



N 2436-73

«18» 09 2024

## ОТЗЫВ

члена диссертационного совет Барсегяна Вани Рафаеловича на диссертацию Сунь Цюши на тему: «Машинное обучение для оптимизации распределения ресурсов в беспроводных системах связи», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

**Актуальность темы исследования.** В системах беспроводной связи ресурсы обычно включают в себя полосу пропускания, мощность, частоту и время. Пропускная способность системы беспроводной связи ограничивается доступными ресурсами и методом распределения ресурсов, используемых передатчиком. В совокупности эти факторы определяют какой объем информации может получить приемник. Различные методы распределения ресурсов обеспечивают разную производительность системы. Основная цель эффективного метода распределения ресурсов - рационально распределить ограниченные ресурсы между приемниками, чтобы максимально эффективно использовать ограниченные ресурсы и достичь оптимальной производительности системы. Поэтому вопросы построения эффективных стратегий распределения ресурсов остаются востребованными, актуальными и находятся в центре внимания специалистов.

В диссертационной работе рассматривается машинное обучение для оптимизации распределения ресурсов в беспроводных системах связи. Первая глава 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. Машинное обучение на основе данных устанавливает верхний предел, когда эвристические алгоритмы обеспечивают близкие к глобальному оптимальные решения для последующего обучения с учителем.

Во второй и третьей главах рассматривается 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. Учет топологии сети учитывается стратегией распределения ресурсов с помощью методов обучения графов.

33-06-797 от 24.09.2024



В четвертой главе рассматриваются более сложные гетерогенные системы связи D2D, используя обучение без учителя для обучения моделей графовых нейронных сетей. Предложенные алгоритмы распределения под наблюдением (GAT и EGAT) сосредоточены на GAT с пространственным доменом, а для повышения эффективности обучения в них введены свойства узлов. Цель состоит в том, чтобы максимизировать общую скорость системы путем совместной оптимизации конструкции формирования луча и распределения мощности.

Наконец, в пятой главе рассматривается распределение ресурсов в гипермасштабных плотных гетерогенных сетях связи, предлагая алгоритм, основанный на многоагентном 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.

**Теоретическая значимость и научная новизна.** 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, беспроводная сеть связи представлена как задача оптимизации графа и предложены контролируемые и неконтролируемые модели обучения на основе графовых нейронных сетей. Кроме того, разработан новый алгоритм GNN (графовые нейронные сети) 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.

**Практическая значимость** диссертации заключается в том, что исследование оптимизации ресурсов в беспроводных сетях является не только углублением теории, но и имеет важное направляющее значение для практических приложений. Также практическую значимость представляет алгоритм обучения с подкреплением, основанный на теории среднего поля, для крупномасштабных сверхплотных сетей.

**Достоверность** результатов диссертации определяется математическими формулировками проблемы, корректностью приведенных выводов, а также публикацией основных положений диссертации в рецензируемых журналах и докладами на международных конференциях по искусственному интеллекту и оптимизации.

Диссертация написана аккуратно и на хорошем научном уровне. В то же время выделю следующие **замечания**:

1. В работе было бы желательно привести явное сравнение результатов работы с предыдущими работами.
2. Теоретическая часть алгоритма хорошо объяснена и кажется технически правильной. Однако было бы желательно привести анализ сложности предложенного алгоритма.

Указанные замечания не носят принципиального характера и не снижают общего положительного впечатления от работы.

Диссертационная работа Сунь Цюши «Машинное обучение для оптимизации распределения ресурсов в беспроводных системах связи» представляет собой ценное исследование, выполненное на высоком научном уровне, и несомненно, представляет теоретический и практический интерес. Полученные автором результаты, выводы и рекомендации являются новыми, достоверными и обоснованными.

Диссертация Сунь Цюши на тему: «Машинное обучение для оптимизации распределения ресурсов в беспроводных системах связи» 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. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.

Член диссертационного совета,  
доктор физ.-мат. наук, профессор,  
ведущий научный сотрудник Института механики  
Национальной академии наук Республики Армения,  
профессор кафедры Механики Ереванского  
государственного университета

В. Р. Барсегян

« 18 » сентября 2024 г.

Подпись д.ф.-м.н., профессора В.Р. Барсегяна заверяю  
Ученый секретарь Института механики НАН РА, к.ф.-м.н.



Т. А. Галичян