

## УТВЕРЖДАЮ

Директор Института проблем  
передачи информации  
им. А. А. Харкевича РАН,  
доктор физико-математических наук,  
профессор РАН

  
А.Н. Соболевский  
«22» января 2018 г.



ГУАП  
№ 74-165/18-0-0  
от 24.01.2018  


## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

Пастушка Игоря Анатольевича

**«Исследование и разработка алгоритмов распределения ресурсов радиоканала для адаптивной потоковой передачи видеоданных»**

на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 –

Системы, сети и устройства телекоммуникаций

### 1. Актуальность темы диссертации

В настоящее время исследование и увеличение производительности беспроводных централизованных сетей связи для передачи видеоданных является одной из открытых задач в области телекоммуникаций. Данная задача актуальна ввиду бурного развития беспроводных систем, увеличения числа пользовательских устройств и появления новых требований к стандартам сетей связи. Доминирующим видом трафика, передаваемого в современных беспроводных сетях является видеoinформация, которая передается посредством протокола HTTP, причем используются две технологии передачи видеоданных: неадаптивная, в которой характеристики просматриваемого видеоряда выбираются пользователем, и адаптивная, когда характеристики воспроизводимого видеоряда подбираются автоматически видеоплеером на

пользовательском устройстве на основе оценок канала связи. Производительность беспроводных сетей связи во многом определяется методом распределения частотно-временных ресурсов радиоканала, реализуемом алгоритмом планирования (планировщиком) на канальном уровне базовой станции. Таким образом, актуальной является задача исследования и разработки алгоритмов распределения ресурсов радиоканала для адаптивной потоковой передачи видеоданных, чему посвящено диссертационное исследование Пастушка Игоря Анатольевича.

Настоящий отзыв предоставлен на диссертационную работу, состоящую из введения, оглавления, четырех разделов, заключения, списков литературы (включает 52 наименования), иллюстративного материала и таблиц, а также четырех приложений. Диссертационное исследование изложено на 143 страницах машинописного текста, включая 29 рисунков и 11 таблиц.

## **2. Основные научные результаты диссертации**

*Модель беспроводной централизованной системы связи при передаче видеоданных по протоколу H.264, учитывающая изменчивость во времени характеристик радиоканала и позволяющая производить аналитические исследования алгоритмов распределения ресурсов радиоканала.*

Основной спецификой беспроводных сетей связи является нестабильность радиоканала, которая выражается в изменчивости его характеристик во времени. В диссертационной работе представлена модель и система допущений для беспроводной централизованной сети связи при передаче видеоданных по протоколу H.264 в предположении беспроводного канала связи с плоскими замираниями.

*Взаимосвязь характеристик беспроводной централизованной сети и воспроизведения видеопотоков при их передаче по протоколу H.264.*

Предложенная в диссертационной работе взаимосвязь характеристик беспроводной сети связи и воспроизведения видеоряда при передаче видеоданных по протоколу H.264 количественно описывает влияние характеристик беспроводной централизованной сети связи и поведения пользователя при просмотре на показатели производительности алгоритмов для всех пользователей в сети. Настоящая взаимосвязь представлена замкнутым выражением, которое используется для получения дальнейших результатов.

*Алгоритм вычисления нижней границы нормированного отношения длительностей буферизации и просмотра при неадаптивной передаче видеоданных.*



Введенные в диссертационном исследовании модель и взаимосвязь характеристик беспроводной централизованной сети при передаче видеоданных по протоколу HTTP позволяют вычислить количественные оценки максимально возможной производительности алгоритмов планирования при неадаптивной передаче видеоданных по протоколу HTTP. Для оценки производительности алгоритмов планирования используется такой показатель, как среднее значение нормированного отношения длительностей буферизации и просмотра по множеству пользователей. Для данного показателя ставится оптимизационная задача и разрабатывается алгоритм ее решения, позволяющий найти нижнюю границу нормированного отношения длительностей буферизации и просмотра при неадаптивной передаче видеоданных. Алгоритм обладает низкой вычислительной сложностью.

*Алгоритм распределения ресурсов радиоканала, обладающий большей производительностью, чем существующие часто используемые алгоритмы, в смысле введенного ранее критерия при неадаптивной передаче видеоданных.*

Предложенный в диссертационном исследовании алгоритм вычисления нижней границы нормированного отношения длительностей буферизации и просмотра при неадаптивной передаче видеоданных обладает низкой вычислительной сложностью, что дает возможность на его основе построить алгоритм планирования распределения ресурсов радиоканала, обладающий производительностью большей, чем ранее известные аналоги, для указанного критерия. Этот факт продемонстрирован путем имитационного моделирования (в системе моделирования NS-3) тестового сценария работы сети связи LTE.

*Алгоритм вычисления нижней границы отношения длительностей буферизации и просмотра с учетом средней битовой скорости видеопотока при адаптивной передаче видеоданных.*

Ввиду широкого распространения адаптивной технологии передачи видеоданных по протоколу HTTP в беспроводных сетях связи диссертация предлагает исследование максимально возможной производительности алгоритмов планирования для адаптивной технологии передачи видеоданных. В качестве критериев производительности были рассмотрены средние значения битовой скорости просматриваемого видеопотока и нормированного отношения длительностей буферизации и просмотра, характеризующие качество просмотра видеоряда и для адаптивной передачи видеоданных. Нахождение максимально возможной производительности алгоритмов планирования было сведено к решению оптимизационной задачи невыпуклого программирования. С помощью имитационного моделирования проведено сравнение

производительности известных алгоритмов для адаптивной и неадаптивной технологий передачи видеоданных с найденной нижней границей. Результат сравнения позволяет количественно оценить преимущества использования адаптивной технологии для передачи видеоданных и определить максимальную емкость сети для заданного значения критерия качества.

### **3. Новизна и достоверность результатов диссертации**

Новизна предложенной модели беспроводной централизованной сети при передаче видеоданных по протоколу НТТР заключается в учете изменчивости характеристик радиоканала во времени. Для данной модели была предложена и доказана взаимосвязь характеристик беспроводной централизованной сети и воспроизведения видеоряда при передаче видео по протоколу НТТР, позволяющая количественно оценить влияние характеристик сети на воспроизведение видеоряда.

Предложен алгоритм вычисления нижней границы нормированного отношения длительностей буферизации и просмотра при неадаптивной передаче видеоданных, на основе которого разработан алгоритм распределения ресурсов радиоканала, реализующий концепцию совместного планирования.

Алгоритм вычисления нижней границы отношения длительностей буферизации и просмотра с учетом средней битовой скорости видеопотока при адаптивной передаче видеоданных предложен впервые.

Достоверность полученных автором результатов подтверждена применением адекватных математических методов и моделей, итогами вычислительных экспериментов в системе имитационного моделирования, соответствующей современным стандартам беспроводных сетей связи, апробацией результатов в публикациях и докладах на конференциях и симпозиумах. Следует отметить, что 2 авторские работы опубликованы в изданиях, входящих в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени доктора и кандидата наук», а 3 работы опубликованы в изданиях, включенных в международную базу Scopus. Полученные автором результаты согласуются с принятыми в соответствующих отраслях науки теориями, моделями, подходами и известными фактами.

### **4. Теоретическая и практическая значимость**

Значимость полученных автором результатов заключается в разработанном аналитическом подходе к анализу производительности алгоритмов распределения ресурсов радиоканала для передачи видеоданных по протоколу НТТР в беспроводных централизованных сетях



связи. Описанный в работе подход позволяет получить оценки производительности без использования аппарата имитационного моделирования и, как следствие, больших вычислительных затрат.

С помощью имитационного моделирования на тестовом примере показано, что разработанный алгоритм планирования для неадаптивной передачи видеоданных обладает большей на 7-14% производительностью, чем известные алгоритмы, и близкой к найденной нижней границе для критерия нормированного отношения длительностей буферизации и просмотра. Также аналитические результаты настоящей работы могут быть использованы для формирования требований для стандартов текущего и последующих поколений беспроводной связи.

Результаты работы используются в учебном процессе кафедр Безопасности информационных систем и Инфокоммуникационных систем ГУАП, а также были использованы в рамках проекта с компанией ПАО «Интелтех».

## **5. Замечания по содержанию диссертации**

В качестве недостатков работы можно отметить следующее:

1. Представление рассматриваемой системы передачи видеоданных в разделе 2.8 в виде замкнутой системы массового обслуживания не является необходимым, так как никак не используется в дальнейшем для решения поставленных задач диссертации.

2. Доказательство утверждения 1 из раздела 2 можно существенно упростить, как это сделал сам диссертант в статье, опубликованной в IEEE Wireless Communications Letters.

3. Результаты численного исследования приводятся для единственного сценария, что явно недостаточно, так как не позволяет оценить чувствительность показателей производительности к изменениям различных параметров системы.

4. Трактовка рис. 3.9 выглядит сомнительно. Диссертант утверждает, что из рис. 3.9 следует превосходство предлагаемого алгоритма по числу удовлетворенных пользователей, в то время как на этом рисунке показаны только значения критерия восприятия, усредненные по всем пользователям. Средних значений критерия явно недостаточно для оценки числа удовлетворенных пользователей.

5. В заключении в качестве одного из основных результатов диссертант утверждает, что им «разработан алгоритм распределения ресурсов радиоканала, обладающий на 7-14% большей производительностью, чем ранее известные алгоритмы». Следовало бы указать, что этот результат получен на тестовом примере, так как вряд ли эти количественные значения, приведенные в данном утверждении, будут справедливы для других сценариев.

## **6. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы**

Результаты и выводы диссертационной работы рекомендуется использовать в НИР и НИОКР, направленных на разработку новых высокоскоростных систем беспроводной связи, применяемых для передачи мультимедийной информации, а также в научно-практической и педагогической работе, проводимой в ИППИ РАН, МФТИ (факультет радиотехники и кибернетики), ФИЦ ИУ РАН, ИПС РАН, МИФИ, ГУАП, Университете ИТМО, Институт систем обработки изображений РАН, Институт Космических Исследований и других научных и производственных организациях, занимающихся исследованиями и разработкой в области телекоммуникаций.

## **7. Общая оценка работы**

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой и выполнена на высоком научном уровне. Поставленная задача, связанная с исследованием процессов генерации, передачи и хранения цифровой видеoinформации, а также выработкой рекомендаций по разработке новых соответствующих алгоритмов и процедур, соответствует паспорту специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Проведенные научные исследования можно характеризовать как научно обоснованные разработки, обеспечивающие решение важных прикладных задач в области передачи видеоданных в беспроводных сетях, что имеет большое практическое значение. Представленные в работе математические и логические выкладки достоверны, выводы теоретически и практически подтверждены.

Диссертационная работа содержит в достаточном объеме анализ существующих подходов к решению поставленных задач, описание исходных данных, включает пояснения, рисунки, графики и расчеты. Язык и стиль диссертации соответствует устоявшейся научно-технической терминологии и стилю изложения. Диссертация аккуратно оформлена. По каждому разделу и работе в целом имеются содержательные выводы.

Цель и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, основное содержания работы и ее результаты в полной мере изложены в автореферате. Основные результаты диссертации отражены в 12 печатных работах.

Работа удовлетворяет критериям ВАК о порядке присуждения ученых степеней, который содержит требования, предъявляемые к кандидатским диссертациям. Автор Пастушок Игорь Анатольевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.



Доклад автора по диссертации «Исследование и разработка алгоритмов распределения ресурсов радиоканала для адаптивной потоковой передачи видеоданных» заслушан и настоящий отзыв принят на заседании расширенного научного семинара лаборатории № 18 «Методы анализа и синтеза сетевых протоколов» Института проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН «15» января 2018 года, протокол № 1.

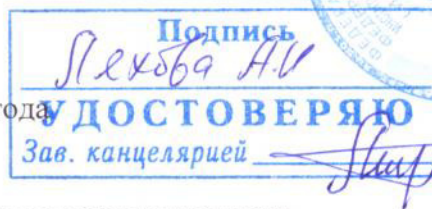
Зав. лабораторией № 18 «Методы анализа и синтеза сетевых протоколов»,  
зам. директора ИППИ РАН по научной работе  
д.т.н. (специальность 05.12.13), проф.



Ляхов Андрей Игоревич



«18» января 2018 года



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича  
Российской академии наук (ИППИ РАН)  
Адрес: 127051, г. Москва, Большой Каретный переулок, д.19, стр. 1.  
Сайт: <http://iitp.ru>  
Телефон: +7 (495) 650-42-25  
Факс: +7 (495) 650-05-79  
E-mail: [director@iitp.ru](mailto:director@iitp.ru)