

Отзыв

Председателя диссертационного совета Аббасова Меджида Эльхана оглы 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

Распределение ресурсов является фундаментальной темой исследований в области беспроводной связи. В условиях быстрого развития систем беспроводной связи традиционные алгоритмы оптимизации распределения ресурсов не могут удовлетворить растущие требования к выполнению в реальном времени, универсальности для больших сетей, распределенной реализации и конфиденциальности. Решению этой проблемы посвящена диссертация Сунь Цюши, в которой разрабатываются методы машинного обучения (ML) для улучшения распределения ресурсов в беспроводных сетях. Вначале в работе рассматриваются задачи дискретной оптимизации. Для решения таких задач предлагается структура, основанная на графовых нейронных сетях (GNN), эффективность которой проверена посредством исследований в области формирования луча и распределения мощности в беспроводных сетях между устройствами (D2D). Метод GNN обладает многими важными свойствами, необходимыми для беспроводной связи, включая обобщение на большие сети без переобучения и устойчивость к поврежденным входным данным. Однако реализация предлагаемого метода GNN является централизованной. Поэтому для решения проблемы распределения ресурсов D2D впоследствии предлагается метод децентрализованного обучения с подкреплением (RL), в котором общая модель распределяется для каждого класса агентов. Численные результаты показывают, что предлагаемый метод RL обеспечивает производительность, превосходящую централизованное обучение с точки зрения точности и скорости вычислений.

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, задача распределения ресурсов в беспроводной сети связи представлена как задача оптимизации графа, и предложены контролируемые и неконтролируемые модели обучения 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.

Степень достоверности

Основные результаты диссертации опубликованы в профильных научных журналах, в частности, Mathematics (SCI Q1), Applied Intelligence (SCI Q2), Informatics and Automation

(Scopus Q4), Vestnik of Saint Petersburg University (Scopus Q4). Основные результаты докладов были представлены на солидных международных научных конференциях по искусственному интеллекту и оптимизации, таких как Stability and control processes, International Conference on Swarm Intelligence.

Теоретическая и практическая значимость работы

Данная работа имеет большое значение как с точки зрения теории, так и с точки зрения практики.

Оптимизация ресурсов беспроводной сети фокусируется на различных метриках производительности, таких как уровень сигнала, спектральная эффективность и емкость сети. Оптимальная конфигурация и динамическая настройка этих показателей помогают обогатить существующую теорию производительности сети, особенно при работе в многопользовательских средах, и помогают разработать более эффективные алгоритмы распределения ресурсов. Кроме того, оптимизация беспроводных ресурсов обычно включает в себя сложные оптимизационные задачи из областей линейного и нелинейного программирования. Изучение решения этих задач не только обогащает саму теорию оптимизации, но и может дать новые идеи и инструменты для применения в других областях.

Что касается практической значимости, стоит отметить, что ускорение темпов урбанизации привело к резкому увеличению количества беспроводных устройств, увеличению нагрузки на ресурсы спектра и более выраженной проблеме перегрузки сетей. В ответ на эти практические вызовы исследования по оптимизации ресурсов могут обеспечить мощную теоретическую поддержку и технические решения для улучшения сетевой среды.

Исследования по оптимизации ресурсов в беспроводных сетях, благодаря глубокой теории и широкому спектру приложений, могут обеспечить прочный фундамент для создания эффективных, безопасных и устойчивых беспроводных сетей за счет углубления теории и одновременного решения практических проблем. С постоянно продолжающимся прогрессом технологий исследования в этой области будут продолжать играть все более важную роль.

Содержание работы

Кандидатская диссертация включает введение, пять глав с подробным описанием результатов исследования, заключение и список литературы. Основным вкладом диссертации являются четыре алгоритмических фреймворка, предложенные автором.

Введение: излагается мотивация исследования и акцентируется внимание на проблемах беспроводных систем связи. Кандидат также описывает основной вклад диссертации и использованную методологию, а также проводит тщательный обзор соответствующей области, что задает основу для последующих глав.

Эвристические алгоритмы: сосредоточившись на решении задач управления мощностью в однородных сотовых сетях, автор рассматривает невыпуклую оптимизационную задачу как «черный ящик», а для поиска близких к оптимальным решений использует эвристические алгоритмы. Диссертант подробно сравнивает несколько популярных эвристик и подчеркивает их эффективность. Таким образом, используя эвристические алгоритмы для получения почти глобальных оптимальных решений, задавая

ориентир для последующих моделей контролируемого обучения, автор определяет потолок производительности для моделей машинного обучения на основе данных.

Алгоритмы глубокого обучения с учителем: исследуются практические схемы формирования луча и распределения мощности в однородных сетях «устройство-устройство» (D2D). Автор предлагает схему, сочетающую глубокое обучение с эвристическими алгоритмами. Глава 2 посвящена алгоритмам распределения мощности на основе глубоких нейронных сетей (DNN), а глава 3 расширяет подход до графовых нейронных сетей (GNN). Эти алгоритмы используют информацию о состоянии канала и близкие к оптимальным политики распределения ресурсов в качестве обучающих данных. Кроме того, в исследовании учитывается топология сети и используются методы обучения графов для эффективного управления стратегиями распределения ресурсов.

Алгоритмы обучения графов без учителя: исследуется сложность гетерогенных систем D2D-коммуникаций. Кандидат использует методы обучения без учителя для обучения моделей графовых нейронных сетей (GNN) для распределения ресурсов. Алгоритмы Graph Attention Network (GAT) и Enhanced Graph Attention Network (EGAT) предлагаются для применения в пространственной области, а для повышения эффективности обучения вводятся свойства узлов. В этой главе основное внимание уделяется максимизации скорости передачи всей системы путем совместной оптимизации конструкции формирования луча и распределения мощности.

Мультиагентный алгоритм обучения с подкреплением: рассматривается проблема распределения ресурсов в сверхбольших плотных гетерогенных сетях связи. Для решения проблемы масштабируемости крупномасштабных сетей автор предложил алгоритм, основанный на мультиагентном обучении с подкреплением (MARL) и игре типа среднего поля. Подход обеспечивает эффективное распределение ресурсов в сложных мультиагентных системах за счет учета взаимодействия между несколькими агентами и различными средними полями.

Заключение: В статье обобщены результаты и вклад исследования, а также обсуждается их потенциальное влияние на будущие системы беспроводной связи. В статье всесторонне исследуется проблема распределения ресурсов в различных сценариях, сочетаются традиционные эвристики с передовыми методами машинного обучения, предлагая инновационные решения для оптимизации беспроводных систем связи.

Замечания и комментарии

По оформлению и содержанию диссертации, в целом, нет существенных недостатков, которые могли бы повлиять на общее положительное впечатление о работе. Однако, имеются некоторые замечания и комментарии, которые могут быть учтены и использованы автором диссертации в будущих исследованиях.

1. Считаю, что в рамках проведенного исследования стоило использовать также и подход, основанный на данных, для исследования максимизации суммарной скорости, который является классическим для задачи оптимизации беспроводных сетей.
2. Неустойчивость является существенной проблемой при обучении нейронных сетей. Данному вопросу в работе можно было уделить большее внимание. Будет ли снижаться скорость передачи данных предлагаемой модельной системы по мере увеличения размера сети?
3. Некоторые части текста требуют тщательного редактирования грамматики и стиля изложения. Это положительно отразится на читаемости диссертации.

Заключение

Диссертация Сунь Цюши на тему: «Машинное обучение для оптимизации распределения ресурсов в беспроводных системах связи» соответствует основным требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук, установленным пунктом 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842 и 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.

11.09.2024

Председатель Диссертационного совета,
Доктор физико-математических наук, доцент,
и. о. заведующего кафедрой математической теории
моделирования систем управления
Санкт-Петербургского Государственного Университета



М.Э. Аббасов