

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Ивановой Дарьи Вадимовны «Модели совместного обслуживания трафика с приоритизацией и разделением ресурсов в промышленном развертывании мобильных сетей», представленную к защите в диссертационном совете ПДС 0200.006 при федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.3. «Теоретическая информатика, кибернетика».

Актуальность темы

В условиях продолжающейся промышленной революции и сопровождающего ее развития Интернета вещей возникает необходимость в новых подходах к автоматизации производства. Появляются новые промышленные приложения, позволяющие собирать и обрабатывать данные на предприятиях, управлять оборудованием и мобильными роботами, используя при этом технологии телеприсутствия и дополненной реальности. Обеспечить высокий уровень качества обслуживания (QoS) в условиях совместного использования подобных приложений могут беспроводные сети связи пятого поколения с технологией 5G NR (New Radio), механизмы поддержки которой в настоящее время широко исследуются.

Сервисы, используемые в промышленной автоматизации, требуют одновременного обслуживания различных типов трафика, таких как сверхнадежный трафик с низкими задержками (URLLC) и усовершенствованный мобильный широкополосный доступ (eMBB), на базовых станциях 5G NR в миллиметровом диапазоне, что усложняется за счет различных требований QoS. Поэтому направление исследований, связанное с разработкой новых математических моделей совместного обслуживания различных видов трафика, в том числе разработка схем разделения ресурсов, являются актуальными направлениями исследований, как в теоретическом, так и в прикладном отношении.

Таким образом, учитывая вышеизложенное, считаю, что тема диссертационного исследования Ивановой Д.В. является актуальной и соответствует специальности 1.2.3 «Теоретическая информатика, кибернетика».

Характеристика содержания диссертационной работы

Диссертационная работа Ивановой Д.В. включает в себя введение, три главы, заключение, списки основных обозначений и сокращений, список литературы из 136 наименований.

Во введении обоснована актуальность избранной темы, сформулирована цель исследований, перечислены задачи, которые необходимо решить для ее достижения, обоснована научная новизна полученных результатов.

В первой главе описаны сценарии использования беспроводных сетей пятого поколения в промышленной автоматизации, а также модели совместного обслуживания различных типов трафика. Предложена математическая модель одновременного предоставления услуг на основе приоритетов со снижением скорости обслуживания, проведен расчет вероятностных характеристик модели и также численный анализ показателей эффективности.

Во второй главе разрабатывается и анализируется модель промышленного развертывания беспроводных сетей с приоритетным обслуживанием на базовой станции с прямой передачей между устройствами. Построена математическая модель совместного обслуживания запросов первого типа – запросов на передачу потокового трафика, генерируемого URLLC услугой, и второго типа – запросов на передачу эластичного трафика, генерируемого eMBB услугой, в виде СМО с приоритетным обслуживанием. Проводится сравнительный анализ показателей эффективности модели для трех стратегий передачи данных: I) передача трафика через БС; II) D2D-передача с полной координацией через БС; III) D2D-передача без координации через БС.

Третья глава посвящена разработке и анализу моделей мультисервисной СМО с резервированием индивидуальных зон и приоритизацией. Проводится исследование моделей, использующих механизм резервирования индивидуальных зон для запросов каждого типа. Проведен сравнительный анализ пяти стратегий разделения ресурсов: I) отсутствие резервирования и приоритетов; II) приоритетное обслуживание с прерыванием, но без резервирования; III) полное резервирование ресурсов; IV) частичное резервирование без прерывания; V) частичное резервирование с прерыванием.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Достоверность и новизна результатов диссертации

Достоверность основных положений, выводов и рекомендаций подтверждается строгим использованием математического аппарата, включающего методы теории вероятностей, марковских случайных процессов, теории массового обслуживания, матричного анализа, а также экспериментами и численным анализом.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Модель схемы одновременного предоставления услуг с реализацией явного приоритета учитывает особенности совместного обслуживания разных типов трафика в промышленных развертываниях беспроводных сетей, а также динамическую блокировку в процессе передачи данных между устройствами. Ранее влияние условий развертывания сети на процесс совместного обслуживания трафика исследовано не было.
2. Стационарное распределение вероятностей состояний системы для модели схемы доступа к ресурсам сети с резервированием индивидуальных зон получено не только путем численного решения системы уравнений равновесия, но и в мультипликативном виде. Ранее для моделей совместного обслуживания трафика разных типов предлагалось только численное решение системы уравнений равновесия.
3. Построенная модель мультисервисной мобильной сети позволяет провести сравнение различных вариантов стратегий обслуживания, основанных на приоритетах и резервировании, с точки зрения производительности, ориентированной как на пользователя, так и на оператора. Ранее исследования моделей совместного обслуживания разных типов трафика не содержали подробного сравнения производительности систем для различных стратегий передачи данных с точки зрения пользователя и оператора.

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

Степень обоснованности подтверждается математически корректными выводами, представленными в работе, согласованностью результатов, полученных для разных моделей между собой и с известными в теории массового обслуживания результатами, а также многочисленными экспериментами и численным анализом.

Представленные в диссертационной работе результаты достаточно полно апробированы на всероссийских и международных конференциях, что также

свидетельствует о достоверности и обоснованности изложенных в диссертации результатов.

Ценность для науки и практики результатов работы

Научная значимость заключается в применимости полученных моделей для анализа систем связи, требующих одновременной передачи сверхнадежного трафика с низкими задержками и трафика широкополосного доступа в условиях промышленного развертывания беспроводных сетей.

Практическая значимость исследования заключается в разработке математических моделей и программных комплексов, которые могут быть применены для управления ресурсами беспроводных сетей, расчета показателей эффективности и оценки производительности развертывания сетей 5G NR. Предложенные модели и алгоритмы позволят повысить эффективность использования ресурсов при эксплуатации сетей 5G NR, а также обеспечить гарантированный уровень качества обслуживания трафика.

Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научной печати

Основные результаты, изложенные в диссертационной работе, опубликованы в 7 печатных изданиях, входящих в базу данных Scopus и Web of Science, а также докладывались на международных научных конференциях. По результатам диссертационного исследования получены 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации

Автореферат логически выстроен, хорошо структурирован, правильно и в достаточной мере отражает содержание диссертационной работы. Как часть выполненной научной работы автореферат отражает компетентность автора в области проводимых исследований и хорошее владение используемыми математическими методами.

Замечания по работе

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. Актуальность работы не вызывает сомнения, однако во введении следовало бы более подробно описать пробелы в существующих исследованиях, заполняемые данной диссертацией, в том числе отразить отличие рассматриваемых моделей от известных приоритетных СМО. В заключении диссертации стоило бы отразить перспективы дальнейшей разработки темы.
2. Во всех моделях диссертационной работы автор использует случайные величины, распределенные экспоненциально, а также пуассоновские потоки, никак не комментируя их выбор. Также не приведено объяснение выбора значений параметров системы, используемых в рамках численного анализа исследуемых моделей.
3. Во второй главе получены формулы для расчета вероятности блокировки D2D-передачи, используемые для анализа вероятностных характеристик модели. Следовало бы добавить подробное описание перехода от вероятности блокировки D2D-передачи к вероятности потери, учитывающей особенности динамической блокировки, а также интерференцию в случае D2D-передачи без координации через базовую станцию.
4. В работе исследуются модели совместного обслуживания различных типов трафика на уровне сессий. Было бы интересно рассмотреть исследуемые модели также и на уровне пакетов.

Отмеченные выше недостатки не снижают научную ценность результатов и общее положительное впечатление о диссертационной работе.

Заключение

Диссертационное исследование Ивановой Дарьи Вадимовны является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи разработки и анализа марковских моделей одновременной передачи нескольких типов трафика с различными механизмами обслуживания в промышленных развертываниях мобильных сетей, имеющей важное значение для исследования систем массового обслуживания.

Работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, согласно п. 2.2

раздела II Положения о присуждении ученых степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», утвержденного Ученым советом РУДН протокол № УС-1 от 22.01.2024 г., а её автор, Иванова Дарья Вадимовна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.3. «Теоретическая информатика, кибернетика».

Официальный оппонент, Моисеева Светлана Петровна, доктор физико-математических наук (05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ), профессор, заведующий кафедрой теории вероятностей и математической статистики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»,

«25» февраля 2025 г.

тел.: +7 913 815-32-62,

e-mail: smoiseeva@mail.ru



Моисеева Светлана Петровна

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»,

Адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 36

Тел.: +7 (3822) 529-585

E-mail: rector@tsu.ru

Страница в интернете: <http://www.tsu.ru>

Подпись Моисеевой С.П. заверяю

Ученый секретарь Ученого совета ТГУ

«25» февраля 2025 г.



/ Н.А. Сазонтова