

Экспериментальное исследование мультисервисной IP-сети с целью выявления параметров, влияющих на качество цифрового ТВ-изображения

П. А. Дунаев

Рассматривается взаимное влияние приложений голоса, интернет-трафика и видеосигнала на качество цифрового телевизионного изображения при одновременной трансляции в мультисервисных сетях. Выявлена зависимость качества изображения от состояния мест соединений и патч-кордов витых пар. Качество изображения оценивалось методом субъективной оценки, рекомендованным МСЭ.

Ключевые слова: цифровое телевидение, качество изображения, методы оценки, мульти-сервисная сеть.

1. Введение

IPTV QoE (Quality of Experience, Восприятие Качества систем IPTV) представляет собой степень удовлетворённости пользователей от предоставляемых им видеосервисов. Коэффициент IPTV QoE подвержен различным коммерческим факторам, таким как стоимость услуг, качество транслируемого контента, а также характеристикам предоставляемых сервисов. Кроме того, существуют технические факторы, включающие в себя время реакции системы на переключение каналов и качество самой среды передачи. Проводить измерения IPTV QoE означает получать данные о технических аспектах, влияющих на удовлетворённость абонентов от получаемых ими сервисов [1].

Всего существуют четыре типа аппаратно-программных комплексов для доставки услуг IPTV:

- головной узел видеосистемы, где хранятся приложения и содержания (контент) ТВ-программ;
- сама сеть, представляющая собой транспортный механизм, доставляющий ТВ-контент и интерактивные сервисы от головного узла до домашнего кинотеатра абонента;
- связующее программное обеспечение, которое представляет собой набор программ, контролирующих по сети доставку ТВ-контента и интерактивных сервисов до абонента;
- собственное оборудование абонентов, представляющее собой ТВ-декодер (Set Top Box), находящийся непосредственно у них в доме и подключённый к телевизору.

Каждый из этих комплексов (систем) способен воздействовать на IPTV QoE и должен подвергаться специфическим тестовым процедурам и измерениям. Перед началом сквозного тестирования IPTV и общей интеграции всей ТВ-сети, необходимо провести тесты каждой системы (и каждого конкретного элемента) индивидуально для того, чтобы убедиться, что все составляющие структуры IPTV соответствуют заявленным характеристикам, кроме того, осуществить раннюю диагностику возможных проблем. Таким образом, необходимо проводить тестирование и оценку метрик (качество изображения) для проверки IPTV QoE по всей

инфраструктуре доставки IPTV-сервисов до абонента, как это в общем виде представлено на рис. 1 и рис. 2.

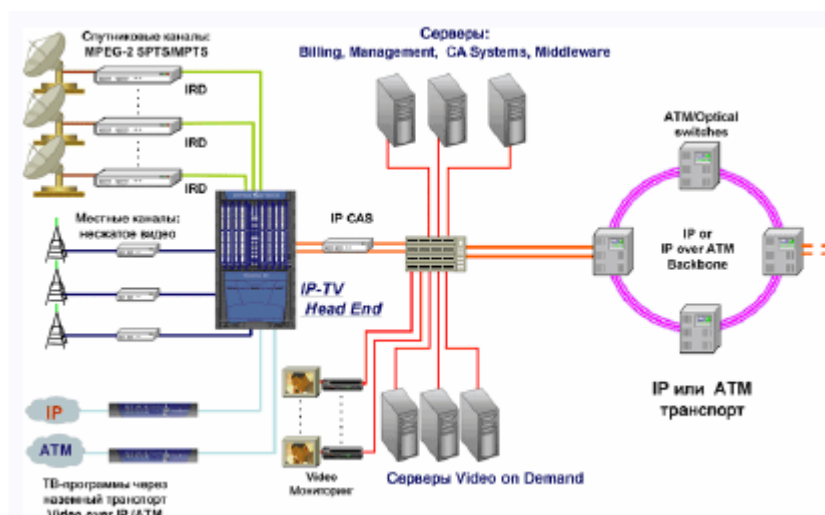


Рис. 1. Головная станция IP TV в составе транспортной сети



Рис. 2. Магистральная часть IP TV и уровень доступа

Для поддержки жизнеспособного сервиса IPTV возникает необходимость в сквозном тестировании работоспособности и надлежащем функционировании сети в целом, поскольку от этого зависит расширяемость и качество предоставляемых сервисов и функция маршрутизации широковещательной трансляции. Потеря пакетов, проблемы латентности, а также слабая система управления приведут к негативному восприятию качества IPTV-услуг со стороны абонентов [1].

Существуют следующие фундаментальные области тестирования IPTV QoE:

- измерения временных интервалов при переключении каналов абонентами IPTV;
- измерения метрик качества среды (аудио, видео);
- измерения ширины полосы частот (способна ли инфраструктура IPTV транслировать сотни каналов);
- проверка правильности получаемой по каналам информации;
- эталонное тестирование (несколько серверы, работающие в реальных условиях соответствуют своим же характеристикам, полученным в лабораторной среде);
- взаимное влияние при трансляции приложений голоса, данных, видео в мультисервисных сетях.

Измерения временных интервалов при переключении каналов абонентами IPTV, измерения метрик качества среды являются наиболее важными и фундаментальными для поддержки надлежащего IPTV QoE [1].

2. Проведение экспериментов и получение экспериментальных данных

Важным аспектом при просмотре телевизионных программ является качество изображения. К предоставляемому видеоматериалу предъявляется множество требований, при оценке которых можно судить о работе сети и правильной настройке применяемого оборудования.

Целью данных исследований является выявление взаимного влияния приложений голоса, интернет-трафика и видеосигнала на качество цифрового телевизионного изображения и его зависимость от состояния мест и соединений патч-кордов витых пар.

В настоящее время Ethernet, т.е. протокол канального уровня, является основной технологией в локальных вычислительных сетях и в корпоративных центрах обработки данных. Это одна из самых простых и недорогих технологий для передачи данных на короткие и средние (вплоть до сотен километров) расстояния [2].

Современные корпоративные IP TV-сети строятся на базе Ethernet (IP TV over Ethernet). Технология Ethernet, безусловно, одна из важных составляющих мультисервисных сетей следующего поколения, особенно сетей городского масштаба (Metro Ethernet).

Протокол Ethernet обеспечивает возможность постепенного наращивания скорости передачи данных через Ethernet-соединения от 10 мбит/с до 100 мбит/с и даже 1 Гбит/с без существенных дополнительных затрат. При этом осуществляется поддержка QoE и реализуется режим Multicast передачи [2].

Для уменьшения длины абонентских линий технология Ethernet предполагает вынос отдельных сегментов IP-сети (коммутаторов) в здания, в которых проживают абоненты, для реализации симметричного канала связи со скоростью передачи данных 100 мбит/с и выше.

Ethernet-сети при подключении к оптическому кабелю обеспечивают высококачественную доставку мультимедийного контента достаточно большому числу абонентов в режиме реального времени.

2.1. Влияние распределения интернет-трафика на качество цифрового изображения

Экспериментальные исследования проводились на смоделированной IP TV-сети на базе технологии Ethernet (IP TV over Ethernet). Было использовано оборудование NetUP IPTV Combine в качестве головной станции (ГС) (рис.3), Ethernet коммутаторы, DSLAM, оптический кабель, UTP-кабель категории 5 е, абонентский ADSL-модем.



Рис. 3. NetUP IPTV Combine

При проведении исследований строилась конфигурация сети в следующей последовательности: NetUP IP TV Combine – Ethernet switch (коммутатор) – DSLAM – ADSL

модем. Изображение реального сюжета контролировалось на выходе ГС и на имитационном выходе абонентской розетки. С головной станции снимался IP – сигнал со скоростью 15 мбит/с (рис. 4).



Рис. 4. Экран дисплея NetUP IP TV Combine

С помощью программы Deluge (клиент-сервер для передачи данных по протоколу BitTorrent) установленной на персональном компьютере абонента, была увеличена скорость загрузки видео данных (рис. 5).

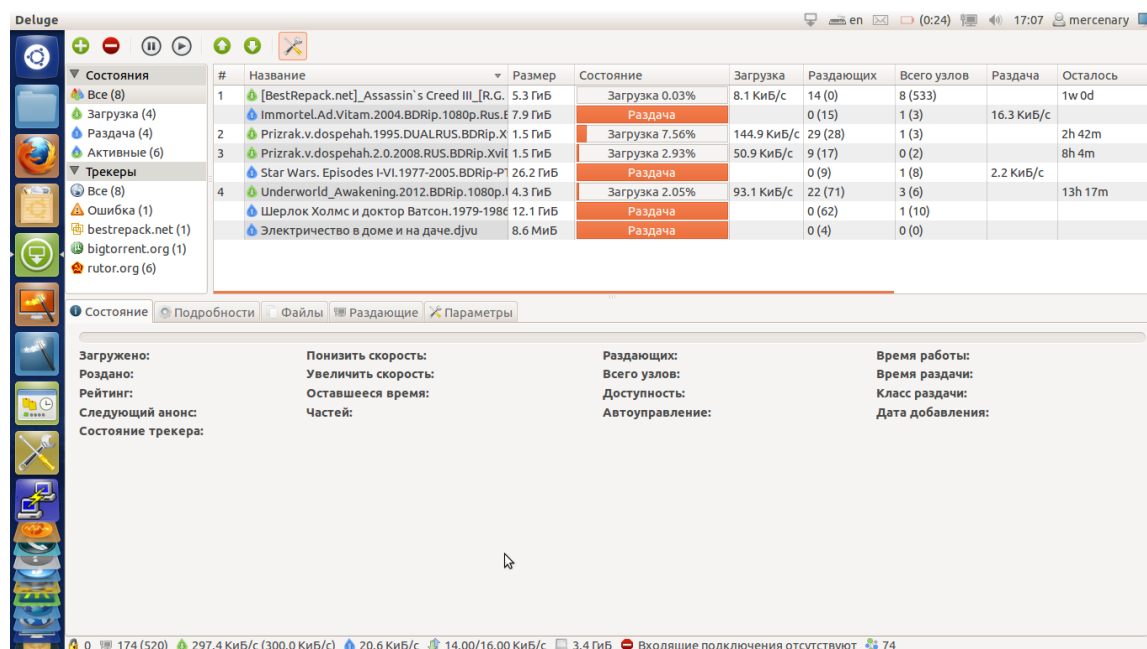


Рис. 5. Интерфейс программы Deluge

Скорость соединения DSLАМа и ADSL модема (рис. 6) в момент проведения эксперимента составляла 8 мбит/с [2].

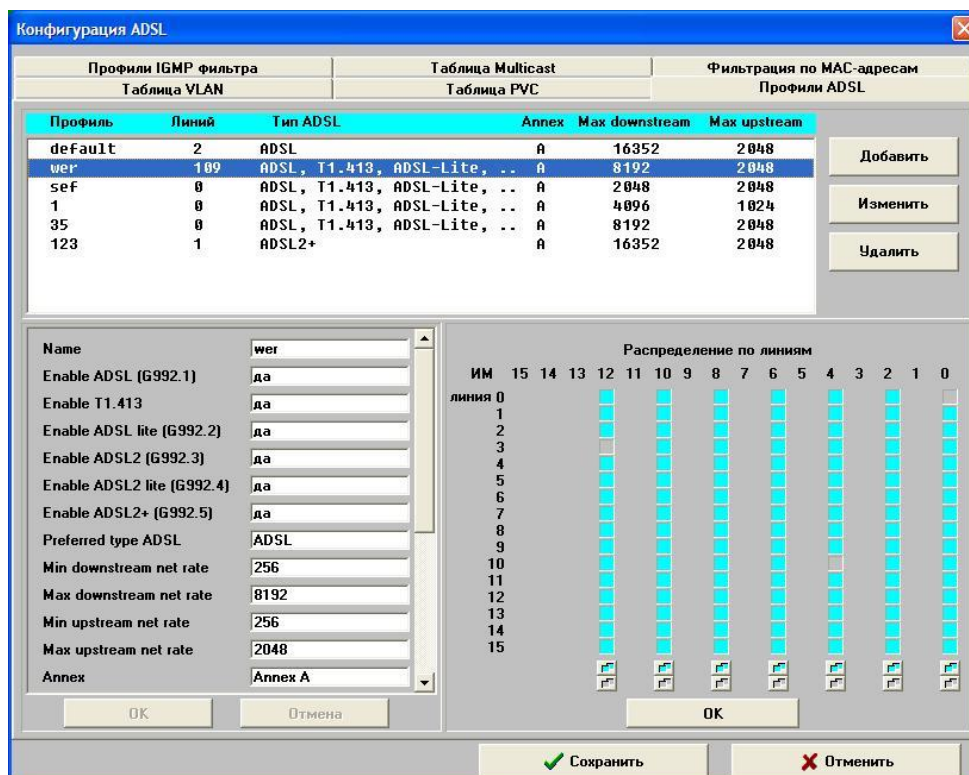


Рис. 6. Интерфейс программы для конфигурации ADSL-линий

При увеличении загрузки интернет-трафиком наблюдались искажения на транслируемом телевизионном изображении (рис. 7).



Рис. 7. Качество изображения при загрузке интернет-трафиком

2.2. Зависимость качества изображения от состояния мест соединений и патч-кордов витых пар

Как показывает практика использования структурированных кабельных сетей, возникают проблемы при обжимах патч-кордов, возможного увеличения влажности в местах соединений (контакта) с патч-панелью, при их неправильной эксплуатации.

Операторы кабельных сетей игнорируют длину линии без соединений (скруток), прокладывая их в местах, не обеспеченных условиями прокладки кабеля.

При проведении эксперимента были зафиксированы значения скоростей передачи видеосигнала при нормальном режиме работы линии (табл. 1) и при имитации повреждений, т.е. увеличение влажности в местах соединений, нарушение контакта с патч-панелью (табл. 2).

Таблица 1. Использование кабеля UTP без повреждений линии при передаче цифрового видеосигнала

Номер последовательности	Длина пакета	Время выполнения, с	Скорость передачи, мбит/с
1	200,000,000	17.6936965	90.427688
2	200,000,000	17.6619698	90.59012
3	200,000,000	17.6828668	90.483064
4	200,000,000	17.673755	90.529712
5	200,000,000	17.6915257	90.438776
6	200,000,000	17.6891471	90.450944

Таблица 2. Использование кабеля UTP при имитации повреждений линии при передаче цифрового видеосигнала

Номер последовательности	Длина пакета	Время выполнения, с	Скорость передачи, мбит/с
1	200,000,000	171.728399	9.31704
2	200,000,000	171.762226	9.3152
3	200,000,000	171.742006	9.316296
4	200,000,000	171.750746	9.315824
5	200,000,000	171.733585	9.31676
6	200,000,000	171.742521	9.316272

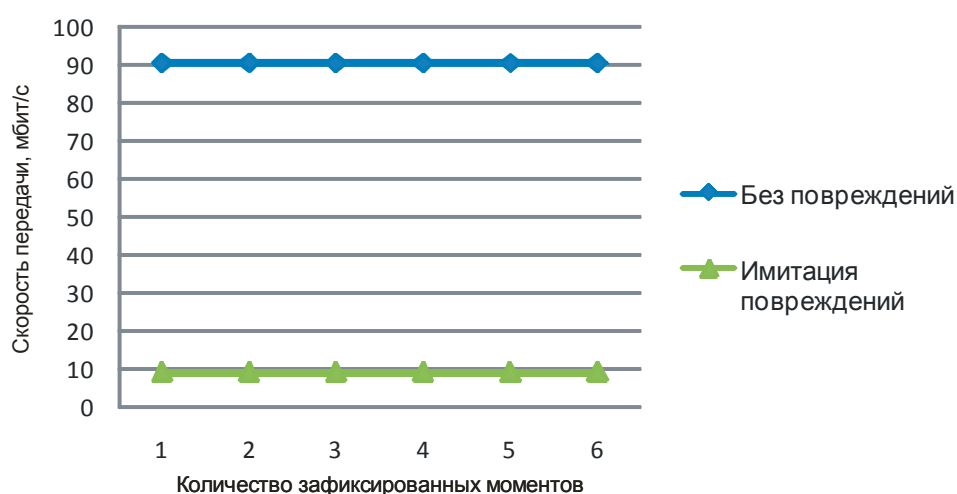


Рис. 8. Зависимость скорости передачи цифрового видеосигнала по сети при имитации повреждений линии

Количество принятой информации для воспроизведения одной секунды цифрового видео (битрейт) при нормальном режиме работы линии и при имитации повреждений приведены в табл. 3 и 4 соответственно.

Таблица 3. Количество принятой информации для воспроизведения одной секунды цифрового видео без повреждений линии

Номер последовательности	d (битрейт), кбит/с
1	61459
2	65035
3	65618
4	61887
5	62113
6	61889

Таблица 4. Количество принятой информации для воспроизведения одной секунды цифрового видео при имитации повреждений линии

Номер последовательности	d (битрейт), кбит/с
1	7547
2	14022
3	12870
4	7029
5	5745
6	8508

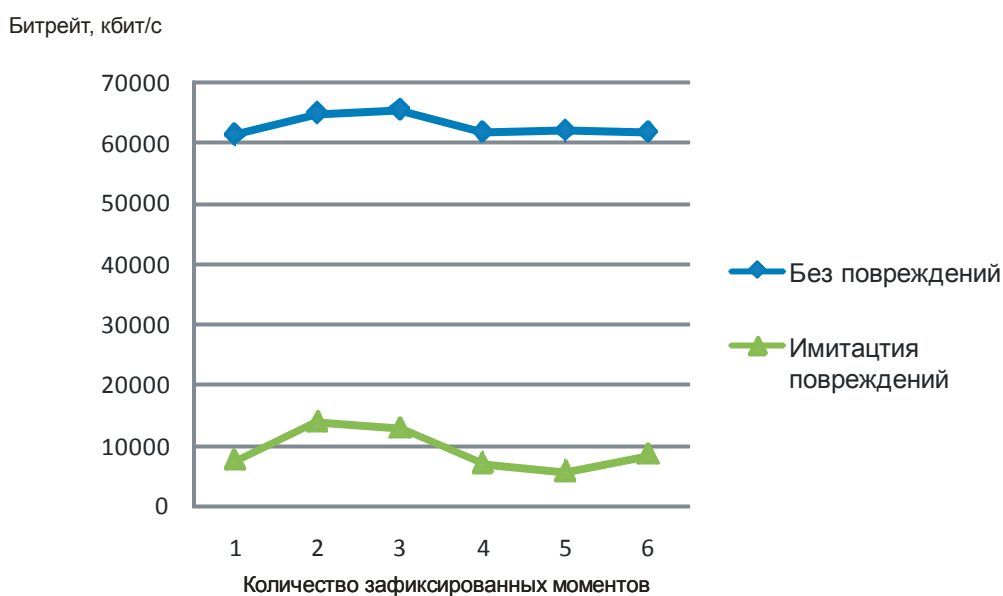
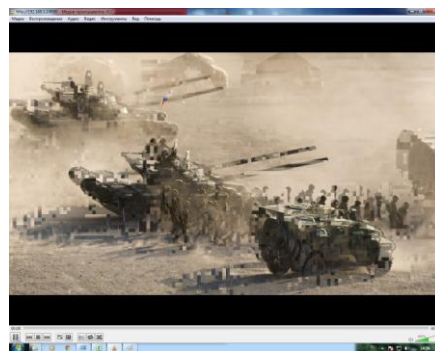


Рис. 9. Зависимость количества принятой информации, требуемой для воспроизведения одной секунды видео, при имитации повреждений линии

На рис. 10 приведён фрагмент последовательности, полученный в результате имитации повреждений линии.



На выходе ГС



На выходе АЛ

Рис. 10. Зависимость качества изображения от состояния мест соединений и патч-кордов витых пар

3. Оценка качества цифрового телевизионного изображения методом субъективной оценки

Субъективная оценка качества изображения заключается в наблюдении испытательных изображений на экране контрольного монитора, подключённого к выходу абонентской розетки. В качестве испытательных изображений следует использовать специальные статические изображения, исключая испытательные таблицы. Допускается использование телевизионного изображения реальных сюжетов. Испытания проводились на выходе головной станции и на выходе абонентской розетки [3]. Субъективная оценка качества осуществлялась для демонстрации последовательностей полученных в результате имитации повреждений линии.

В ходе субъективного эксперимента по оценке качества телевизионной системы осуществляется сбор большого объёма данных. Эти данные в форме бланков экспертных оценок или их электронных эквивалентов должны быть преобразованы с помощью статистических методов для получения результатов в форме графиков и (или) числового выражения, формулы, алгоритма, которые обобщают данные о качестве испытываемых систем [4].

В качестве наблюдателей использовались сотрудники кафедры радиотехники, электроники и телекоммуникаций АО «КазАТУ им. С. Сейфуллина» и студенты.

3.1. Вычисление средних оценок

Первый этап анализа результатов – это вычисление средней оценки $\bar{u}_{jkr}$ для каждой демонстрации

$$\bar{u}_{jkr} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_{ijkr}, \quad (1)$$

где u_{ijkr} – оценка наблюдателя i для условия испытания j , последовательности (изображения)

k , количества повторов r ;

N – число наблюдателей.

Демонстрации состояли из шести последовательностей испытательных изображений (рис. 10). Количество повторов последовательностей 5, количество наблюдателей 15.

Таблица 5. Вычисленные средние оценки для каждой последовательности

Номер последовательности	Шкала качества	Шкала искажений
1	2.6	2.52
2	3.32	3.4
3	2	1.77
4	1.75	1.5
5	3.6	3.71
6	4.4	4.4

3.2. Расчёт доверительного интервала

Предлагается использовать 95-процентный доверительный интервал, который задаётся выражением [4]

$$[\bar{u}_{jkr} - \delta_{jkr}, \bar{u}_{jkr} + \delta_{jkr}],$$

где

$$\delta_{jkr} = 1.96 \frac{S_{jkr}}{\sqrt{N}}. \quad (2)$$

Стандартное отклонение S_{jkr} для каждой демонстрации задаётся выражением

$$S_{jkr} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(\bar{u}_{jkr} - u_{ijk})^2}{N-1}}. \quad (3)$$

С вероятностью 95% абсолютное значение разницы между экспериментальной средней оценкой и «верной» средней оценкой (при очень большом числе наблюдателей) меньше 95-процентного доверительного интервала при условии, что распределение отдельных оценок соответствует определённым требованиям [4].

Таблица 6. Вычисленные доверительные интервалы и стандартное отклонение

Номер последовательности	Доверительный интервал		Стандартное отклонение	
	Шкала качества	Шкала искажений	Шкала качества	Шкала искажений
1	[-0.11;+0.11]	[-0.18;+0.18]	0.13	0.2
2	[-0.27;+0.27]	[-0.21;+0.21]	0.31	0.24
3	[-0.22;+0.22]	[-0.17;+0.17]	0.25	0.19
4	[-0.3;+0.3]	[-0.3;+0.3]	0.34	0.35
5	[-0.09;+0.09]	[-0.17;+0.17]	0.11	0.2
6	[-0.39;+0.39]	[-0.39;+0.39]	0.45	0.44

Для построения графической зависимости (рис. 11) составим таблицу средних, максимальных и минимальных оценок с учётом доверительных интервалов (табл. 7). Параметр d выражен в относительных единицах в отношении количества принятой информации для воспроизведения одной секунды цифрового видео без повреждений линии, p – ряд средних значений, r – ряд максимальных значений, q – ряд минимальных значений.

Таблица 7. Вычисленные средние значения оценок с учётом доверительных интервалов при использовании шкалы искажений

Номер последовательности	p	r	q	d
1	2.52	2.7	2.34	12.3
2	3.4	3.61	3.19	21.6
3	1.77	1.94	1.6	19.6
4	1.5	1.8	1.2	9.3
5	3.71	3.88	3.54	9.2
6	4.4	4.79	4.01	13.7

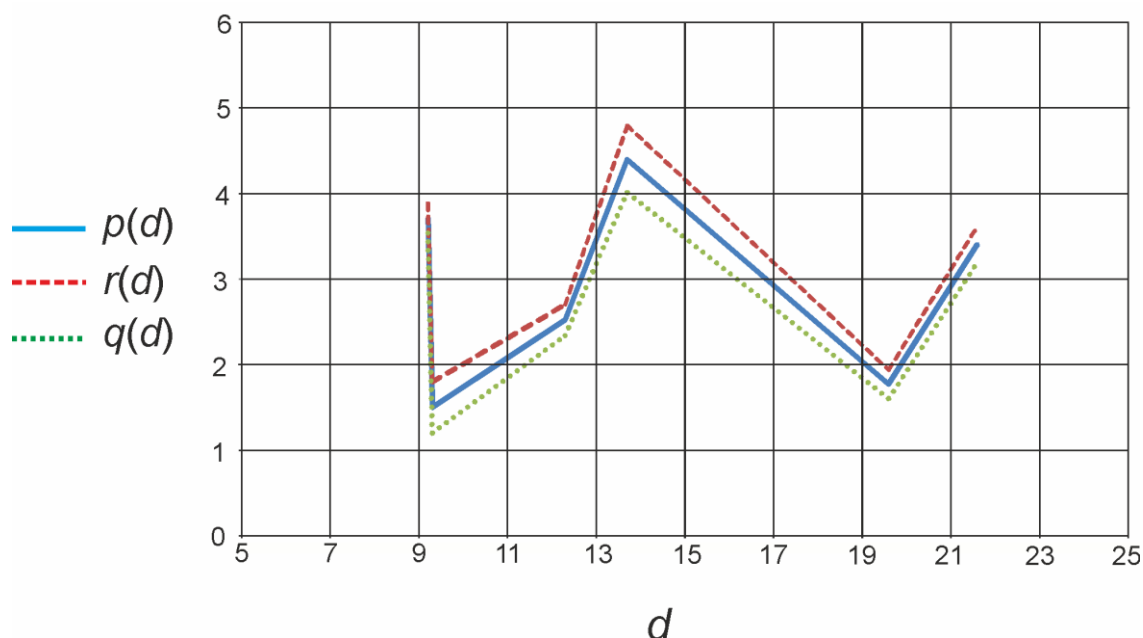


Рис. 11. Графическая зависимость ряда средних, максимальных и минимальных оценок

4. Заключение

При исследовании взаимного влияния приложений голоса, интернет-трафика и видеосигнала выявлено, что при подключении мультиплексора DSLAM к ADSL модему на скорости 8 мбит/с, при увеличении скорости загрузки видеоданных, возникают искажения на ТВ-изображении.

Исследуя зависимость качества изображения от состояния мест соединений и патч-кордов витых пар, зафиксировано уменьшение скорости передачи видеосигнала и ухудшение качества ТВ-изображения по шкале искажений в пределах оценок от 1.5 до 4.4 [4].

Для уменьшения среднеквадратичных отклонений экспериментальных данных от их средних значений и соответственно увеличения точности субъективной оценки, требуется большее количество экспериментов и количество наблюдателей более 20 человек, а также их отбор в соответствии с рекомендацией МСЭ-R [4].

Предлагается объективный метод оценки качества телевизионного изображения, основанный на тестировании оборудования и канала связи в мультисервисной сети, соответствующий субъективной оценке качества изображения согласно рекомендации МСЭ – R ВТ. 500 – 12.

Литература

1. Материалы компаний Tektronix, Inc., Agilent Technologies, Rohde & Schwarz [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pribor.net.ua/index.php?idname=51100> (дата обращения: 18.12.2012).
2. Мамчев Г.В. Использование в телевизионном вещании интернет-протокола. – Новосибирск: СибГУТИ, 2009. – 156 с.
3. ГОСТ Р 52023-2003 Сети распределительные систем кабельного телевидения. Основные параметры. Технические требования. Методы измерений и испытаний.
4. Рекомендация МСЭ-R BT.500-12. Методика субъективной оценки качества телевизионных изображений.

*Статья поступила в редакцию 27.03.2013;
переработанный вариант — 12.04.2013*

Дунаев Павел Александрович

заместитель декана энергетического факультета, старший преподаватель кафедры радиотехники, электроники и телекоммуникаций АО «КазАТУ им. С. Сейфуллина», (010000, Республика Казахстан, Астана, пр. Победы, 62)
тел. (7172) 48-57-16, тел. сот. 8-701-532-43-66, e-mail: dunayev.kz@mail.ru.

Experimental investigation of multiservice IP network for the purpose of parameters identification influencing the quality of digital TV images

P. Dunayev

We consider mutual influence of voice application, the Internet traffic and video signal on the quality of digital television images in case of simultaneous transmission in multiservice networks. Dependence of image quality on the state of joints and patch-cords of twisted couples is revealed. Image quality was estimated by subjective assessment method recommended by ITU.

Keywords: digital television, quality of the image, estimation methods, multiservice network.