

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Степанова Михаила Сергеевича

на диссертационную работу Платоновой Анны Алексеевны
на тему «Построение и анализ модели для расчета вероятностно-временных
характеристик сети интегрированного доступа и транзита с разделением
ресурсов»,

представленную к защите в ПДС 0200.006 на базе Федерального
государственного автономного образовательного учреждения высшего
образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса
Лумумбы» на соискание учёной степени кандидата физико-математических
наук по специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика

1. Актуальность темы

В современных условиях беспрецедентных темпов развертывания сетей пятого поколения (5G) и активной подготовки к внедрению перспективных технологий шестого поколения (6G), вопрос эффективного и интеллектуального управления сетевыми ресурсами трансформировался из сугубо инженерной задачи в комплексную междисциплинарную проблему, лежащую в плоскости фундаментальных исследований кибернетики и теории исследования операций. Инновационные технологии, такие как нарезка сети (Network Slicing), позволяющая создавать виртуальные логические сети поверх общей физической инфраструктуры, и технология интегрированного доступа и транзита (Integrated Access and Backhaul, IAB), предназначенный для расширения покрытия и повышения пропускной способности, формируют чрезвычайно сложную, динамическую гетерогенную среду. В таких условиях классические методы анализа, разработанные для статичных систем, уже не способны обеспечить требуемую точность и адекватность результатов. Таким образом, тематика, выбранная Платоновой А.А., является актуальной.

Содержание диссертации

Диссертация представляет собой логически выстроенную и последовательную работу, в которой автор планомерно переходит от абстрактных и обобщенных моделей сетей с нарезкой ресурсов к конкретным, прикладным задачам, возникающим в IAB-сетях. Структура работы подчинена решению поставленных научных задач и отличается исключительной глубиной и всесторонностью проработки каждого аспекта.

Первая глава закладывает прочный теоретический фундамент исследования, предлагая инновационный метод динамического разделения ресурсов, основанный на принципе максиминной справедливости. Важным и новаторским аспектом здесь является формализация иерархического управления ресурсами, что позволяет эффективно и гибко решать сложную задачу распределения емкости между различными сетевыми слайсами с учетом их индивидуальных приоритетов и требований к качеству обслуживания.

Вторая глава отличается теоретической значимостью с точки зрения развития теории систем массового обслуживания. Введение понятия «деградации обслуживания» для эластичного трафика в системе с классической дисциплиной Processor Sharing расширяет ее применимость к современным реалиям. Автор детально анализирует влияние различных стратегий вызова процедуры нарезки, что дает уникальную возможность оптимизировать вычислительные затраты на управление сетью, не допуская при этом снижения качества обслуживания и эффективности использования ресурсов.

Третья глава переносит фокус исследования на специфические вызовы, связанные с многошаговостью и полудуплексными ограничениями в IAB-сетях. Здесь автор применяет аппарат открытых экспоненциальных сетей массового обслуживания для точной оценки сквозной задержки и критически важного параметра – пикового возраста информации. Разработка алгоритма расчета оптимальных долей времени активности каналов с учетом сложной матрицы конфликтов является значимым достижением, позволяющим минимизировать задержки и максимизировать пропускную способность в условиях жестких ограничений на скорость передачи данных.

2. Достоверность и новизна результатов

Научная новизна работы заключается в разработке и применении комплексного, системного подхода к анализу IAB-сетей, который выходит за рамки традиционных методов. Автор не ограничивается стандартными показателями пропускной способности или средней сквозной задержки, а вводит для сквозной задержки в рассмотрение функцию распределения фазового типа. Это позволяет получать значительно более точные оценки «хвостов» распределений, которые являются критически важными для обеспечения надежности связи в приложениях с жесткими требованиями реального времени. Предложенный метод «овербукинга» (избыточного резервирования) в условиях приоритизации слайсов представляет собой оригинальное решение, позволяющее существенно повысить эффективность

использования сетевых ресурсов без ущерба для критически важных сервисов.

Достоверность полученных результатов подтверждается не только корректностью математических выкладок и строгих аналитических доказательств, но и тщательной, многоуровневой верификацией разработанных моделей в высокоточном имитационном симуляторе OMNeT++. Использование специализированной библиотеки queueinglib и интеграция библиотеки Boost для решения сложных оптимизационных задач свидетельствуют о высоком уровне владения автором современным инструментарием моделирования и глубоком понимании предметной области. Сопоставление аналитических результатов с данными, полученными в ходе имитационного моделирования, демонстрирует высокую сходимость, что подтверждает адекватность и точность предложенных математических моделей.

3. Степень обоснованности научных положений

Научные положения диссертации базируются на фундаментальных принципах теории массового обслуживания и теории оптимизации, что обеспечивает их прочную теоретическую основу. Автор демонстрирует глубокое понимание предмета исследования, корректно и строго формулируя все необходимые ограничения и обоснованно применяя классический аппарат математической оптимизации, например, метод множителей Лагранжа и метод проекции градиента. Выводы, сделанные в работе, подкреплены как строгими аналитическими доказательствами (включая теоремы 1.1, 1.2, 2.1, 3.1), так и обширными результатами численных экспериментов. Математическая строгость доказательств в сочетании с корректным и обоснованным выбором допущений при построении моделей обеспечивает высокую степень достоверности сформулированных выводов и заключений.

4. Ценность для науки и практики результатов работы

Практическая ценность работы заключается в возможности прямой и бесшовной интеграции предложенных алгоритмов в существующие и разрабатываемые системы управления радиоресурсами и менеджеры нарезки в сетях нового поколения. Для разработчиков сетей 5G/6G предложенные автором методы расчета оптимальных долей времени активности каналов являются готовым к внедрению инструментарием для эффективной минимизации задержек и оптимизации использования спектра. С научной точки зрения работа вносит существенный вклад в развитие методов анализа

сетей с динамической топологией и сложными дисциплинами обслуживания, расширяя горизонты исследований в этой области. Предложенный автором подход к моделированию пикового возраста информации с помощью распределения фазового типа открывает новое, перспективное направление исследований в области минимизации этого важного показателя свежести данных, особенно важного для сетей Интернета вещей (IoT) и промышленной автоматизации, где актуальность данных и их своевременность являются критическим фактором качества и надежности функционирования системы.

5. Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научной печати

Основные положения диссертации нашли всестороннее отражение в списке из 11 публикаций. Этот список включает статьи в высокорейтинговых журналах, индексируемых в международных базах данных Scopus (квартили Q2, Q3), а также свидетельства о регистрации программ для ЭВМ. Данный факт является свидетельством высокого уровня научной проработки материала, его актуальности и признания в профессиональном сообществе. Публикации охватывают все ключевые аспекты диссертации, что свидетельствует о системном и комплексном характере проведенных исследований.

6. Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации

Автореферат полностью и безусловно соответствует содержанию диссертационного исследования. Его структурное построение, включая нумерацию и иерархию подразделов, зеркально отражает логику и последовательность изложения основной работы, обеспечивая целостное восприятие.

Основные научные положения, вынесенные на защиту, изложены в автореферате корректно, точно и в полном соответствии с диссертацией. Автор отразил в кратком изложении уникальность полученных результатов, их новизну по отношению к предшествующим работам, а также теоретическую и практическую значимость исследования.

Итоговые выводы, рекомендации и перспективы дальнейшего изучения темы в автореферате строго вытекают из материалов диссертации, демонстрируя полное единство изложения в обоих документах. В тексте автореферата отсутствуют сведения, не представленные в основной работе; он представляет собой сбалансированное и исчерпывающее резюме,

свободное от избыточных деталей, но в полной мере раскрывающее сущность проведенного научного поиска. Таким образом, автореферат является качественным, емким и достоверным изложением диссертации, которое в полной мере передает ее научную значимость и ключевые результаты.

7. Замечания по работе

1. В литературном обзоре следовало показать важность для концепции нарезки радиоресурсов сети (Network Slicing, NS) технологии виртуализации сетевых функций (Network Functions Virtualization, NFV), которая обеспечивает гибкость и изоляцию ресурсов в сетях 5G.
2. Поскольку методика разделения ресурсов предлагается для реализации планировщиком ресурсов сети в режиме реального времени, желательно сделать оценку вычислительной сложности алгоритма 1.1.
3. Реалистичность предположения о том, что емкость слайса равномерно распределяется между всеми его активными абонентами, вызывает сомнения.
4. В работе присутствуют опечатки. Например, на стр. 13 и 33 диссертации и на стр. 10 автореферата в фразе «когда ресурсов недостаточно для обеспечения всем абонентам минимальных скоростей передачи данных» следует написать «максимальных скоростей». На стр. 17, 84, 88 лишний индекс p у вектора Λ_p , в строке 3 Алгоритма 1 (стр. 12 и 31 диссертации) пропущен знак транспонирования для вектора \mathbf{X}^{stat} , в строке строке 21 Алгоритма 1 вместо « i_{bound} » следует читать « t_{bound} ». Знак транспонирования также пропущен в некоторых формулах, например, (1.21)-(1.23) и др.

Приведённые замечания не снижают научную ценность результатов диссертационной работы и не влияют на её положительную оценку.

8. Заключение

Диссертационное исследование Платоновой Анны Алексеевны является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится новое решение научной задачи, имеющей важное значение для разработки моделей управления ресурсами и анализа показателей эффективности предоставления услуг в беспроводных сетях новых поколений.

Работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук согласно

пункта 2.2 раздела II Положения о присуждении учёных степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», утверждённого Учёным советом РУДН, протокол УС-1, 22.01.2024, а её автор, Платонова Анна Алексеевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика.

Официальный оппонент:

Степанов Михаил Сергеевич

кандидат технических наук (05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций),
доцент, доцент кафедры Интеллектуальные сетевые и облачные технологии факультета Сетевая инженерия
Ордена Трудового Красного Знамени Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»



01.06.26

Подпись Степанова Михаила Сергеевича удостоверяю.

Подпись руки Степанова М.С. заверяю

Ученый секретарь Ученого совета МТУСИ

кандидат биологических наук, доцент



В.В. Ерофеева

01.06.26

Ордена Трудового Красного Знамени Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский технический университет связи и информатики»

Адрес: 111024 , г. Москва, улица Авиамоторная, 8а

Тел. +7 (495) 957-77-77, e-mail: mtuci@mtuci.ru

Страница в интернете: <https://mtuci.ru>