

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Кривовичева Герасима Владимировича на диссертацию 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.

1. Актуальность. В настоящее время беспроводные технологии играют важную роль в самых разных областях техники и промышленности. В частности, на их основе разрабатываются разнообразные мобильные приложения, используемые ежедневно миллионами пользователей. Для успешной работы беспроводных устройств и использующих их приложений требуется уметь грамотно распределять ограниченные ресурсы, предоставляемые для их функционирования. Например, для сотовых сетей, оптимальное в том или ином смысле распределение ресурсов позволяет эффективно предоставлять услуги связи, увеличивать пропускную способность сети и удовлетворять растущие потребности пользователей.

Проведение исследований в области оптимизации распределения ресурсов для беспроводных сетей способствует дальнейшему развитию коммуникационных технологий, улучшает производительность устройств и приложений на основе беспроводных технологий. Такие исследования невозможны без применения методов математического моделирования, численных методов оптимизации и машинного обучения. В связи с этим, тема диссертационного исследования, посвященного применению ряда методов машинного обучения к решению задачи распределения ресурсов в сотовых сетях, без сомнения, являются актуальной.

2. Основные научные результаты и их новизна.

1. Проведен сравнительный анализ метаэвристических алгоритмов в применении к решению задачи о распределении ресурсов в сети. Показана эффективность их применения к решению этой задачи и то, что в целом они дают близкие результаты. При этом выделены преимущества отдельных алгоритмов.

2. Предложены новые подходы к решению задачи распределения ресурсов, основанные на сочетании эвристического алгоритма (выбран метод роя частиц) и глубоких нейронных сетей. Особый интерес представляет подход на основе графовых сетей, учитывающий особенности топологии системы связи.

3. Предложен новый алгоритм решения поставленной задачи на основе методов обучения с подкреплением, использующий метод среднего поля. В рамках алгоритма используется многоагентный подход, в котором пары трансиверов рассматриваются как агенты.

4. Эффективность предложенных алгоритмов и возможности их применения на практике показаны в ходе многочисленных вычислительных экспериментов.

3. Степень обоснованности и достоверности научных положений и выводов, сформулированных соискателем. Достоверность полученных результатов обеспечивается корректным применением методов математического и компьютерного

моделирования, машинного обучения, современных технологий программирования и сравнением с результатами, полученными с применением других методов.

Работа имеет хорошую апробацию: результаты докладывались на международных научных конференциях и есть публикации в журналах из списка ВАК и журналах уровня Q1 Scopus/WoS.

4. Общие сведения о структуре диссертации. Работа состоит из введения, пяти глав и списка литературы. В главе 1 приводятся общие сведения и описываются основные методы решения задачи распределения ресурсов в сотовых сетях. Указана важная роль эвристических алгоритмов для решения возникающих оптимизационных задач. Проведен сравнительный анализ метаэвристических алгоритмов и отмечены перспективы их применения для решения практических задач. Глава 2 посвящена решению задачи о распределении ресурсов в однородной D2D сети. Предложен подход PSO-DNN, основанный на сочетании эвристических алгоритмов и глубоких нейронных сетей. Описаны результаты вычислительных экспериментов, в которых продемонстрирована эффективность предложенного подхода по сравнению с известным методом WMMSE. В главах 3 и 4 для решения той же задачи развивается подход на основе графовых нейронных сетей. Показано, что за счет особенностей архитектуры таких сетей удастся улучшить эффективность решения задачи в рамках используемого подхода. Глава 5 посвящена применению методов обучения с подкреплением к решению поставленной задачи. Предложен подход на основе методов mean-field games и multi-agent reinforcement learning. Показаны его преимущества (рис. 5.4-5.8) и обсуждаются перспективы его применения на практике.

5. Основные замечания.

1. При описании архитектуры нейронной сети в главе 2 указывается, что для активации нейронов скрытых слоев используется функция ReLu, которая является негладкой. В связи с этим возникает вопрос о том, как же вычисляется градиент целевой функции, поскольку при его расчете с помощью алгоритма backward propagation используются производные функций активации.

2. В главах 2 и 4 в качестве основного метода обучения нейросети указан Adam. При этом в тексте никак не обосновано его применение и не приводятся значения гиперпараметров метода, при которых производились расчеты.

3. Хотелось бы видеть в тексте работы детальное описание структуры комплекса (комплексов) программ.

4. На защиту не выносятся комплекс (комплексы) программ, в котором реализуются разработанные алгоритмы. Не указывается, находится ли он в открытом доступе или это коммерческое решение, внедряемое заказчиком.

5. Русскоязычный вариант текста диссертации с большим трудом поддается восприятию (в некоторых местах вообще является машинным переводом с английского оригинала), содержит немало некорректно переведенных терминов, опечаток и грамматических ошибок. Указанные проблемы существенно мешают пониманию текста.

Приведенные замечания не снижают общего положительного впечатления от работы, которая выполнена на качественном уровне и направлена на решение важной прикладной проблемы.

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 научной 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 физико-математических наук, профессор кафедры

моделирования электромеханических и компьютерных систем

Санкт-Петербургского государственного университета,

Кривовичев Г.В.

10.09.2024 г.

