

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИНТЕРНЕТ ВИДЕО ПОТОКОВ МЕТОДОМ ДУБЛИРОВАНИЯ КЛЮЧЕВЫХ КАДРОВ

© 2011 Е. С. Сагатов, А. М. Сухов

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика
С. П. Королёва (национальный исследовательский университет)

В настоящей работе исследуются технологические решения по повышению качества потокового видео в беспроводных сетях. Исследуются специально разработанные программы, которые позволяют дублировать пакеты видеопотоков. Проведено тестирование потокового видео с дублированием всех кадров, только ключевых кадров и без дублирования. Эксперименты показали, что наилучший результат обеспечивает технология дублирования пакетов, составляющих ключевой кадр. В работе найдены коэффициенты для наиболее популярных кодеков, которые описывают зависимость качества видео от потерь пакетов и вариации задержек.

Беспроводные сети, субъективная оценка качества видео, процент потерь пакетов, вариация задержки пакетов, сетевой джиттер, RTP поток.

Введение

Мобильность человека предполагает мгновенное подключение к сети Интернет из любой точки и в любое время. Технологические решения для обеспечения мобильности могут предоставить беспроводные сети различных стандартов, которые окружают современного человека повсюду. В большом городе мы постоянно находимся в зоне действия сразу нескольких сетей различных поколений: Wi-Fi, 3G и WiMAX. В развлекательных центрах, магазинах, ресторанах и отелях очень часто данная услуга предоставляется совершенно бесплатно в рекламных целях.

Отсутствие проводов и привязки к конкретному месту делают мобильный Интернет невероятно популярным и экспоненциально растущим год от года [1]. Технологически каналы доступа в Интернет в таких сетях позволяют без проблем пользоваться большинством сервисов. Но мобильность накладывает свои ограничения в первую очередь на сервисы последнего поколения, такие как приложения реального времени, сетевое мультимедиа, Интернет телевидение и т.д. Их внедрение ограничивается качественными параметрами беспроводных сетей: значительным процентом потерь пакетов и большими значениями вариации задержки пакетов. Подробная информация о градациях качества сетевого соединения при передаче видео приведена в [2, 3].

Ранее в работе [4] рассматривалась проблема адаптации современных алгоритмов кодирования и передачи видео для беспроводных сетей, таких как 3G, Wi-Fi и WiMAX [5], а также для других сетей с плохими характеристиками качества. Была сделана попытка найти и сравнить численную зависимость качества видеоизображения от сетевых параметров. Указанная зависимость описывалась простой моделью, что позволило использовать для сравнения качества полученного видео численные значения коэффициентов и определить наиболее существенные факторы, а также сопоставить между собой различные кодеки. В работе учитывались различия между искажениями, которые вносят повреждения ключевых и промежуточных кадров.

В настоящей работе реализуется исследовательская программа, намеченная в [4], где было предложено несколько путей по улучшению качества видео в беспроводных сетях. Будет проанализировано влияние дублирования пакетов на качество

получаемого видео и возможность резервирования информации, которую несут ключевые кадры.

В настоящей статье дан обзор, сравнивающий качественные характеристики основных беспроводных сетей передачи данных, таких как Wi-Fi, 3G и WiMAX. Также исследуется влияние дублирования пакетов RTP потока на качество получаемого видео. Дополнительно в настоящей работе проведены эксперименты на мобильном WiMAX стандарта 802.16e оператора Yota и проанализированы данные для кодека WMV, так как обновленная версия VirtualDub позволила выявлять ключевые кадры в соответствующем видеопотоке.

Предпосылки для моделирования

При передаче видео по сети качество связи ухудшается [6, 7] в зависимости от характеристик сетевого соединения. Качество передаваемого видео измеряется по шкале MOS [8] и может быть описано универсальной функцией $Q_{mos}(p, j, D, B)$ в зависимости от сетевых параметров [9]:

- p - процент потерь пакетов, %;
- j - сетевой джиттер (вариация задержки D) в момент ошибки, сек.;
- Q_{mos} - качество принимаемого видео, баллы от одного до пяти;
- B - доступная ширина канала, Мбит/с.

Эта функция может быть разложена в степенной ряд, принимая во внимание малые значения сетевых переменных, при этом можно ограничиться линейными членами.

В работе [10] было показано, что для фиксированной скорости видео потока достаточно рассмотреть только члены разложения, описывающие линейную зависимость от двух переменных, потерь пакетов и сетевого джиттера:

$$Q_{mos} = Q_{ideal} - \alpha p - \beta j \quad (1)$$

где

- Q_{ideal} - максимальное качество видео для данного кодека, баллы от нуля до пяти;
- α, β - коэффициенты модели, которые следует определять экспериментально.

Для проведения исследований была выбрана единая видео последовательность, которая обрабатывалась кодеками MPEG-4 (DivX), MPEG-2 и Windows Media Video 9 с постоянным битрейтом 256 кбит/с. Данная последовательность использовалась для тестирования видео. Она может быть найдена в глобальной сети по адресу [11].

Планирование эксперимента

Для нахождения значений коэффициентов из уравнения (1) нами был разработан и проведен ряд экспериментов [4]. Закодированные кодеками MPEG-4 (DivX), MPEG-2 и Windows Media Video 9 видео файлы, пересылались в виде RTP потока с помощью VideoLan VLC [12] на ноутбук, подключенный к беспроводной сети стандарта Wi-Fi, WiMAX или 3G. На ноутбуке проводилась запись получаемого видео с помощью VideoLan VLC в файл, параллельно записывался сетевой трафик на уровне пакетов при помощи сетевого сниффера Wireshark [13]. Таким образом, по полученному видеоизображению можно установить качество видео по шкале MOS , а по сетевым логам – параметры сетевого соединения. Для помощи в анализе видео использовались утилиты VirtualDub [14], Avisynth [15] и VQMT[16] для нахождения Q_{ideal} .

Все записанные в ходе экспериментов видеофрагменты и сетевой трафик опубликованы на сайте компании НПЦ «Интернет ТВ» [11].

Для эксперимента был подготовлен один видеоряд с различными типами изображения: статичное, со слабым движением, с быстрым движением, с изменением яркости. Затем видеоряд был закодирован с использованием кодеков MPEG-4 (DivX), MPEG-2 и Windows Media Video 9. При этом установлены следующие параметры видео:

- разрешение картинки - 320 x 240 пикселей;
- частота кадров – 24 кадр/с.;
- битрейт 256 кбит/с;
- качество – максимальное.

Для проведения экспериментов использовались сегменты сети операторов связи: Мегафон Самара (3G), Билайн Самара (3G), Метромаркс Самара (стационарный WiMAX) и Yota Санкт-Петербург (мобильный WiMAX).

Эксперименты на 3G сетях операторов Мегафон и Билайн проводились на оборудовании стандарта UMTS, которое повсеместно эксплуатируется данными операторами.

Коэффициенты модели

В результате экспериментов нами были получены значения коэффициентов для кодеков MPEG-2, MPEG-4 (DivX) и WMV9 и сетей Wi-Fi, 3G и WiMAX, которые сведены в табл. 1-3. В них данные коэффициенты приведены отдельно для ключевых и обычных кадров и отсортированы для различных кодеков и типов беспроводных сетей. Используются следующие обозначения:

α^k – коэффициент при потерях на ключевых кадрах, значения которых выражены в процентах;

β^k – коэффициент при сетевом джиттере, измеренный в секундах;

α^w и β^w – коэффициенты модели для отрезков видео, на которых нет потерь на ключевых кадрах.

Таблица 1 – Значения коэффициентов модели для кодеков MPEG2, MPEG-4 (DivX) и WMV9 в сети Wi-Fi

№	Кодек	Q_{ideal}	α^k	β^k	α^w	β^w
1	MPEG2	4,2±0,2	0,11±0,03	15±4	0,06±0,02	10±4
2	DivX	4,7±0,2	0,25±0,05	15±5	0,17±0,02	10±3
3	WMV9	4,7±0,2	0,25±0,11	20±8	0,16±0,6	10±3

Таблица 2 – Значения коэффициентов модели для кодеков MPEG2, MPEG-4 (DivX) и WMV9 в сети 3G

№	Кодек	Q_{ideal}	α^k	β^k	α^w	β^w
1	MPEG2	4,2±0,2	0,12±0,02	10±2	0,06±0,01	5±1
2	DivX	4,7±0,2	0,22±0,05	13±5	0,12±0,05	8±3
3	WMV9	4,7±0,2	0,32±0,1	15±5	0,22±0,08	10±3

Таблица 3 – Значения коэффициентов модели для кодеков MPEG2, MPEG-4 (DivX) и WMV9 в сети WiMAX

№	Кодек	Q_{ideal}	α^k	β^k	α^w	β^w
1	MPEG2	4,2±0,2	–	–	0,2±0,1	15±0,5
2	DivX	4,7±0,2	0,5±0,3	30±1	0,3±0,1	15±0,5

3	WMV9	4,7±0,2	–	–	0,3±0,1	15±0,5
---	------	---------	---	---	---------	--------

Заметим, что потери пакетов для приведенных в таблицах значений коэффициентов измеряются в процентах, а не в абсолютных долях. Сетевой джиттер должен быть выражен в секундах, а не в миллисекундах.

Все данные сведены в три таблицы. Каждая из таблиц описывает значения для одного из типов беспроводных сетей: Wi-Fi, 3G или WiMAX. Причем исходный видеопоток закодирован различными видеокodeками.

Полученные в результате проведения экспериментов данные были обработаны по описанной в [4] методике. Все ошибки, как на уровне видео, так и на сетевом уровне были проанализированы и найдено субъективное качество видео Q_{MOS} в зависимости от процента потерь пакетов p и сетевого джиттера p . Полученные значения коэффициентов сведены в табл. 1 для сети Wi-Fi, табл. 2 для 3G и табл. 3 для мобильного WiMAX.

При анализе данных нами было установлено, что потери качества видео на 80% обусловлены потерями пакетов и только на 20% сетевым джиттером (вариацией задержки).

Особенности трафика в беспроводных сетях

Обобщенные показатели качества сетей по шкале GAP [3] сведены в табл. 4.

Таблица 4 – Значения качества сетей по методу GAP

№	Сеть	Средний процент потерь пакетов, %	Средний сетевой джиттер, мс	Оценка GAP
1	Wi-Fi	6 (Poor)	20 (Acceptable)	Poor
2	3G	>10 (Poor)	35 (Acceptable)	Poor
3	Мобильный WiMAX	0,2 (Good)	15 (Good)	Good

Сети WiMAX по своим характеристикам сопоставимы с фиксированными сетями стандарта Ethernet. В экспериментах, проведенных в сети фиксированного WiMAX, процент потерь всегда был близок к 0%, а вариация задержки порядка 19 мс даже в тестах, проведенных при большом конкурирующем трафике. По данным [3] такой тип трафика по системе GAP относится к хорошему (Good).

Мобильный стандарт WiMAX характеризуется низким процентом потери пакетов 0,1-0,2%. Джиттер и пропускная способность соединения зависят от уровня сигнала, который на модемах оператора Yota выражается по четырех бальной шкале. При 4 баллах доступная пропускная способность входящего и исходящего каналов измеряется несколькими мегабитами в секунду, а средний джиттер составляет порядка 4мс. При ухудшении сигнала до 2 баллов пропускная способность снижается до сотен килобит в секунду, а средний джиттер порядка 31мс и сильно возрастает в период ухудшения связи. По данным [3] в зоне уверенного приема такой тип трафика по системе GAP относится к хорошему (Good).

Поскольку качественные характеристики сетей WiMAX достаточно высоки то даже большие значения коэффициентов α и β не влияют на качество связи. Ухудшение качества связи по шкале MOS колеблется в районе 0,3-0,4 и превышает оценку хорошо. В тоже время меньшие значения коэффициентов для сетей Wi-Fi и 3G при учете низкого качества связи дают значительное (до 2-2,5 баллов) ухудшение качества связи (см. данные табл. 1-4). Следует отметить, что на практике наблюдается отклонение от линейной зависимости, значения коэффициентов α и β при малых

значениях параметров p и j значительно больше, чем для типичных значений Wi-Fi и 3G.

Сети WiMAX показали значительно лучшие характеристики по сравнению с Wi-Fi и 3G и более пригодны для передачи видео реального времени. Технологии Wi-Fi пригодны для передачи видео реального времени только в непосредственной близости от точки доступа. При отдалении на несколько десятков метров качество видео значительно ухудшается. 3G сети показали самые плохие результаты и без доработки программного и аппаратного обеспечения клиент вероятней всего будет неудовлетворен качеством получаемого видео.

Дублирование пакетов

Ранее в работе [4] были сформулированы пути значительного повышения качества видеозображения при передаче в беспроводной сети:

1. Модернизировать проигрыватель на приемной стороне с тем, чтобы автоматически отбрасывать дублирующиеся RTP пакеты;

2. Сервер потокового видео должен дублировать пакеты, содержащие информацию ключевых кадров;

Кроме того было установлено, что пакеты в 3G и WiMAX сетях теряются равномерно, а в Wi-Fi сетях сразу группами пакетов в случайно распределенные временные интервалы. Ряд оборудования 3G сетей самостоятельно дублирует пакеты RTP потоков, исходящие от базовой станции. Такой подход приводит к значительному ухудшению качества связи, использующего RTP/UDP протоколы.

В рамках проверки идей по улучшению качества видео нами были разработаны утилиты, которые

1. Отбрасывают дублирующие пакеты на приемной стороне;

2. Могут по запросу дублировать либо все кадры, либо только ключевые.

Реализация данной утилиты была осуществлена в операционной системе Windows при помощи Windows Driver Development Kit.

Иерархия сетевых драйверов Windows [17] показана на рис. 1.

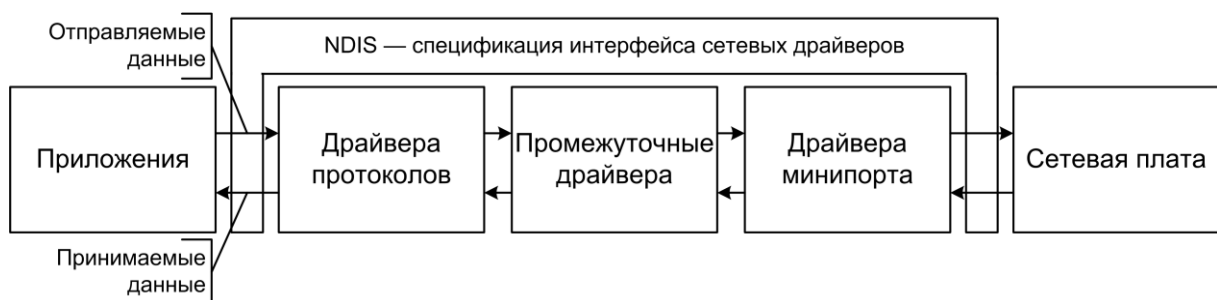


Рис. 1. Иерархия сетевых драйверов Windows

Разработанная утилита встраивается в цепочку промежуточных фильтров и получает все исходящие пакеты от приложений после обработки драйверами протоколов, но до передачи драйверам сетевых адаптеров. Такое расположение позволит дублировать все исходящие пакеты, зная их тип, размер и другую служебную информацию, с которой они будут переданы в сеть. Также утилита сможет выделять RTP пакеты и ключевые кадры в них из общего числа исходящих пакетов.

На рис. 3 представлена схема определения начала ключевого кадра. Утилита анализирует поля 1 и 3 как показано на рис. 2 и определяет требуемый тип пакета (UDP) и относится ли пакет к четвертой версии протокола IP. Затем проверяется наличие и корректность RTP заголовка (поле 5). Ключевые кадры характеризуются определенным типом записи в полях 6 и 7, которые различаются для кодеков MPEG-2,

MPEG-4 (DivX) и WMV. Если формат записи указывает на то, что кадр ключевой, то пакеты, образующие кадр, могут дублироваться.

```

⊕ Frame 92 (1370 bytes on wire, 1370 bytes captured)
⊖ Ethernet II, Src: Asiarock_bf:bd:b1 (00:19:66:bf:bd:b1), Dst: HonHai
  ⊕ Destination: HonHaiPr_17:0f:f9 (00:22:69:17:0f:f9)
  ⊕ Source: Asiarock_bf:bd:b1 (00:19:66:bf:bd:b1)
1  Type: IP (0x0800)
⊖ Internet Protocol, Src: 192.168.200.91 (192.168.200.91), Dst: 192.16
  .....
2  Identification: 0x85ef (34287)
3  Protocol: UDP (0x11)
4  Source: 192.168.200.91 (192.168.200.91)
  Destination: 192.168.200.202 (192.168.200.202)
⊕ User Datagram Protocol, Src Port: instl_bootc (1068), Dst Port: sear
⊖ Real-Time Transport Protocol
5  {
    10.. .... = Version: RFC 1889 Version (2)
    ..0. .... = Padding: False
    ...0 .... = Extension: False
    .... 0000 = Contributing source identifiers count: 0
    1... .... = Marker: True
    Payload type: MPEG-II transport streams (33)
    Sequence number: 10090
    Timestamp: 243895507
    Synchronization Source identifier: 0x84670000 (2221342720)
⊖ ISO/IEC 13818-1 PID=0x46 CC=3
  ⊕ Header: 0x47404613
  ⊖ Packetized Elementary Stream
    prefix: 000001
6  stream: video-stream (0xe0)
  ⊕ PES extension
  ⊕ PES header data: 313A276CEB113A276CEB
  ⊖ Packetized Elementary Stream
    prefix: 000001
7  stream: Unknown (0x20)
  PES data: 00C80DC00042EE4002C000A80097530A14083C28307F0000...
⊕ ISO/IEC 13818-1 PID=0x46 CC=4
⊕ ISO/IEC 13818-1 PID=0x46 CC=5

```

Рис. 2. Определение ключевого кадра в WireShark

Влияние ключевых кадров

Для проверки гипотезы о том, что дублирование ключевого кадра приведет к значительному улучшению качества видео, была проведена серия экспериментов (рис. 3). Разработанная утилита, описанная в предыдущем разделе статьи, позволяет дублировать кадры на передающей стороне и отбрасывать их на приемной стороне. Данное программное обеспечение было установлено как на сервере, так и на клиенте в беспроводной локальной сети стандарта Wi-Fi (IEEE 802.11g). Каждый фрагмент видео, закодированный кодеком MPEG-2, MPEG-4 (DivX) или WMV9, передавался через локальную сеть трижды: первый раз без дублирования, второй раз с дублированием только ключевых кадров, третий раз с дублированием всех пакетов. На приемной

стороне дублирующие кадры отбрасывались, а видео записывалось и затем анализировалось его качество по шкале MOS.

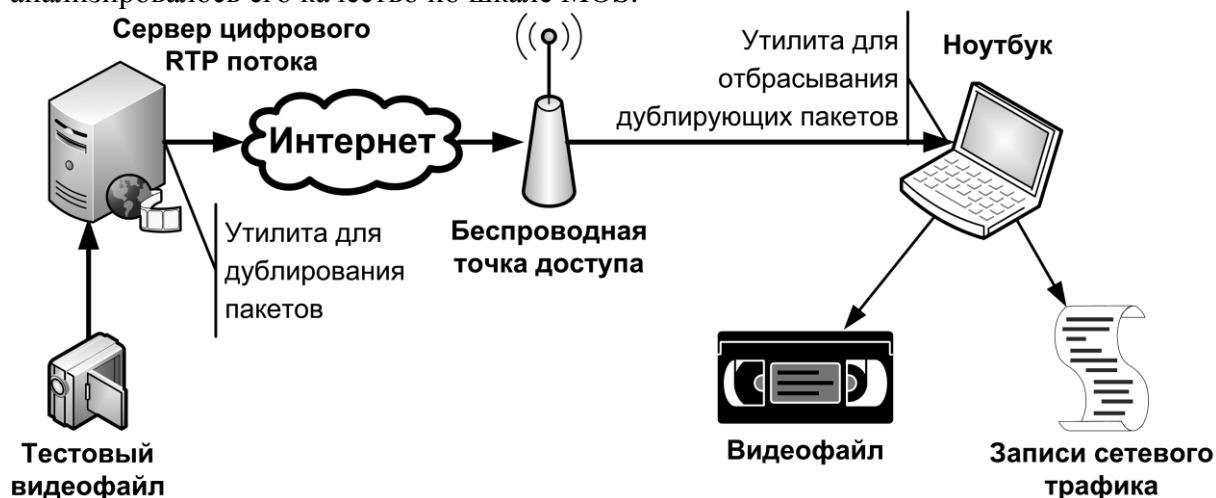


Рис. 3. План эксперимента с дублированием пакетов

Следует отметить, что последние редакции VideoLan VLC (январь 2011) самостоятельно отбрасывают дублирующиеся пакеты. При получении RTP/UDP пакета с порядковым номером N автоматически будут отбрасываться все последующие пакеты с порядковыми номерами не превышающими N. Нарушение порядка следования пакетов, обусловленное сетевым джиттером, приводит к потере всех неупорядоченных RTP/UDP пакетов. Поэтому разработанная утилита отбрасывает только те пакеты, номера которых совпадают с полученными ранее.

Данные по ухудшению качества видео ΔQ в беспроводной сети Wi-Fi для различных вариантов дублирования приведены в табл. 5.

Таблица 5 – Ухудшение качества видео при разных вариантах дублирования для сети Wi-Fi

№	Кодек	Без дублирования	С дублированием ключевых кадров	С полным дублированием
1	MPEG-2	0,7	0,3	1,0
2	DivX	1,2	0,4	1,5
3	WMV9	1,2	0,4	1,5

Дублирование ключевых кадров увеличивает объем передаваемой информации приблизительно на 7%, а качество связи улучшается почти в 3 раза. Низкие показатели качества, полученного при дублировании всех кадров видео, объясняются увеличением объема передаваемой информации в два раза. Чем больше скорость потока, тем больше процент потерь пакетов, причем зависимость не линейна, а процент потерь пакетов растет опережающими темпами при росте средней загрузки сети. Кроме того, эффект нарушения порядка следования пакетов также усиливается при уменьшении межпакетного интервала видео потока.

Выводы

В данной работе рассматривались пути улучшения качества потокового видео в беспроводных сетях путем дублирования пакетов. Для проверки высказанных ранее гипотез была разработана утилита, которая позволяла дублировать как ключевые кадры, так и все кадры RTP потока. В статье дано подробное описание функционирования такой улиты и приведен алгоритм определения ключевых кадров.

В результате тестирования данной утилиты было найдено, что дублирование только ключевых кадров является идеальным способом улучшения качества видеопотоков. При увеличении объемов передаваемого трафика на 7% качество принимаемого видео улучшается более чем в 3 раза. Парадоксально, но дублирование всех кадров видеопотока приводит к ухудшению качества видео даже по сравнению со случаем без дублирования.

Также в данной работе были проанализированы пропущенные ранее из-за недостатка инструментов кодек WMV и сеть WiMAX. Вновь произведенные расчеты по всему массиву данных позволили уточнить значения коэффициентов аналитической модели и привести их окончательные значения. Наиболее перспективными сетями для видеотрансляций следует признать беспроводные сети четвертого поколения и в частности WiMAX, качество которых сравнимо с качеством фиксированных сетей.

Библиографический список

- [1] Cisco Systems, Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2008–2013 [Электронный ресурс]. - 2009. - Электрон. текстовые дан. on-line. - Загл. с титул. экрана URL : http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns537/ns705/ns827/white_paper_c11-481360.pdf (Дата обращения 20.04.2011)
- [2] Claypool M. The Effects of Jitter on the Perceptual Quality of Video [Текст] / M. Claypool and J. Tanner // ACM Multimedia. - 1999.
- [3] Calyam P. Performance Measurement and Analysis of H.323 Traffic [Текст] / P. Calyam, M. Sridharan and et. al. // PAM Workshop. - 2004.
- [4] Sagatov E.S. Influence of Distortions of Key Frames on Video Transfer in Wireless Networks [Текст] / E.S. Sagatov, A.M. Sukhov, P. Calyam // IEEE International Symposium on Image/Video Communications over fixed and mobile networks (ISIVC). - 2010.
- [5] Haghani, E. VoIP Traffic Scheduling in WiMAX Networks [Текст] / E. Haghani, S. De, N. Ansari // IEEE Global Telecommunications Conference. - 2008.
- [6] Hei X. A Measurement Study of a Large-Scale P2P IPTV System [Текст] / X. Hei, C. Liang, and et. al. // IEEE Trans. on Multimedia. - тома 9, 8.- 2007.
- [7] Won Y. End-User IPTV Traffic Measurement of Residential Broadband Access Networks [Текст] / Y. Won, M. Choi // IEEE NOMS. - 2008.
- [8] Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures (ITU-R BT.500-11) [Текст] / International Telecommunication Union. - 2002.
- [9] Bradner S. RFC2544 - Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices [Текст] / S. Bradner, J. McQuaid. - 1999.
- [10] Sukhov A. Towards an analytical model for characterizing behavior of high-speed VVoIP applications [Текст] / A. Sukhov, P. Calyam, W. Daly, A. Ilin // Computational Methods in Science and Technology. - 11(2). – стр. 161-167. - 2005.
- [11] Traces of video stream in wireless networks (WiMAX, 3G, WiFi) [Электронный ресурс]. - Электрон. текстовые дан. on-line. - Загл. с титул. экрана URL : <http://www.ip4tv.ru/stati/aaa.html> (Дата обращения 20.04.2011)
- [12] VideoLAN team, VideoLAN, Free streaming and multimedia solutions for all OS! [Электронный ресурс]. - Электрон. текстовые дан. on-line. - Загл. с титул. экрана URL : <http://www.videolan.org/> (Дата обращения 20.04.2011)
- [13] Wireshark Foundation, Wireshark. Go deep. [Электронный ресурс]. - Электрон. текстовые дан. on-line. - Загл. с титул. экрана URL : <http://www.wireshark.org/> (Дата обращения 20.04.2011)
- [14] Avery Lee, Welcome to virtualdub.org! - virtualdub.org [Электронный ресурс]. - Электрон. текстовые дан. on-line. - Загл. с титул. экрана URL : <http://www.virtualdub.org/> (Дата обращения 20.04.2011)

[15] Main Page – Avisynth [Электронный ресурс]. - Электрон. текстовые дан. on-line. - Загл. с титул. экрана

URL : http://avisynth.org/mediawiki/Main_Page (Дата обращения 20.04.2011)

[16] D. Vatolin, A. Moskvin, O. Petrov, S. Putilin, S. Grishin, MSU Video Quality Measurement Tool (PSNR, MSE, VQM, SSIM) [Электронный ресурс]. - Электрон. текстовые дан. on-line. - Загл. с титул. экрана

URL : http://www.compression.ru/video/quality_measure/video_measurement_tool_en.html (Дата обращения 20.04.2011)

[17] MSDN, NDIS Intermediate Drivers (Windows Driver Kit) [Электронный ресурс]. - Электрон. текстовые дан. on-line. - Загл. с титул. экрана

URL : <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ff565773.aspx> (Дата обращения 20.04.2011)