



30 ноября 2016

№ 219-22/17

### ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Кирьянова Антона Геннадьевича «Разработка и моделирование методов, применяемых в протоколах канального уровня сетей Wi-Fi для доставки видеопотоков реального времени», представленную к защите в Диссертационном Совете Д 002.077.05 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича Российской академии наук» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

#### Актуальность темы диссертационной работы

Технология Wi-Fi на сегодняшний день является одной из наиболее востребованных технологий беспроводной передачи данных. Стремительный рост популярности данной технологии привел к появлению ряда проблем и трудностей, связанных с тем, что большое число станций одной сети или нескольких сетей, зоны радиовидимости которых пересекаются, должны эффективно делить между собой общий канальный ресурс. Объектом исследования диссертации Кирьянова А.Г. являются беспроводные сети Wi-Fi, предметом исследования – алгоритмы доступа к беспроводному каналу.

В сетях последующих поколений значительно возросли объемы трафика, соответствующего аудио- и видеопотокам, передаваемым по беспроводным каналам. Передача мультимедийных данных должна выполняться с обеспечением требований к качеству обслуживания, таких как ограничения на задержку при доставке пакетов и ее вариацию, а также ограничения на долю потерянных пакетов. Значительный рост количества подключенных устройств делает затруднительной успешную работу имеющихся протоколов канального уровня, которые без дополнительных модификаций не всегда могут обеспечить надежность и своевременность доставки данных. Ввиду вышеизложенного считаю, что разработка и моделирование процедур, применяемых в протоколах канального уровня сетей Wi-Fi для доставки видеопотоков, несомненно, является актуальной задачей.

## Содержание работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Общий объем диссертации составляет 146 страниц машинописного текста.

*Во введении* обосновывается актуальность темы диссертации, приводятся цель и задачи диссертации, формулируется научная новизна, описывается практическая ценность полученных результатов.

*В первой главе* приводятся ключевые особенности передачи видеопотока по сети, дается подробное описание используемых в дальнейшем процедур и алгоритмов канального уровня. Затронуты вопросы оценки качества переданного видеоизображения, а также связи показателей качества восприятия видеоизображения с сетевыми показателями качества обслуживания. Автор приводит подробное описание эволюции методов доступа к среде передачи данных стандарта IEEE 802.11 (Wi-Fi), при этом подчеркивается их влияние на выполнение требований к качеству обслуживания. Первая глава содержит постановки решаемых в диссертации задач с подробным анализом литературы по каждому из направлений исследований.

*Вторая глава* диссертации посвящена исследованию влияния кратковременных ухудшений качества соединений (отказов канала) с некоторыми из получателей на качество передачи видеопотоков реального времени по сети Wi-Fi. Чтобы не допустить эффекта блокирования очереди головным пакетом, вместо FIFO в диссертации разработана оригинальная дисциплина обслуживания очереди, согласно которой на этапе отказа канала получатели с отказом канала обслуживаются реже таким образом, что отказ канала никак не влияет на обслуживание остальных получателей. Эффективность разработанной дисциплины подтверждена с помощью имитационного моделирования передачи точкой доступа сети Wi-Fi нескольких видеопотоков реального времени различным получателям, для одного из которых случается отказ канала. Автор разработал аналитическую модель передачи точкой доступа сети Wi-Fi нескольких видеопотоков реального времени различным получателям, для одного из которых случается отказ канала на основе цепи Маркова, исследовал чувствительность дисциплины к ее входным параметрам и определил их оптимальные значения.

*В третьей главе* диссертации рассматривается передача видеопотока реального времени при помощи динамически устанавливаемых периодических резервирований. Для этого видеопоток представляется в виде неординарного периодического потока пакетов  $G(t)$ , а передача пакетов осуществляется внутри зарезервированных временных интервалов одинаковой длительности, каждого из которых достаточно для совершения

одной попытки передачи и получения кадра подтверждения доставки. Автором разработана аналитическая модель, которая позволяет оценить среднюю долю потерянных пакетов передаваемого потока на промежутках времени фиксированной длительности при заданном алгоритме динамического резервирования канального ресурса, а также подсчитать объем фактически занятого канального ресурса. В третьей главе автор разработал алгоритм динамического резервирования канального ресурса, который позволил передать поток с выполнением требований к качеству обслуживания, а также минимизировать число зарезервированных временных интервалов. Для передачи потока с высокой флуктуацией интенсивности предложен второй алгоритм динамического резервирования, учитывающий данную особенность и позволяющий существенно снизить объем фактически занятого канального ресурса по сравнению с первым алгоритмом, что подтверждается приведенными в диссертации численными результатами.

**Четвертая глава** также посвящена передаче видеопотока с помощью периодических резервирований: на основе имеющейся статистики о передаваемом потоке предлагается изменять зарезервированный постоянный объем канального ресурса только в случае, если статистические данные, характеризующие процесс передачи, существенно изменятся. Кроме того, при необходимости передать несколько потоков автор предлагает устанавливать не индивидуальные резервирования для каждого из потоков, а общее резервирование, которое может быть использовано для передачи любого из потоков. Такой подход оказывается более эффективным в смысле объема и коэффициента использования занятого канального ресурса. Чтобы определить параметры общего резервирования (в диссертации в качестве настраиваемого параметра рассматривается период следования зарезервированных интервалов одинаковой длительности, каждого из которых достаточно для выполнения одной попытки передачи пакета и получения кадра подтверждения доставки) в четвертой главе предложена аналитическая модель на основе цепи Маркова с дискретным временем, для которой определены переходные вероятности и найдено стационарное распределение вероятностей. При заданных требованиях к качеству обслуживания (в виде одинакового для всех потоков ограничения на время передачи пакета и, возможно, различных ограничениях на долю потерянных пакетов каждого из потоков) модель позволяет с необходимой точностью определить оптимальный период резервирования, т.е. такой наибольший период, который позволяет выполнить требования к качеству обслуживания для всех потоков.

**В заключении** резюмируются основные результаты диссертационной работы.

## **Оценка новизны**

В качестве новых научных результатов, полученных в диссертации, следует отметить следующие положения.

- Предложена и исследована оригинальная дисциплина обслуживания очереди, нацеленная на борьбу с блокированием очереди и его последствиями при кратковременных отказах канала во время передачи нескольких видеопотоков реального времени по сети Wi-Fi.
- Разработаны и исследованы два алгоритма динамического резервирования канального ресурса, которые определяют необходимый для передачи видеопотока реального времени объем канального ресурса. Отличием разработанных алгоритмов от известных ранее является учет, помимо прочего, задержки при установлении и отмене резервирования, при этом первый алгоритм направлен на минимизацию числа зарезервированных временных интервалов, а второй позволяет уменьшить объем фактически занятого канального ресурса.
- Разработана оригинальная модель передачи видеопотока реального времени по сети с помощью динамически устанавливаемых резервирований, которая позволяет определить среднюю долю потерянных пакетов на интервалах заданной длительности, а также вычислить объем фактически занятого канального ресурса, и таким образом провести сравнение по данным показателям различных алгоритмов динамического резервирования канального ресурса.
- Разработана математическая модель передачи нескольких потоков с использованием общего периодического резервирования в условиях помех, которая при заданном ограничении на время передачи пакета и заданном периоде общего резервирования позволяет найти долю потерянных пакетов для каждого из потоков.

## **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, и их достоверность**

Все выводы, сделанные в диссертации, обоснованы, а теоретические результаты доказаны. Соискатель владеет методами теории вероятностей и теории случайных процессов и умело применяет их для решения поставленных задач. Достоверность основных научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается согласованностью результатов, полученных для разных моделей между собой, а также численными экспериментами с применением имитационного моделирования в среде ns3. Результаты диссертации своевременно опубликованы в рецензируемых научных

журналах, а также неоднократно обсуждались на ведущих международных и российских научно-технических конференциях, и семинарах, что также подтверждает их достоверность.

### **Недостатки работы**

Диссертация и автореферат имеют следующие недостатки.

1. Диссертационная работа содержит в разделе 1.2 достаточно подробный обзор методов доступа к беспроводному каналу в сетях Wi-Fi, определяемых стандартом IEEE 802.11. Наряду с этим, хотелось бы видеть в диссертации литературный обзор научных работ по исследованию р-настойчивых (P-persistent) алгоритмов случайного доступа к среде для протокола CSMA (Carrier Sense Multiple Access).
2. В диссертации и автореферате при описании передачи видеопотока на канальном уровне модели взаимодействия открытых систем используется термин «пакет», напр., в главе 1 на стр. 9-10 диссертации или при описании новых научных результатов на стр. 5 автореферата. Необходимо уточнить, что автор понимает под этим термином.
3. В главе 2 диссертации (стр. 53) и в автореферате (стр. 12) при проведении численного эксперимента требует обоснования выбор алгоритма адаптивного циклического планировщика (Adaptive Round Robin, ARR) для сравнения с разработанной в диссертации улучшенной Р-настойчивой политикой управления очередью. Интересным представляется сравнение разработанной улучшенной Р-настойчивой политики с известными дисциплинами поллингового обслуживания очередей, например, шлюзовой (gated) или исчерпывающей (exhaustive).
4. В разделе 2.3 диссертации (стр. 66) для улучшенной Р-настойчивой политики обслуживания очереди требуется строгое описание аналитической модели, построенной автором в виде цепи Маркова.
5. В разделе 2.3 диссертации (стр. 75) при описании численного эксперимента по реализации улучшенной Р-настойчивой политики управления очередью отсутствует четкое описание видеофрагмента, передача которого моделируется в среде ns3, в частности, не ясна длительность видеофрагмента.

Отмеченные недостатки не снижают научной ценности полученных в работе результатов.

## Заключение

Диссертация Кирьянова А.Г. является законченной научно-квалификационной работой, характеризующей его как сложившегося специалиста, способного самостоятельно ставить и решать научные задачи. Основные результаты диссертации своевременно опубликованы, в том числе, в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Все полученные в работе результаты аргументированы, а выводы обоснованы. Автореферат верно отражает содержание диссертационной работы. Диссертация содержит решение поставленных задач, имеющее важное значение для повышения качества предоставления пользователям беспроводной сети услуги передачи видеоданных, а также для проведения исследований и моделирования систем и устройств телекоммуникаций.

Таким образом, диссертация Кирьянова А.Г. удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук по специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций», а сам Кирьянов Антон Геннадьевич заслуживает присвоения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

Доцент кафедры прикладной информатики и теории вероятностей Российского университета дружбы народов, кандидат физико-математических наук по специальности 05.13.17 – «Теоретические основы информатики»,

доцент

И.А. Гудкова

Подпись Гудковой Ирины Андреевны заверяю:

Ученый секретарь ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов»,  
доктор физико-математических наук,  
профессор



В.М. Савчин

Отзыв подготовила:

Гудкова Ирина Андреевна, гражданка Российской Федерации, кандидат физико-математических наук по специальности 05.13.17 – «Теоретические основы информатики», доцент по специальности «Теоретические основы информатики».

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов» (ФГАОУ ВО РУДН), кафедра прикладной информатики и теории вероятностей.

Адрес: Россия 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6.

Тел.: +7 (499) 955 0715. E-mail: gudkova\_ia@pfur.ru