG). В этой главе решаются проблемы масштабируемости, рассматриваются взаимодействия между агентами и различными средними полями для обеспечения адекватного распределения ресурсов в гетерогенных мультиагентных системах.

Апробация работы и публикации

Основные результаты данной работы докладывались на международных конференциях "Устойчивость и процессы управления" (Санкт-Петербург, 2021); "Международная конференция по ролевому интеллекту" (Шэньчжэнь, 2023). По результатам диссертации были опубликованы 6 печатных работ, 4 из которых включены в Scopus/WoS/SCI, и одна работа принята к публикации в журнале «Вестник СПбГУ».

Замечания

По оформлению и содержанию диссертации, в целом, нет существенных недостатков, которые могли бы повлиять на общее впечатление о работе. Однако, имеются некоторые

замечания и комментарии, которые могут быть учтены и использованы автором диссертации в своих будущих научных исследованиях и их оформлении.

1. В работе можно было бы расширить освещение вопроса масштабируемости предлагаемых алгоритмов. В частности, было бы полезно исследовать зависимость времени обучения модели глубокого обучения от размера обучающих данных. Также представляет интерес вопрос зависимости характеристик размера нейронной сети, например, числа слоев, от размерности задачи (числа передатчиков, приемников, доступных каналов связи и т. д.)
2. Важным свойством методов, основанных на машинном обучении, является их чувствительность к переобучению. К сожалению, в работе практически не уделяется внимание изучению этих свойств для предлагаемых алгоритмов.
3. Текст содержит опечатки, пунктуационные ошибки. В русском варианте диссертации имеются неточности перевода с английского языка. Некоторые аббревиатуры используются без расшифровки (в частности, во введении), что затрудняет восприятие материала диссертации. Также наблюдается некоторая небрежность в оформлении списка литературы, в том числе собственных публикаций диссертанта.

В целом отмеченные замечания не снижают значимости работы, являясь техническими либо рекомендациями для дальнейших исследований в данной области.

Выводы

Работа является законченной и выполненной на высоком научном уровне. Полученные результаты подробно обсуждаются и комментируются. Кроме Введения, каждая глава начинается с истории вопроса и сравнительного анализа известных до диссертации результатов. При осуществлении необходимых выкладок, представлении алгоритмов и интерпретации численных экспериментов автор проявил очевидные аналитические способности. Перечисленные замечания являются техническими, либо носят характер рекомендаций для дальнейших исследований и не снижают хорошего впечатления от работы. Работа написана на высоком научно-теоретическом уровне. Автору удалось овладеть теоретической базой, разработанной предшественниками, и получить самостоятельные оригинальные результаты в ходе решения поставленной в работе задачи. Несомненным достоинством работы является реализация и синтез различных классов алгоритмов глубокого обучения (графовые нейронные сети, обучение с подкреплением) и различных сценариев взаимодействия. Полученные результаты представляют значительный вклад в разработку новых подходов к распределению ресурсов в сложных сетях.

Таким образом, диссертационная работа соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Сунь Цюши заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Пункты 9 и 11 указанного Порядка диссертантом не нарушены.

Отзыв обсужден и одобрен на расширенном заседании лаборатории математической кибернетики Института прикладных математических исследований – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук (протокол № 4 от 26 апреля 2024 г.). Присутствовало на заседании 7 чел. Результаты голосования: «за» - 7 чел., «против» - нет, «воздержались» - нет.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании Ученого совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук» (КарНЦ РАН), протокол № 07 от 21.08.2024 г.

Отзыв подготовила:

Чиркова Юлия Васильевна, доктор физико-математических наук по специальности 1.2.3. – «Теоретическая информатика, кибернетика», ведущий научный сотрудник лаборатории информационных компьютерных технологий Института прикладных математических исследований – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук (ИПМИ КарНЦ РАН). Адрес электронной почты: julia@krc.karelia.ru.

Вед. н. с. ИПМИ КарНЦ РАН,
д. ф.-м. н.

Чиркова Ю.В. Чиркова

Председатель Ученого Совета КарНЦ РАН
Чл.-корр. РАН, д.б.н.

Бахмет О.Н. Бахмет

Собственноручную подпись
Ю.В. Чирковой и О.Н. Бахмет удостоверяю:

Ученый секретарь КарНЦ РАН
9 сентября 2024 г.

Фокина Н.Н. Фокина



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук» (КарНЦ РАН)

Почтовый адрес: 185910 Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская д. 11

Телефон: (8142) 76-60-40

Сайт организации: <http://www.krc.karelia.ru/>

Адрес электронной почты: krccras@krc.karelia.ru