

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Парамонова Александра Ивановича
на диссертационную работу Кочетковой Ирины Андреевны
на тему «Модели для анализа эффективности приоритетного доступа
в беспроводных сетях с эластичным и потоковым трафиком»,
представленную к защите в ПДС 0200.006 на базе
Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы
на соискание ученой степени доктора физико-математических наук
по специальности 1.2.3 – Теоретическая информатика, кибернетика

Актуальность темы

Диссертационная работа Кочетковой Ирины Андреевны «Модели для анализа эффективности приоритетного доступа в беспроводных сетях с эластичным и потоковым трафиком» направлена на создание теоретических основ и комплекса моделей для анализа и расчета показателей эффективности приоритетного доступа эластичного и потокового трафика с применением механизмов прерывания и приостановки сессии, снижения скорости передачи и мощности сигнала в современных и перспективных сетях беспроводной связи.

Актуальность выбранного направления исследований определяется необходимостью управления трафиком и качеством обслуживания в условиях ограниченного объема ресурсов сетей беспроводной связи. Как правило, наиболее «узким» местом сети связи является сеть доступа, поэтому, ее эффективность во многом определяет качество предоставления услуг. Для эффективного использования ресурсов сети доступа с учетом требований к качеству обслуживания со стороны различных услуг требуются механизмы перераспределения ресурсов между потоками трафика. Эти механизмы должны учитывать особенности услуг и позволять перераспределять ресурс таким образом, чтобы обеспечить требования к качеству.

Эффективность подобных механизмов определяется различиями в требованиях к качеству обслуживания для различных услуг, что характерно для современных и перспективных сетей связи. Приоритизация трафика является эффективным методом обеспечения качества. Для ее реализации необходима информация об особенностях передаваемого трафика, для обеспечения выбора его приоритета.

Из теории массового обслуживания и теории телетрафика известны ставшие классическими модели с относительными и абсолютными приоритетами, однако, они не в полной мере учитывают специфику выделения ресурсов в современных беспроводных сетях связи, что ограничивает возможности их применения. Использование приоритетного обслуживания

трафика на уровне сети доступа может дать значительный выигрыш в эффективности, однако, для этого требуется соответствующий модельно-методический аппарат, обеспечивающий применимость данного подхода к современным условиям. Работа Кочетковой Ирины Андреевны направлена именно на создание теоретической базы, обеспечивающей эффективное применение методов приоритетного обслуживания трафика на уровне современных и перспективных сетей доступа, что подчеркивает ее актуальность.

Тема диссертационного исследования имеет высокую значимость и актуальность, отражает современные научно-технические задачи и полностью соответствует профилю специальности 1.2.3 – Теоретическая информатика, кибернетика (по физико-математическим наукам).

Содержание диссертации

Диссертационная работа включает введение, пять глав, заключение, список литературы из 400 источников и приложения.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы цели и задачи исследования, описаны объект и предмет работы, а также научная новизна и практическая значимость. Также во введении описаны методы и методология, которые использовались для получения результатов.

Глава 1 посвящена аналитическому обзору вопросов приоритетного обслуживания трафика в мультисервисных беспроводных сетях. Представлена модель «тройной услуги» с различными видами трафика: одноадресным, многоадресным и эластичным трафиком. Описаны особенности моделирования ресурса радиосети. Автор приводит модели, связывающие ресурсы и затухание сигнала для анализа случайного требования. Также в главе описана ресурсная система массового обслуживания. Дается анализ системы распределения радиоресурсов и совместного использования нелицензируемых и лицензируемых радиочастот.

В этой главе Автор представляет комплекс моделей схем приоритетного доступа эластичного и потокового трафика в виде марковских систем массового обслуживания и алгоритмы расчета характеристик случайных величин: вероятности прерывания сессии, скорости передачи, объема используемого ресурса, которые применимы для анализа сценариев в современных и перспективных сетях связи с несколькими классами пользователей, ненадежными и совместно используемыми ресурсами.

Глава 2 посвящена исследованию моделей с потоковым трафиком и постоянным объемом ресурса. В этой главе Автор получает результаты,

вошедшие во второе положение, вынесенное на защиту. Разработана модель доступа для узкополосного и широкополосного потокового трафика и матричный алгоритм расчета стационарного распределения, которые позволяют рассчитать показатели эффективности сверхнадежной передачи данных с малой задержкой (URLLC) и высокоскоростной передачи данных (eMBB), а именно: вероятность прерывания и среднюю скорость сессии. Также они позволяют выбрать значение параметра потока попыток возобновления обслуживания и уровни скорости широкополосного трафика. Ценность полученных результатов состоит, в первую очередь, в получении инструмента для оценки эффективности перспективных услуг, таких как сверхнадежные соединения (URLLC) и соединения с повышенными требованиями к скорости (полосе) передачи eMBB.

В главе 3 Автор приводит результаты разработки модели доступа для эластичного трафика с заданной минимальной скоростью передачи, которая позволяет рассчитать показатели эффективности обслуживания трафика в нелицензируемых участках радиочастотного спектра – вероятность прерывания сессии, вероятность снижения скорости ниже минимального порога и среднюю скорость передачи. Предложенная модель с управляемым по сигналам перераспределением объема ресурса применима для выбора оптимальной политики управления перераспределением ресурса между сегментами сети при распределении радиоресурсов. Ценность полученных результатов состоит в создании модельно-методической базы для оценки качества обслуживания эластичного трафика и выбора оптимальной политики управления ресурсами с учетом обеспечения допустимых границ качества обслуживания.

В главе 4 представлена модель доступа эластичного трафика с минимальной скоростью передачи и ненадежным ресурсом, матричные алгоритмы расчета стационарного распределения и символьного вычисления преобразования Лапласа-Стилтьеса времени передачи трафика. Разработанный модельно-методический аппарат позволяет рассчитать показатели эффективности обслуживания критически важных данных с учетом особенностей организации доступа при использовании миллиметрового диапазона волн. Ценность полученных результатов заключается в достижении возможности учета специфики реализации доступа в миллиметровом диапазоне волн.

В главе 5 представлена модель доступа потокового трафика к ненадежному ресурсу, рекуррентный алгоритм в скалярном виде и матричные алгоритмы для символьного расчета периода занятости системы, которые позволяют рассчитать показатели эффективности совместного использования радиочастот – моменты

длительности периода занятости. Представленная модель применима для выбора оптимальной политики управления распределением нагрузки при совместном использовании радиочастот. Модель доступа потокового трафика со случайным требованием к объему ненадежного ресурса и рекуррентный алгоритм расчета стационарного распределения позволяют рассчитать показатели эффективности адаптивного управления мощностью сигнала. Ценность полученного модельно-методического аппарата состоит в возможности описания эффективности управления ресурсами при обслуживании потокового трафика в условиях ненадежных ресурсов.

Достоверность и новизна результатов диссертации

Диссертация содержит новые научные результаты, основные положения которых заключаются в следующем:

1. Комплекс моделей приоритетного доступа эластичного и потокового трафика в беспроводных сетях построен в единой концепции описания схем приоритетного доступа в виде матрицы приоритетов, позволяющей задавать приоритет для каждой пары классов заявок, возможность снижать скорость, учитывать структуру и разные типы ресурса, влияние на систему внешних событий. Ранее в классификации систем с приоритетным обслуживанием по большей части предполагался линейный относительно приоритета порядок классов заявок, акцент был на порядке доступа к ресурсу – относительный или абсолютный, его применении во времени, принципе выбора заявок для вытеснения.
2. Модель доступа узкополосного и широкополосного потокового трафика учитывает задержку на попытки начала и возобновления передачи широкополосного трафика в виде системы с орбитами, а также использует дискриминаторное разделение слота времени между сессиями пропорционально требованиям к скорости передачи трафика в ресурсной системе. Ранее в моделях для анализа сверхнадежной передачи с малой задержкой и широкополосной связи использовались системы с очередями и равным разделением кадра времени. Модель доступа одноадресного и многоадресного потокового трафика реализует взаимный приоритет – многоадресный трафик прерывает одноадресный трафик, который в свою очередь, снижает скорость многоадресной сессии, а также учитывает два режима мультимедиа – завершение сессии по первому и последнему пользователям. Ранее исследовались системы без приоритета

многоадресного трафика и в комбинации с одним из режимов мультивещания.

- 3 Модель доступа эластичного трафика с минимальной скоростью передачи реализует приоритет посредством прерывания менее приоритетной сессии. Ранее приоритетное обслуживание нескольких классов эластичного трафика моделировалось с помощью дискриминаторного разделения ресурса между сессиями пропорционально весовым коэффициентам. Модель доступа эластичного трафика с управляемым по сигналам перераспределением объема ресурса учитывает выбор объема перераспределения ресурса при помощи марковского процесса принятия решений. Ранее в системах массового обслуживания для анализа нарезки радиоресурсов перераспределение происходило по внутренним, связанным с сессиями, событиям.
- 4 Модель доступа эластичного трафика с минимальной скоростью передачи и ненадежным ресурсом реализует приоритет посредством приостановки сессии и размещения ее в конечную очередь для ожидания возобновления обслуживания, а также учитывает марковский входящий поток. Ранее системы с ожиданием эластичного трафика исследовались для надежного ресурса и бесконечной очереди.
- 5 Для модели доступа потокового трафика к ненадежному ресурсу алгоритм расчета среднего числа приостановленных сессий записан в скалярном виде. Ранее расчет такой характеристики проводился матричным решением системы уравнений равновесия. Модель доступа потокового трафика к частично ненадежному ресурсу реализует выбор направления нагрузки на ненадежный или надежный ресурс при помощи управляемой системы массового обслуживания. Ранее системы с частичным отказом ресурса исследовались с фиксированной политикой управления. Модель доступа потокового трафика со случайным требованием к объему ненадежного ресурса учитывает зависимое занятие двух типов ресурса – мощности сигнала и слота времени. Ранее ресурсные системы исследовались с надежными приборами и независимым занятием разных ресурсов.

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

Степень обоснованности научных положений, результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается использованием современных подходов, математических методов и методов

моделирования. Достоверность полученных результатов подтверждается тем, что теория построена на известных методах теории массового обслуживания и математической теории телетрафика, используемых при доказательствах теорем, лемм и утверждений; идея базируется на анализе и обобщении опыта в обеспечении приоритетного доступа в беспроводных сетях; установлено качественное совпадение частных, разработанных Автором моделей, с известными моделями теории массового обслуживания и математической теории телетрафика; использован современный метод дискретно-событийного статистического моделирования для верификации результатов работы.

Научные положения опираются на строгие методы анализа, включая статистическое моделирование, теорию вероятностей, машинное обучение, а также натурные и имитационные эксперименты.

Результаты имитационных экспериментов, представленные в работе, демонстрируют высокую точность, что подтверждается тестированием моделей в условиях, приближенных к реальным сценариям работы сетей связи.

Достоверность научных результатов подтверждается их представлением на международных конференциях и публикациями в рецензируемых журналах, включенных в базы Scopus/WoS. Признание в научном сообществе свидетельствует о высоком уровне выполненной работы.

Практическая значимость рекомендаций подтверждается их внедрением в рамках научно-исследовательских проектов. Это обеспечивает возможность применения разработанных моделей и методов в целях повышения эффективности современных и перспективных сетей связи.

Ценность для науки и практики результатов работы

Результаты диссертационной работы имеют значимую ценность как для науки, так и для практики, предлагая новый подход к решению актуальных задач в области обслуживания трафика с различными требованиями к показателям качества. Научная значимость работы заключается в развитии теоретических основ анализа и моделирования систем массового обслуживания с приоритетами. Предложенные модели и методы не только углубляют понимание процессов, приоритизации трафика и перераспределения ресурсов сети связи, но и дают качественно новые возможности управления ресурсами, которых не доставало в классических моделях теории массового обслуживания и теории телетрафика.

Практическая ценность работы заключается в возможности применения разработанных моделей и методов для оптимизации работы сетей связи, включая

повышение их эффективности, устойчивости и качества обслуживания, за счет использования новых подходов к реализации обслуживания с различными приоритетами. Представленные решения подходят для внедрения в реальных условиях.

Полученные результаты создают основу для дальнейшего развития науки в области повышения эффективности сетей связи за счет перераспределения ресурсов с учетом качества и надежности современных сетей связи.

Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научной печати

Основные результаты диссертации изложены в 55 работах, из них 1 работа опубликована в журнале из списка ВАК; 31 работа в международных базах цитирования Scopus и WoS; 12 работ в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в наукометрической базе данных RSCI, по теме работы Автор также имеет 7 зарегистрированных свидетельств на программу для электронных вычислительных машин, 2 монографии, 1 учебное пособие и 1 работа в сборнике научных трудов ИПУ РАН.

Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации

Содержание автореферата полностью соответствует основным положениям, представленным в диссертационной работе. В автореферате отражены ключевые аспекты исследования, включая актуальность темы, цели и задачи работы, научную новизну, теоретическую и практическую значимость полученных результатов.

Основные положения диссертации, такие как разработка комплекса математических моделей оценки показателей обслуживания потокового и эластичного трафика с учетом его приоритизации и распределения ресурсов сети радиодоступа.

Содержание автореферата позволяет получить целостное представление о проделанной работе и достигнутых результатах. В автореферате представлены наиболее значимые выводы, подтвержденные результатами имитационных экспериментов, а также апробацией на ведущих научных конференциях и публикациями в рецензируемых изданиях. Таким образом, автореферат четко и последовательно раскрывает содержание диссертации, обеспечивая его соответствие заявленным научным положениям и выводам.

Замечания по работе

- 1 Автор достаточно подробно и детально рассматривает классификацию трафика современных и перспективных услуг связи, выделяя два класса: потоковый и эластичный. Такая классификация, безусловно, годится для большинства случаев. Однако, следует заметить, что потоковый трафик может также быть классифицирован на два подкласса: потоковый-интерактивный и потоковый-не интерактивный. Эти два подкласса имеют различные требования к временным параметрам, что может быть критерием для выбора ресурса. Представленные Автором модели вполне годятся для того, чтобы учесть эту особенность. Автору стоило бы отразить это в их описании.
- 2 Для описания достижимой скорости передачи Автор констатирует, что она определяется по К. Шеннону с учетом затухания сигнала по модели Х. Фрииса (1.10). Следовало бы отметить, что данные модели принимаются как возможные, а не констатировать, что именно так определяется скорость передачи данных в канале. Использование принятых моделей само по себе требует ряда оговорок: канал с аддитивным белым гауссовским шумом, кодирование информации и, возможно, некоторых других. В данном же случае, это иллюстрация характера зависимости достижимой скорости от отношения сигнал/шум, что следовало бы отметить в работе.
- 3 Автор рассматривает принцип совместного доступа к лицензируемым частотам (например, стр. 56). Это важнейшая задача, решение которой, позволяет повысить эффективность использования радиочастотного спектра. Рассматривая данный подход, Автор ограничивается документами 3GPP. Однако, подход совместного использования радиочастот является составной частью концепции когнитивного радио, а подобными задачами занимается рабочая группа IEEE 802.22. Автору стоило бы также рассмотреть работы по когнитивному радио и стандарты IEEE 802.22.
- 4 В подразделе 5.4.3, при анализе показателей эффективности, Автор приводит результаты на рисунках 5.2 и 5.3, которые демонстрируют зависимость вероятности того, что сессия потокового трафика не будет приостановлена от интенсивности нагрузки, однако величина этой вероятности имеет порядок одной тысячной. Представляется, полученная зависимость нивелируется, возможно, пренебрежимо малыми значениями вероятности. Автору следовало бы пояснить это в комментариях к результатам.

5 В работе имеет место ряд опечаток, неточностей и неудачных формулировок.

Например:

- перевод некоторых англоязычных обозначений и аббревиатур: OFDMA (orthogonal frequency division multiple access) следовало бы перевести как множественный доступ с разделением по ортогональным частотам, а не «многопользовательское мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов»; часто встречающийся термин «Мощность затухания» (например, стр. 40) неудачен, поскольку мощность – физическая величина, измеряемая в Ваттах, а затухание – безразмерная величина, равная отношению мощностей;
- опечатки: на стр. 42 в формуле (1.14), при повторном написании пропало расстояние d ; обозначение N_0 (стр.42) следовало бы назвать – мощность теплового шума; на рисунке 5.4 говорится о вероятности, однако по оси абсцисс отложены числа большие единицы, вероятно, имеет место опечатка; на иллюстрации рис. 4.4 приведены пояснения к кривым в числе МГц, однако из пояснений к рисунку не ясно, что эти значения собой представляют, вероятно, это полоса пропускания канала для модели К. Шеннона;
- неточности описания: в пояснениях к рисунку 4.4 говорится о системах ММО, однако, больше об этом нигде не упоминается, не ясно каким образом пропускная способность связана с полосой пропускания и видом системы ММО; в пояснениях к рис. 4.5 Автор связывает объем данных и загрузку, однако, на рисунке приведены число пользователей и среднее время передачи, вероятно имеет место опечатка.

Приведенные замечания не снижают научную ценность результатов диссертационной работы и не влияют на ее положительную оценку.

Заключение

Диссертационное исследование Кочетковой Ирины Андреевны является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится новое решение научной проблемы разработки моделей и методов для анализа эффективности приоритетного доступа в беспроводных сетях связи с эластичным и потоковым трафиком, имеющей важное значение для реализации современных технологий беспроводной связи. Работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, согласно п. 2.1 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 ее автор, Кочеткова Ирина Андреевна, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.2.3 – Теоретическая информатика, кибернетика.

Официальный оппонент, Парамонов Александр Иванович, доктор технических наук (05.12.13 – Системы сети и устройства телекоммуникаций), профессор, профессор кафедры «Сетей связи и передачи данных» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича», тел.: +7 (812) 305-12-65, доб. 12-65, e-mail: alex-in-spb@yandex.ru.

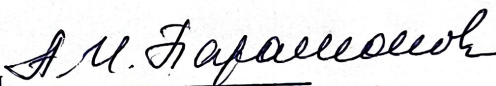
«17» октября 2025 г.



Парамонов Александр Иванович

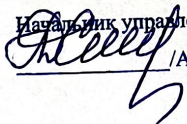
Подпись Парамонова А.И. заверяю

Подпись (-и) руки



заверяю

Начальник управления персоналом



/А.Д. Смородинцева

14.10.25 г.



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича»

Адрес: 193232 Санкт-Петербург, пр. Большевиков, д.22, корп. 1

Тел.: +7 (812) 326-31-63. Факс: +7 (812) 326-31-59. E-mail: rector@sut.ru

Страница в интернете: <https://www.sut.ru>