

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕТЕВЫХ ПОМЕХ МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ ПОТОКОВ БЕСПРОВОДНОЙ WI-FI СЕТИ

Забровский А. Л., Арикайнен А. И., Петров Е. А.

*Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, Россия (185910, Россия, Республика Карелия, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33), e-mail: z\_anatoliy@petrsu.ru*

---

На сегодняшний день мультимедийные потоки активно передаются как в проводных, так и в беспроводных Wi-Fi сетях. Качество передачи мультимедийного трафика напрямую зависит от сетевых помех, таких как потери пакетов, сетевая задержка и джиттер, воздействующих на транслируемые потоки. В свою очередь передача мультимедийного трафика по беспроводным Wi-Fi сетям более подвержена влиянию различных сетевых характеристик. В данной статье описывается созданный программно-аппаратный комплекс, моделирующий сетевые помехи беспроводной Wi-Fi сети, и исследуется их влияние на мультимедийные потоки, передаваемые в реальном режиме времени. Получены зависимости качества потока от сетевых помех передающей среды для беспроводной Wi-Fi сети. Показано, что можно использовать критерий оценки качества мультимедийных потоков, созданный для проводных сетей, в беспроводных Wi-Fi сетях.

---

Ключевые слова: сетевые помехи, эмулятор, беспроводная сеть, Wi-Fi, качество, мультимедийный поток.

## EMULATION OF NETWORK IMPAIRMENTS OF MULTIMEDIA STREAMS IN A WI-FI NETWORK

Zabrovskiy A. L., Arikainen A. I., Petrov E. A.

*Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia (185910, Russia, Karelia, Petrozavodsk, street Lenina, 33), e-mail: z\_anatoliy@petrsu.ru*

---

Today multimedia streams are actively transmitted in both wired and Wi-Fi networks. The quality of transmitting multimedia streams depends directly on network impairments, such as a packet loss, network delay and jitter, which affect the sent streams. In turn, the transmission of multimedia traffic over Wi-Fi networks is more susceptible to the influence of a variety of network characteristics. This article describes the created software and hardware system that simulates network impairments of a Wi-Fi network, and also investigates their impact on multimedia streams transmitted in real time mode. Dependences of the quality of a stream on network impairments for a wireless Wi-Fi network have been obtained. It has been shown that the criterion for assessing the quality of multimedia streams created for wired networks can be also used in wireless networks.

---

Keywords: network impairments, emulator, wireless network, Wi-Fi, quality, multimedia stream.

### Введение

Беспроводные сети передачи локального и Интернет трафика становятся все более популярными. Это связано с тем, что в данном случае для подключения к сетевой инфраструктуре не нужно использовать сетевой кабель. Процесс подключения становится максимально быстрым и удобным. Пользователи становятся более мобильными и независимыми от конкретного рабочего места. Появляется возможность получить доступ к различным сетевым сервисам и услугам во время перемещения, например, из одного помещения в другое. Наряду с развитием беспроводных технологий передачи данных активно развиваются сетевые мультимедийные технологии. Например, онлайн-трансляции в реальном режиме времени все чаще используются в образовании, бизнесе и других областях жизни людей.

Мультимедийные аудио- и видеопотоки передаются как на стационарные компьютеры, так и на мобильные устройства. В свою очередь передача мультимедийного трафика по беспроводным сетям более подвержена влиянию различных сетевых помех, таких как потеря пакетов, сетевая задержка и джиттер.

Задача определения возможности беспроводных клиентов получать тот или иной мультимедийный поток в определенном месте сети весьма актуальна. Ее решение требует изучения влияния сетевых помех на качество передаваемых мультимедийных потоков.

Целью данной работы как раз было исследование влияния сетевых помех, возникающих в беспроводной Wi-Fi сети. В результате работы было показано, что возможно использовать один и тот же критерий оценки качества мультимедийных потоков как в проводных, так и в беспроводных сетях [1].

На первом этапе работы были экспериментально определены возможные значения сетевых помех в специально развернутой тестовой беспроводной Wi-Fi сети. На втором этапе работ были проведены эксперименты по эмулированию сетевых помех беспроводной Wi-Fi сети с помощью системы моделирования сетевых помех, о которой более подробно рассказывается в статье [2]. Последний этап включал в себя обработку экспериментальных данных и интерпретацию результатов.

### **Определение характеристик беспроводной Wi-Fi сети**

Значения сетевых помех, которые характерны для беспроводной Wi-Fi сети, выбирались с учетом информации, представленной в зарубежных исследованиях [3, 4], консультаций со специалистами, работающими в области определения качества передачи сетевого трафика, а также на основе самостоятельно проведенных экспериментов.

Для проведения экспериментов по определению сетевых характеристик беспроводной Wi-Fi сети в главном корпусе Петрозаводского государственного университета была развернута тестовая беспроводная локальная сеть. В ходе экспериментов использовалось программное обеспечение и оборудование:

- Wi-Fi роутер Linksys WRT160NL;
- Медиасервер Adobe Flash Media Development Server 4.5;
- Видеокодер WireCast 4.2.4;
- Мобильный компьютер (ноутбук Acer Aspire TimelineX 4820TG).

Операционная система клиентского ноутбука – 32-х разрядная Microsoft Windows 7 Professional. Браузер Google Chrome v.25.0.1364.172 m. В ходе экспериментов на ноутбуке была отключена служба обновлений и запрещены обновления программного обеспечения. Технические характеристики ноутбука: 3Гб оперативной памяти, двухъядерный ЦПУ Intel Core i3-330M с частотой 2.13 ГГц и встроенной графической картой, WiFi адаптер

Atheros. Использовался стандарт Wi-Fi 802.11n. Схема подключения оборудования представлена ниже на рис. 1.

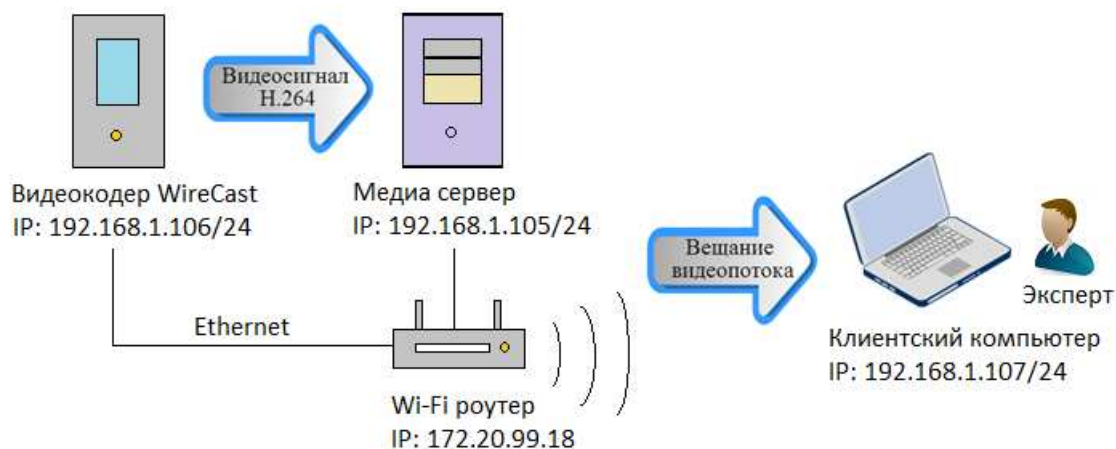


Рисунок 1. Схема подключения оборудования

В качестве мультимедийного потока выступал транслируемый в сеть образовательный видеоролик. Данное видео в реальном режиме времени кодировалось кодеком H.264 и отправлялось на медиасервер с помощью видеокодера WireCast. С медиасервера на клиентский компьютер по беспроводной Wi-Fi сети отсылался мультимедийный поток по протоколу RTMP (Real-Time Messaging Protocol) [5]. Эксперименты проводились для двух мультимедийных потоков с битовыми скоростями (битрейтами) 148 и 1548 Кбит/с. Во время трансляций потоков по беспроводной Wi-Fi сети с клиентского ноутбука отправлялись ICMP (Internet Control Message Protocol) эхо-запросы на видеокодер и медиасервер. Результаты экспериментов сохранялись в журнальных файлах для дальнейшего их анализа. Далее более подробно рассмотрим стадии подготовки и проведения эксперимента.

Каждый эксперимент состоит из нескольких стадий:

- С помощью программы inSSIDer контролируется мощность сигнала от Wi-Fi роутера (начиная с -20 дБм, и заканчивая -90 дБм, с шагом 10 дБм). Измерения делаются в нескольких точках, которым соответствуют один и тот же уровень мощности.
- Программой PingMonitor формируется журнальный файл результатов работы утилиты Ping в каждой точке замера в течение минуты. Таким образом, измеряется RTT (Round Trip Time) до видеокодера и медиасервера. Эхо-запрос ICMP производится каждые три секунды. Также экспертом осуществляется визуальное наблюдение и оценка воспроизводимого мультимедийного потока, чтобы отметить, есть ли какие-либо замирания или артефакты в воспроизводимом видео. Журнальный файл анализируется с помощью специально созданных php-сценариев, вычисляется среднее значение RTT. После деления

времени RTT пополам получается средняя односторонняя задержка. Значение джиттера определяется как максимальное отклонение задержек от среднего значения.

- Формируется таблица полученных результатов, в которой содержатся значения односторонней задержки, джиттера, расстояния от точки доступа, мощности сигнала и оценки качества передаваемого видео.
- На основании значений таблицы строятся наглядные графики зависимости сетевых параметров от мощности сигнала, из чего формируется таблица сетевых характеристик, которая будет использоваться в описанных далее экспериментах.

Измерения показали, что практически во всём диапазоне мощности Wi-Fi сигнала задержка и джиттер остаются приблизительно постоянными, немного увеличиваясь с уменьшением мощности. В основном значения варьировались в следующих пределах, представленных в табл. 1:

Таблица 1. Диапазон значений задержки и джиттера

Битрейт, Кбит/с	Задержка, мс	Джиттер, мс
148 (до -85 дБм)	0.6 – 4.0	0.3 – 20
1548 (до -75 дБм)	0.8 – 2.4	0.7 – 4.8

При приближении мощности к -90 дБм для потока 148 Кбит/с и к -80 дБм для потока 1548 Кбит/с иногда встречались значения джиттера и задержки до 200 и до 50 мс соответственно. При этом воспроизведение потокового видео продолжалось. Поэтому нельзя исключать возможности появления подобных сетевых помех в беспроводной Wi-Fi сети.

В результате анализа полученных результатов экспериментов и рекомендаций [4] была сформирована таблица сетевых помех для проведения дальнейших экспериментов. Значения задержек и джиттеров были определены путём деления диапазонов, полученных в ходе экспериментов значений на равные части. Потери пакетов взяты по аналогии с уже проводившимися измерениями [4].

Окончательные значения, которые были выбраны для эмулирования беспроводной Wi-Fi сети:

- Задержки при передаче пакета: 2, 12, 25, 37 мс;
- Джиттер: 1, 50, 100, 150 мс;
- Потери пакетов: 0, 2, 4, 6, 8 %.

### **Критерий оценки качества мультимедийных потоков**

Полученные значения сетевых помех беспроводной Wi-Fi сети разумно использовать для проведения экспериментов, предназначенных для исследования возможности применения

разработанного ранее критерия оценки качества мультимедийных потоков в беспроводных сетях [1].

$$y = \frac{F_{min} * B_{min}}{T_{start} * F_{drop} + T_{start} + 2^{(25 - F_{min})}} - 5; (1)$$

где  $T_{start}$  – время начала воспроизведения. Время, при котором первое значение количества воспроизводимых видео кадров в секунду больше 24.

Значения следующих характеристик  $F_{min}$ ,  $F_{drop}$  и  $B_{min}$  рассчитываются, начиная с двадцатой секунды эксперимента (первые 10 значений этих характеристик не учитываются в расчетах).

$F_{min}$  – минимальное количество кадров в секунду, которое было зафиксировано в течение воспроизведения мультимедийного потока. Стандартное значение количества кадров в секунду  $FPS=25$  кадрам в секунду для оригинального потока, но в некоторых случаях оно может уменьшаться, например, если процессор компьютера загружен и не успевает отображать все кадры, тогда происходит потеря кадров.

$F_{drop}$  – максимальный скачок потери кадров, который был зафиксирован в течение воспроизведения мультимедийного потока.

$B_{min}$  – минимальный размер буфера в секундах, который был зафиксирован в течение всего воспроизведения мультимедийного потока.

Для проверки критерия было решено провести ряд экспериментов с использованием системы моделирования сетевых помех мультимедийных потоков [2].

### Подготовка и проведение эксперимента

Суть представленных ниже экспериментов заключается в эмулировании сетевых помех беспроводной Wi-Fi сети, влияющих на передаваемые мультимедийные потоки. Мониторинг качества передаваемых потоков осуществляется с помощью разработанного критерия оценки качества, а также визуально экспериментатором.

В экспериментах для формирования мультимедийных потоков используется образовательное видео. Характеристики образовательного видео файла представлены в табл. 2. Продолжительность одного эксперимента составляет 2 минуты. С помощью сетевого эмулятора WANem задаются необходимые эмулируемые сетевые помехи. Мультимедийный поток формируется и отправляется на медиасервер программным обеспечением WireCast. Экспериментатор на клиентском компьютере во Flash-плеере может запрашивать и воспроизводить поток с сервера. Все представленные компоненты эксперимента находятся в одной локальной сети и не имеют доступа в Интернет. Исключением является только компьютер клиента, который имеет доступ к внешнему серверу для отправки параметров качества воспроизведения мультимедийного потока в удаленную базу данных.

Таблица 2. Характеристики образовательного видеофайла

Параметр	Значение
Разрешение	640x360
Кодек	H.264
Частота ключевых кадров	5 секунд
Количество кадров в секунду	25 кадров
Длительность	182 секунды

Все эксперименты проводятся для трех потоков с разными битовыми скоростями, которые представлены ниже. При этом максимальная полоса пропускания сетевого канала для этих экспериментов ограничена величиной 2048 Кбит/с.

- 148 Кбит/с (100 Кбит/с видео и 48 Кбит/с аудио).
- 548 Кбит/с (500 Кбит/с видео и 48 Кбит/с аудио).
- 1048 Кбит/с (1000 Кбит/с видео и 48 Кбит/с аудио).

Были проведены эксперименты с эмулированием различных сетевых помех, табл. 3.

Таблица 3. Проведённые эксперименты

Условия эксперимента	Значения параметров	Количество экспериментов	Число несовпадений
Основные эксперименты (длительностью 2 минуты)			
Поток 148 кбит/с	Задержка: 2, 12, 25, 37 мс;	80	3
Поток 548 кбит/с	Джиттер: 1, 50, 100, 150 мс;	58	2
Поток 1048 кбит/с	Потери пакетов: 0, 2, 4, 6, 8 %.	46	1
Дополнительные измерения в точках несоответствия (длительностью 3 минуты)			
148, 548, 1048 кбит/с	-	18	1

На основе критерия оценки качества мультимедийных потоков [1] были оценены 184 эксперимента. Полученные значения с помощью данного критерия оценки были сравнены с визуальной оценкой качества мультимедийных потоков проведенных экспериментов. Из 184 экспериментов в 178 сравнение показало совпадение результатов обоих используемых подходов оценки качества, а именно – с помощью критерия оценки и визуального. Визуально экспериментатор наблюдал остановки и замирания видео, а также в случае, если воспроизведение видеопотока не начиналось спустя 20 секунд после нажатия кнопки проигрывания, качество потока считалось плохим. Для проверки точек несовпадения были проведены дополнительные 18 экспериментов, увеличенных по длительности до трех минут. По итогам которых осталась только одна точка несовпадения. Зависимости параметра Tstart от потери пакетов, задержки и джиттера для битрейтов 148, 548 и 1048 Кбит/с представлены в табл. 4. Из таблицы видно, что увеличение времени начала воспроизведения видеопотока

Tstart связано с ростом битрейта мультимедийного потока и изменением значений остальных сетевых помех.

Таблица. 4. Зависимость времени начала воспроизведения от сетевых характеристик для разных видеопотоков

Битрейт: 1048 Кбит/с	Джиттер, мс																
	1				50				100				150				
Задержка, мс	2	12	25	37	2	12	25	37	2	12	25	37	2	12	25	37	
Потери пакетов, %	0	14	14	14	12	12	14	14	16	16	12	16	16	16	16	12	16
	2	14	18	24	32	22	30	34	30	32	36	-	-	-	-	-	-
	4	16	24	32	34	32	34	38	28	34	-	-	-	-	-	-	-
	6	30	28	60	60	32	34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	8	38	32	68	56	58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Битрейт: 548 Кбит/с	Джиттер, мс																
	1				50				100				150				
Задержка, мс	2	12	25	37	2	12	25	37	2	12	25	37	2	12	25	37	
Потери пакетов, %	0	14	12	12	14	14	12	12	14	12	14	14	12	12	14	16	12
	2	12	12	12	16	12	14	20	22	18	24	20	26	30	26	30	-
	4	12	12	22	26	14	22	30	34	30	32	-	-	38	36	-	-
	6	22	14	34	36	24	26	28	-	37	38	-	-	-	-	-	-
	8	19	28	32	44	26	42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Битрейт: 148 Кбит/с	Джиттер, мс																
	1				50				100				150				
Задержка, мс	2	12	25	37	2	12	25	37	2	12	25	37	2	12	25	37	
Потери пакетов, %	0	12	12	14	14	14	14	12	14	10	14	12	14	12	12	12	
	2	12	12	14	12	12	14	12	12	12	14	12	14	14	18	18	14
	4	12	12	14	12	12	12	16	16	14	14	16	16	18	14	18	18
	6	12	14	14	18	16	14	14	20	18	20	24	22	16	22	28	30
	8	16	16	18	16	18	16	16	30	14	28	26	38	20	20	40	50

	- видеопоток воспроизводился без задержек и остановок
	- видеопоток воспроизводился с задержками или остановками
	- измерение не проводилось, поскольку качество воспроизведения было плохим при меньших сетевых помехах
	- видеопоток воспроизводился без задержек и остановок, хотя система оценила качество как плохое

## Выводы

Предложен программно-аппаратный комплекс для исследования сетевых помех мультимедийных потоков беспроводной Wi-Fi сети. Получены зависимости качества мультимедийного потока от сетевых помех передающей среды для беспроводной Wi-Fi сети. С его помощью исследована возможность применения созданного ранее критерия оценки качества мультимедийных потоков для использования в беспроводных Wi-Fi сетях. Было

показано, что возможно использовать один и тот же критерий оценки качества мультимедийных потоков как в проводных, так и в беспроводных Wi-Fi сетях.

Определено, что наиболее существенное влияние на качество передаваемого мультимедийного потока в беспроводных Wi-Fi сетях оказывают потери пакетов. Полученные результаты будут использоваться для создания веб-сервиса MultimediaQualityNetwork, предназначенного для быстрого тестирования способности удаленных пользователей принимать видеопоток с определенным битрейтом.

*Работа выполняется при финансовой поддержке Программы стратегического развития ПетрГУ в рамках реализации комплекса мероприятий по развитию научно-исследовательской деятельности на 2012–2016 гг.*

### Список литературы

1. Забровский А. Л. Критерий оценки качества образовательных мультимедийных потоков, транслируемых в реальном режиме времени // Тр. Карельского науч. центра РАН. 2013. № 1. С. 26-32
2. Рогов А. А., Забровский А. Л. Система моделирования сетевых помех мультимедийных потоков // Информационно-управляющие системы. Научный журнал. 2013. 3(64). С. 42-46.
3. Hyun Jong Kim, Dong Geun Yun et al. QoE Assessment Model for Video Streaming Service using QoS Parameters in Wired-Wireless Network. Korea, Electronics and Telecommunications Research Institute, CNU, 2012. С. 462.
4. Ricky K. P. Mok, Edmond W. W. Chan, Rocky K. C. Chang. Measuring the Quality of Experience of HTTP Video Streaming. Hong Kong, 2011. 8 с.
5. Real-Time Messaging Protocol (RTMP) specification [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.adobe.com/devnet/rtmp.html/> (дата обращения: 16.09.2013).

### Рецензенты:

Рогов А. А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой теории вероятностей и анализа данных Петрозаводского государственного университета, г. Петрозаводск.

Печников А. А., д.т.н., доцент, ведущий научный сотрудник Лаборатории телекоммуникационных систем Института прикладных математических исследований, ИПМИ КарНЦ РАН, г. Петрозаводск.