

Отзыв официального оппонента

Карташевского Игоря Вячеславовича на диссертацию До Фук Хао на тему «Разработка моделей и методов минимизации сетевой задержки на фрагменте гибридной сети связи с использованием технологий искусственного интеллекта», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа До Фук Хао посвящена одной из наиболее актуальных и практически значимых проблем современной отрасли связи – обеспечению высокого качества обслуживания в гибридных орбитально-наземных сетях. Нестабильность и высокая задержка спутниковых каналов являются сегодня основным сдерживающим фактором для широкого внедрения цифровых сервисов реального времени.

Исследование соответствует Стратегии развития отрасли связи РФ до 2035 года, которая предусматривает создание гибридных орбитально-наземных сетей для обеспечения покрытия в труднодоступных регионах (включая Арктику). Спутниковый сегмент гибридных сетей характеризуется высокой сетевой задержкой, что снижает качество обслуживания (QoS) для приложений реального времени (видеоконференции, телеметрия и др.).

Существующие методы минимизации задержек недостаточно эффективны в условиях динамически меняющихся параметров каналов связи, что требует новых адаптивных подходов. Применение искусственного интеллекта (ИИ) открывает возможности для адаптивного управления сетевыми ресурсами, прогнозирования нагрузки и оптимизации передачи данных в реальном времени. Такой подход полностью соответствует мировым тенденциям развития телекоммуникационных систем и имеет большое значение для повышения эффективности и конкурентоспособности отечественной отрасли связи.

В связи с этим тема исследования весьма актуальна и имеет высокую практическую значимость.

Содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и двух приложений, изложенных на 168 страницах. Список литературы содержит 110 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы, определены цели и задачи исследования, сформулирована научная новизна и практическая значимость работы, а также область применения результатов, положения, выносимые на защиту, приводятся сведения об апробации результатов работы.

В первой главе описывается проблема задержек в спутниковых сетях, раскрываются особенности определения параметров качества обслуживания, а также предлагаемые решения для снижения задержек в спутниковых каналах связи с использованием технологий искусственного интеллекта. Также в главе формулируются ограничения, в рамках которых проводилось исследование.

Во второй главе проводится анализ методов снижения задержек в спутниковых каналах связи. Приводится обзор существующих методов и алгоритмов для решения поставленной задачи. Рассматривается роль искусственного интеллекта в этих методах, а также специфические проблемы и возможности, связанные с использованием гибридных спутниковых сетей.

Третья глава посвящена разработке моделей для минимизации сетевой задержки с использованием технологий искусственного интеллекта. Рассматриваются модели прогнозирования трафика и приоритезации на основе ИИ. Приводится математическая формулировка этих моделей, процесс их обучения и оценка их эффективности в решении задачи снижения задержек в спутниковых каналах связи.

В четвертой главе рассматриваются разработанные автором методы минимизации сетевой задержки в гибридных спутниковых сетях с

использованием технологий искусственного интеллекта. Описывается разработка методов распределения ресурсов для гибридных спутниковых сетей. Рассматривается использование генетических алгоритмов для оптимизации затрачиваемых ресурсов, а также оценивается их эффективность для решения задачи минимизации сетевой задержки.

В пятой главе представлена реализация и оценка модели сжатия данных без потерь на основе ST-GNN. Проводится исследование, как данная модель может применяться для уменьшения объема данных, передаваемых через спутниковые каналы связи.

В заключении приводятся основные результаты проведенного исследования, формулируются выводы по диссертационной работе и рекомендации в отношении дальнейших исследований.

В приложениях приводятся акты о внедрении результатов диссертационной работы.

Научная новизна

Научная новизна диссертации заключается в следующем:

1. Предложен подход к упреждающему управлению трафиком, который, в отличие от методов, использующих сложные модели, обосновывает достаточность вычислительно эффективной архитектуры MLP для решения задачи управления приоритетами. Другим элементом новизны является аналитически обоснованное правило приоритезации, связывающее прогноз с параметрами управления очередью, что представляет собой альтернативу распространенным эвристическим подходам.

2. Разработан гибридный метод оптимизации ресурсов, в котором графовая нейронная сеть (GNN) применяется в качестве предобработчика для классификации трафика перед этапом многокритериальной оптимизации с помощью адаптированных эволюционных алгоритмов (NSGA-II/SPEA2).

3. Предложен механизм адаптивного сжатия, где ST-GNN используется для вероятностного моделирования данных с явным учётом их графовой

(пространственной) структуры. Такой подход позволяет кодеку динамически изменять стратегию сжатия в зависимости от локальных пространственно-временных корреляций, что является развитием классических методов, которые не учитывают топологию сети.

Теоретическая и практическая значимость результатов

Теоретическая значимость исследования определяется предложенными автором моделями упреждающего управления, основанными на концепции «прогноз нагрузки → динамическая приоритезация», а также предложенной моделью, устанавливающей формальную связь между методами обработки графовых сигналов, эволюционной оптимизацией и теорией массового обслуживания для решения задач распределения ресурсов. Важным результатом, имеющим теоретическую ценность, также является расширение класса моделей источников информации за счет введения графовой компоненты для описания данных с пространственно-временной структурой.

Практическую значимость имеют несколько полученных автором результатов. Модель динамической приоритезации на основе MLP – является практичным и вычислительно эффективным инструментом, позволяющим операторам связи гибко управлять качеством обслуживания для различных типов трафика. Еще один результат – гибридный метод оптимизации ресурсов (GNN + NSGA-II/SPEA2) – решает сложнейшую задачу распределения ограниченных сетевых ресурсов (мощности и полосы пропускания), что является ключевым фактором для экономической эффективности многолучевых спутниковых систем. Результаты моделирования, показавшие снижение времени ожидания до 35,1%, убедительно доказывают высокий потенциал данного подхода. И, наконец, метод сжатия данных на основе ST-GNN – является наиболее прорывным с практической точки зрения. Способность метода эффективно работать в условиях высокого и нестабильного RTT, продемонстрированная в ходе

натурных испытаний (увеличение времени передачи всего на 11% против 46% у GZIP), напрямую решает одну из главных проблем спутниковой связи.

Полученные в диссертации результаты внедрены в АО «НПП «ИСТА-Системс» и в учебный процесс ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича».

Степень достоверности и обоснованности научных положений и выводов, сформулированных в диссертации

Полученные результаты не противоречат общепринятым научным положениям. Достоверность и степень обоснованности научных положений, выводов и результатов диссертации подтверждается корректным применением математического аппарата, имитационного моделирования и результатами экспериментальных исследований, лично проведенных автором, а также публикациями и выступлениями на российских и международных конференциях.

Основные результаты диссертации изложены в 18 опубликованных работах, в том числе в 6 работах, опубликованных в журналах из перечня ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации, в 12 публикациях в иных изданиях и материалах российских и международных конференций.

Замечания по диссертации

1. В диссертации основное внимание уделено таким параметрам качества обслуживания, как задержка и уровень потерь пакетов. Однако не приводится оценка того, как предложенные методы влияют на качество восприятия (Quality of Experience, QoE) для конечного пользователя. Например, как снижение задержки на 19,6% отражается на субъективной оценке качества передаваемого видео?

2. Применение сложных ИИ-моделей требует значительных вычислительных и энергетических ресурсов. В работе не представлен анализ требований к аппаратному обеспечению (например, производительность GPU) для развертывания предложенной системы в реальной сети оператора, а также его энергопотреблению.
3. Автор использует аппарат теории массового обслуживания для доказательства того, что увеличение интенсивности обслуживания принципиально ведет к снижению задержки и потерь, что является излишним в рамках представленной работы.
4. В работе отсутствует единая система обозначений. Так, например, в главе 3 задержка обозначается символом D , а в главе 4 – символом L .
5. В работе содержится достаточное количество опечаток и стилистических неточностей (стр. 56, 57, 76, 81 и др.).

Заключение

Указанные выше замечания не снижают значимости и ценности научных результатов, полученных автором, и не снижают общую положительную оценку диссертации.

Представленная диссертационная работа До Фук Хао на тему «Разработка моделей и методов минимизации сетевой задержки на фрагменте гибридной сети связи с использованием технологий искусственного интеллекта» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой предложено решение важной задачи, имеющей существенное значение для развития отрасли связи. Диссертация отвечает требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 N 842 (ред. от 16.10.2024) "О порядке присуждения ученых степеней" (вместе с "Положением о присуждении ученых степеней") (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2025), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор До

