

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Татарниковой Татьяны Михайловны на диссертацию

Чана Тунга Зыонга «Исследование и разработка методов распределения ресурсов воздушных и наземных базовых станций в сетях связи на основе искусственного интеллекта», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Актуальность темы диссертации

Тенденции развития сетей связи общего пользования таковы, что подавляющее большинство их пользователей получает доступ к сети с использованием технологий беспроводной связи. Современные сети мобильной связи четвертого (4G) и пятого (5G) поколений обеспечивают широкий спектр услуг, основанных на технологиях передачи данных. Тенденции развития сетей выражаются в увеличении емкости сети (численности подключенных устройств), доступности связи, повышении достижимой скорости передачи данных, уменьшении задержки доставки данных.

Развитие сетей связи обеспечивается за счет совершенствования базовых технологий, структуры их построения и слияния различных сетей в единую глобальную сеть связи. Предоставление услуг связи характеризуется показателями качества, которые зависят от вероятностно-временных параметров доставки данных. Показатели качества зависят от участка с наихудшими значениями показателей. Как правило, таким участком является участок абонентского доступа, где используются общая среда распространения и ограниченный частотно-временной ресурс.

В сетях 5G и последующих поколений, для обеспечения высокой скорости передачи данных планируется освоение более высокочастотных участков спектра (использование миллиметровых волн), технологии МММО, антенн с управляемой диаграммой направленности, а также подвижных базовых станций, в том числе, размещаемых на БПЛА. В таком случае, структура сети может динамически изменяться при изменениях трафика в сети связи. Реализация такой функциональности требует разработки методической базы для построения средств управления распределением и

позиционированием базовых станций. Автор диссертационной работы «Исследование и разработка методов распределения ресурсов воздушных и наземных базовых станций в сетях связи на основе искусственного интеллекта» выполнил разработку методов распределения ресурсов в гибридных воздушно-наземных сетях. Это безусловно, является актуальной задачей направленной на повышение эффективности современных и перспективных сетей связи.

Степень обоснованности, достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность результатов работы подтверждается корректным применением математического аппарата, результатами имитационного моделирования, публикациями и выступлениями как на российских, так и на международных конференциях.

Основные результаты диссертации, обладающие научной новизной:

1. Модель и методика размещения воздушных базовых станций в трехмерном пространстве для поддержки наземных базовых станций в условиях перегрузки при различной плотности пользователей в нескольких районах на основе решения задачи оптимизации их расположения с использованием метаэвристического алгоритма PSO, что позволяет использовать полученные результаты в густонаселённых районах, на фестивалях и спортивных мероприятиях.

2. Метод максимизации скорости передачи данных при использовании воздушных базовых станций на базе совместной оптимизации их размещения и распределения мощности среди пользователей на основе использования методов обучения с подкреплением, а именно метода Q-learning и жадного алгоритма ϵ -greedy, что позволяет уменьшить высоту расположения воздушных базовых станций и одновременно увеличить скорость передачи данных на 10-20% в зависимости от числа пользователей.

3. Метод оптимизации для решения проблем ассоциации пользователей, распределения энергии и оптимизации местоположения воздушных базовых станций в гибридных сетях на основе радиуса покрытия наземных базовых станций как динамического параметра и использования методов глубокого обучения DDPG и DQN, первый из которых дает увеличение скорости передачи на несколько процентов во всем исследованном диапазоне

изменения радиуса покрытия наземных базовых станций по сравнению со вторым методом.

Публикации по теме диссертации

Основные результаты диссертации изложены в 9 опубликованных работах, в том числе в 3 публикациях в изданиях из перечня ВАК, 1 в издании, индексируемом в SCOPUS, 5 работах в других научных изданиях и материалах конференций, индексируемых в РИНЦ.

Содержание диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Общий объем диссертации 122 страницы, включая список литературы из 131 наименования. В приложении к диссертационной работе приведен документ, подтверждающий внедрение основных результатов диссертационной работы в ученый процесс СПбГУТ.

Во введении приводится обоснование актуальности выбранной темы диссертационного исследования и степень её разработанности, сформулированы цель, задачи и положения, выносимые на защиту, описывается новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

В первой главе работы приводится достаточно подробный анализ современного состояния развития и перспектив использования воздушных платформ. Рассмотрена их интеграция в сетях 5G/6G что требует решения задач оптимизации размещения, управления ресурсами и обеспечения безопасности. Проанализированы особенности каналов воздух-земля и воздух-воздух.

Приведен анализ методов оптимизации размещения воздушных платформ и траекторий полёта.

Во второй главе приведены результаты анализа особенностей каналов воздух-земля и воздух-воздух. Автор формулирует задачу определения оптимального расположения воздушных базовых станций для достижения минимизации их количества. Для решения задачи оптимизации выбран метаэвристический алгоритм роя частиц (PSO). Решение задачи позволяет обслужить максимальное число пользователей при соблюдении требований к качеству обслуживания.

Результаты моделирования показали, что высота размещения воздушной базовой станции зависит от плотности размещения пользователей. Полученные результаты демонстрируют варианты размещения воздушных базовых станций, которые учитывают покрытие пользователей, обеспечение заданного уровня качества и взаимное влияние между базовыми станциями.

В третьей главе автор исследует проблему совместной оптимизации размещения воздушных базовых станций и распределения мощности среди пользователей в целях максимизации скорости передачи данных. Для решения этой задачи используется подход на основе методов обучения с подкреплением, включая Q-learning и алгоритм ϵ -greedy.

В данной главе также рассматривается задача максимизации суммарной скорости передачи данных при ограничениях на местоположение воздушной базовой станции в пространстве и распределения мощности для каждого пользователя. Для эффективного решения этой задачи используется алгоритм Q-learning, который позволяет решать оптимизационную задачу учитывая динамические изменения в сети.

В четвертой главе рассмотрена задача ассоциации пользователей между наземными и воздушными базовыми станциями, а также задача оптимизации мощности и размещения воздушных базовых станций с целью максимизации суммарной скорости нисходящей связи в системе.

Для решения задачи используется алгоритм обучения с подкреплением (DDPG), эффективно работающий с непрерывными пространствами состояний и действий, что делает его подходящим для настройки параметров сети.

Полученные результаты - это модель и метод решения задач ассоциации пользователей, распределения энергии и оптимизации местоположения воздушных базовых станций в гибридных сетях.

Также в данной главе приводится сравнение алгоритмов обучения DDPG и DQN которые показали превосходство DDPG для рассматриваемой задачи.

В заключении автор приводит перечень полученных результатов.

Замечания по диссертационной работе

1. В первой главе приводится анализ воздушных платформ для размещения узлов сети связи, однако автор акцентирует основное внимание на достоинствах тех или иных решений и мало внимания уделяет недостаткам и ограничениям. Например, возможности функционирования НАР в условиях низких температур, малой освещенности, стабильности их положения. Наличие анализа недостатков существенно расширило бы представления о возможности использования тех или иных решений.

2. При описании распределения пользователей по территории во второй главе автору следовало бы более подробно описать используемую модель точечного процесса или метода формирования неравномерного распределения пользователей.

3. Автор в работе приводит ряд аналитических выражений, в которых фигурируют параметры мощности, отношения сигнал/шум, затухания, а для примеров приводит их численные значения, используя обозначения, приведенные в формулах. Однако, численные значения зачастую приводятся не в том виде, в котором они должны быть в формуле.

Например. Во второй главе автор вводит аналитические выражения (2.4) и (2.5) для расчета отношения сигнал/(шум + помеха) в которых фигурирует параметры мощности базовых станций, которые в этих выражениях должны измеряться в единицах мощности, однако в таблице 2.2 для этих же обозначений приводятся значения уровня мощности в логарифмических единицах. Аналогично, в третьей главе выражение (3.4) и таблица 3.1, в четвертой главе выражения (4.5) и (4.6) и таблица 4.1.

4. В работе имеет место ряд неудачных формулировок и выражений, отдельные опечатки.

Приведенные выше замечания не снижают качества выполнения работы и ценности полученных результатов.

Выводы и заключение

Диссертационная работа Чана Тунга Зыонга, посвящена решению научной задачи, имеющей существенное значение для развития телекоммуникаций в повышении эффективности сетей связи пятого и последующих поколений путем разработки модельно-методического

аппарата, обеспечивающего рациональное применение базовых станций, размещаемых на воздушных платформах.

Работа Чана Тунга Зыонга является законченной научно-квалификационной работой, результаты которой обладают научной новизной и практической значимостью. Материалы исследования в достаточно полном объеме отражены в публикациях автора и прошли апробацию на научных конференциях. Автореферат адекватно отражает содержание диссертации.

На основании вышесказанного считаю, что диссертационная работа «Исследование и разработка методов распределения ресурсов воздушных и наземных базовых станций в сетях связи на основе искусственного интеллекта» полностью соответствует критериям, которым должна отвечать диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (в редакции от 28.08.2017).), а ее автор Чан Тунг Зыонг заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 — Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

« 28 » мая 2025 г.

Официальный оппонент

директор института информационных технологий и программирования ГУАП

д.т.н., профессор

Т.М. Татарникова

Сведения об оппоненте:

Татарникова Татьяна Михайловна, гражданка Российской Федерации, доктор технических наук по специальностям 05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка информации; 05.13.13 - телекоммуникационные системы и компьютерные сети, профессор, директор института информационных технологий и программирования федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» (ГУАП). Адрес: 190000, Санкт-Петербург, ул. Болшная Морская, 67, лит. А., <https://guap.ru>, (812) 710-65-10., tm-tatarn@yandex.ru.

