

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИНТЕРНЕТ ВИДЕОПОТОКОВ 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: значитель-

ным 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 видеопередачи 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. При этом 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. Проанализировано влияние дублирования пакетов на качество полу-

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

В работе проведено сравнение качественных характеристик основных беспроводных сетей передачи данных, таких, как Wi-Fi, 3G и WiMAX. Также исследуется влияние дублирования пакетов RTP-потока на качество получаемого видео. Дополнительно проведены эксперименты на мобильном WiMAX стандарта 802.16e оператора Yota, а также проанализированы данные для кодека WMV. Анализ удалось выполнить благодаря тому, что новая версия VirtualDub позволяет выявлять ключевые кадры в видеопотоках WMV.

### 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  $Q_{mos}(p, j, D, B)$  [9], в которой

$p$  – 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.

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

$$Q_{mos} = Q_{ideal} - ap - bj, \quad (1)$$

где

$Q_{ideal}$  – максимальное качество видео для данного кодека, баллы от нуля до пяти;

$a, b$  – коэффициенты модели, которые следует определять экспериментально.

Для проведения исследований была выбрана единая видеопоследовательность. Она обрабатывалась кодеками MPEG-4 (DivX), MPEG-2 и Windows Media Video 9

с постоянным битрейтом 256 кбит/с. Данная последовательность использовалась для тестирования видео [11].

### Планирование эксперимента

Для нахождения значений коэффициентов из уравнения (1) был разработан и проведён ряд экспериментов [4]. Закодированные кодеками MPEG-4 (DivX), MPEG-2 и Windows Media Video 9 видеофайлы пересылались в виде RTP-потока с помощью VideoLan VLC [12] на ноутбук, подключённый 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. При 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 следующих операторов связи: Мегафон Самара (3G), Билайн Самара (3G), Метромакс 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

Полученные в результате экспериментов данные были обработаны по методике, описанной в [4]. 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  $j$ . По этим данным были вычислены значения коэффициентов  $a$  и

$b$  для кодеков MPEG-2, MPEG-4 (DivX), WMV9. В таблицу 1 сведены значения для сети Wi-Fi; в таблицу 2 – для 3G; в таблицу 3 – для WiMAX. В таблицах используются следующие обозначения:

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

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

$a^w$  и  $b^w$  – коэффициенты модели для отрезков видео, на которых нет потерь на ключевых кадрах.

Таблица 1. Значения коэффициентов модели в сети Wi-Fi

№	Кодек	$Q_{ideal}$	$a^k$	$b^k$	$a^w$	$b^w$
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 в сети 3G

№	Кодек	$Q_{ideal}$	$a^k$	$b^k$	$a^w$	$b^w$
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 в сети WiMAX

№	Кодек	$Q_{ideal}$	$a^k$	$b^k$	$a^w$	$b^w$
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 приведённых в таблицах значений коэффициентов измеряются в процентах, а не в абсолютных долях. Сетевой джиттер должен быть выражен в секундах, а не в миллисекундах.

При анализе данных было установлено, что потери качества видео на 80%

обусловлены потерями пакетов и только на 20% сетевым джиттером (вариацией задержки).

### Особенности трафика в беспроводных сетях

Обобщённые показатели качества сетей по шкале GARP [3] сведены в табл. 4.

Таблица 4. Значения качества сетей по методу GARP

№	Сеть	Средний процент потерь пакетов, %	Средний сетевой джиттер, мс	Оценка GARP
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, проведённых в сети фиксированного WiMAX, процент потерь всегда был близок к 0%, а вариация задержки порядка 19 мс даже в тестах, проведённых при большом конкурирующем трафике. По данным [3], такой тип трафика по системе GARP 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 четырёхбалльной шкале. При четырёх баллах доступная пропускная способность входящего и исходящего каналов измеряется несколькими мегабитами в секунду, а средний джиттер составляет величину порядка 4 мс. При ухудшении сигнала до двух баллов пропускная способность снижается до сотен килобит в секунду, а средний джиттер становится величиной порядка 31 мс и сильно возрастает в период ухудшения связи. В зоне уверенного приёма такой тип трафика по системе GARP относится к хорошему (Good) [3].

Поскольку качественные характеристики сетей WiMAX достаточно высоки, то даже большие значения коэффициентов  $a$  и  $b$  не влияют на качество связи. Ухудшение качества связи по шкале MOS колеблется в диапазоне от 0,3 до 0,4 и превышает оценку «хорошо». В то же время меньшие значения коэффициентов для сетей Wi-Fi и 3G при учёте низкого качества связи дают значительное (до 2 – 2,5 баллов) ухудшение качества связи (табл. 1 – 4). Следует отметить, что на практике в сети WiMAX, по сравнению с 3G и Wi-Fi сетями, наблюдается большее отклонение от линейной зависимости значений коэффициентов  $a$  и  $b$  при малых значениях процента потерь пакетов  $p$  и сетевого джиттера  $j$ .

Сети WiMAX показали лучшие характеристики по сравнению с Wi-Fi и 3G

и, следовательно, являются более пригодными для передачи видео в реальном времени. Технологии Wi-Fi пригодны для передачи видео в реальном времени только при 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 не удовлетворён качеством получаемого видео.

### Дублирование пакетов

Ранее в работе [4] были сформулированы предложения по значительному повышению качества видеоизображения при передаче в беспроводной сети:

1) модернизировать проигрыватель на приёмной стороне с тем, чтобы автоматически отбрасывать дублирующиеся RTP-пакеты;

2) обеспечить на сервере потокового видео дублирование пакетов, содержащих информацию ключевых кадров.

Кроме того, было установлено, что пакеты в 3G и WiMAX-сетях теряются равномерно, а в Wi-Fi сетях – сразу группами в случайно распределённые временные интервалы. Некоторое оборудование 3G сетей самостоятельно дублирует пакеты RTP-потоков, исходящих от базовой станции. Такой подход приводит к значительному ухудшению качества связи, поддерживаемой RTP/UDP протоколами.

В рамках проверки идей по улучшению качества видео была разработана утилита, позволяющая:

1. отбрасывать дублирующие пакеты на приёмной стороне;

2. по запросу дублировать либо все кадры видео, 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.

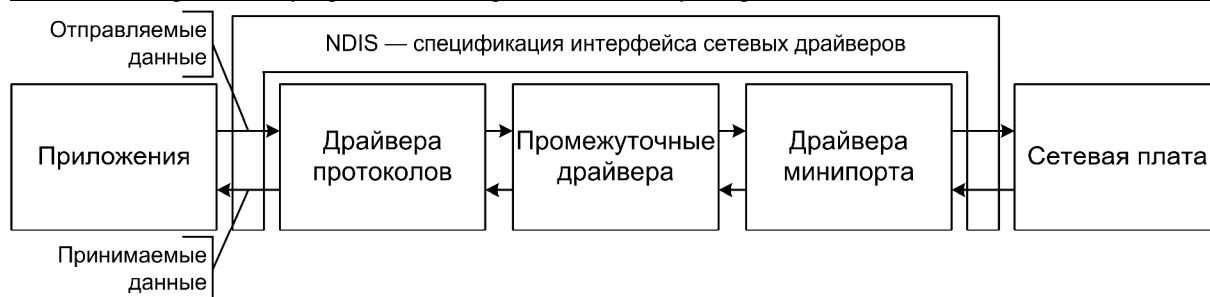


Рис. 1. Иерархия сетевых драйверов Windows

- ⊕ Frame 92 (1370 bytes on wire, 1370 bytes captured)
- ⊖ Ethernet II, Src: Asiarock\_bf:bd:b1 (00:19:66:bf:bd:b1), Dst: NonHai
  - ⊕ Destination: NonHaiPr\_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: 192.168.200.202
- .....
- 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: search
- ⊖ 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

Разработанная утилита встраивается в цепочку промежуточных фильтров и получает все исходящие пакеты от приложений после обработки драйверами протоколов, но до передачи драйверами сетевых адаптеров. Такое расположение позволяет дублировать все исходящие пакеты по их типу, размеру и другой служебной информации, с которой они будут переданы в сеть. Также утилита сможет выделять RTP-пакеты и ключевые кадры из общего числа исходящих пакетов. Утилита анализирует поля 1 и 3, как показано на рис. 2, определяет требуемый тип пакета (UDP) и проверяет, относится ли пакет к четвертой версии протокола IP. Затем проверяется наличие и корректность RTP-заголовка (поле 5). Ключевые кадры характеризуются определённым типом записей в полях 6 и 7, которые различаются для кодеков MPEG-2, MPEG-4 (DivX) и WMV. Если формат записей указывает на

то, что кадр ключевой, то пакеты, образующие кадр, могут дублироваться.

### Влияние ключевых кадров

Разработанная утилита была использована для проверки гипотезы о том, что дублирование ключевого кадра приведёт к значительному улучшению качества видео. Для этого была проведена серия экспериментов, план которых изображён на рисунке 3. Утилита была установлена как на сервере, так и на клиенте в беспроводной локальной сети стандарта Wi-Fi (IEEE 802.11g). Каждый фрагмент видео, закодированный одним из кодеков 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 приёмной стороне дублирующие кадры отбрасывались, а видео записывалось, и затем анализировалось его качество по шкале MOS.

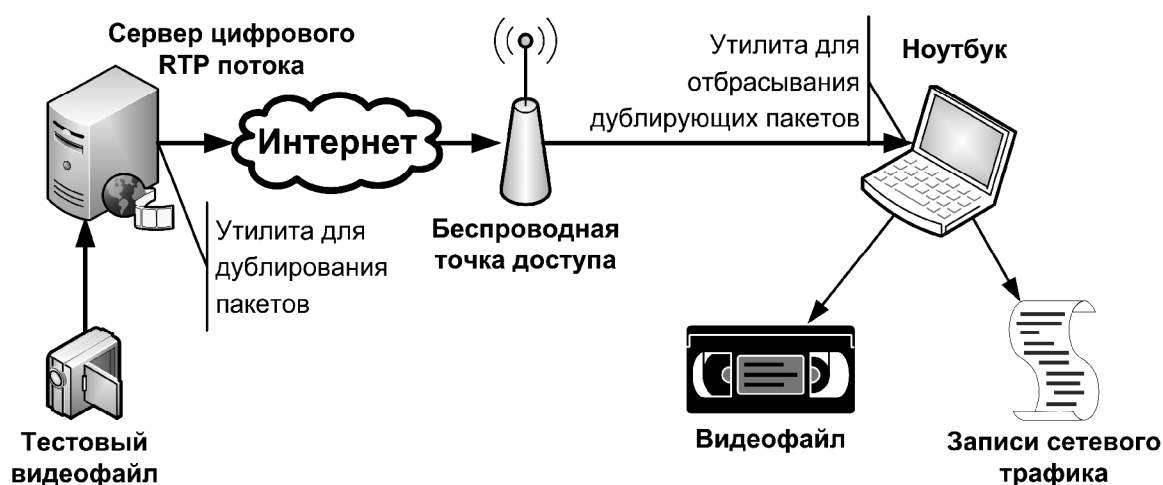


Рис. 3. План эксперимента с дублированием пакетов

Следует отметить, что последняя редакция VideoLan VLC (январь 2011) самостоятельно отбрасывает 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 не-

упорядоченных RTP/UDP-пакетов. Поэтому разработанная утилита отбрасывает только те пакеты, номера которых совпадают с полученными ранее.

Данные по ухудшению качества видео  $\Delta Q$  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 объём передаваемой информации приблизительно на 7%, а качество связи улучшается почти в три раза. Низкие показатели качества, полученного при дублировании всех кадров видео, объясняются увеличением объёма передаваемой информации в два раза. Чем больше скорость потока, тем больше процент потерь пакетов, причём зависимость нелинейна, а процент потерь пакетов растёт опережающими темпами при росте средней загрузки сети. Кроме того, при уменьшении межпакетного интервала видеопотока усиливается эффект нарушения порядка следования пакетов.

#### Выводы

В данной работе рассматривались пути улучшения качества потокового видео в беспроводных сетях путём дублирования пакетов. Для проверки высказанных ранее гипотез была разработана утилита, которая позволила дублировать как ключевые кадры, так и все кадры RTP-потока. Дано описание функционирования утилиты и приведён алгоритм определения ключевых кадров.

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

В работе были учтены пропущенные ранее [4] из-за недостатка инструментов кодек WMV и сеть WiMAX.

Вновь произведённые расчеты по всему массиву данных позволили уточнить значения коэффициентов аналитической модели. Наиболее перспективными сетями для видеотрансляций следует признать беспроводные сети четвёртого поколения, в частности WiMAX. Как показали расчёты, качество этих сетей 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](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 [Электронный ресурс] / M. Claypool and J. Tanner // ACM Multimedia. – 1999.
3. Calyam P. Performance Measurement and Analysis of H.323 Traffic [Электронный ресурс]/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 [Электронный ресурс]/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 [Электронный ресурс] /

- 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. – С. 1672–1687.
7. Won Y. End-User IPTV Traffic Measurement of Residential Broadband Access Networks [Электронный ресурс] / Y. Won, M. Choi // IEEE NOMS. – 2008.
8. Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures (ITU-R BT.500-11) [Электронный ресурс] / International Telecommunication Union. – 2002.
9. Bradner S. RFC2544 - Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices [Электронный ресурс] / 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. Pii // Computational Methods in Science and Technology. – 11(2). – 2005. – С. 161–167.
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](http://avisynth.org/mediawiki/Main_Page) (Дата обращения 20.04.2011).
16. D. Vatolin, A. Moskvina, 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](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).

## **IMPROVING INTERNET VIDEOSTREAMING QUALITY USING DUPLICATION OF KEY FRAMES**

© 2011 Ye. S. Sagatov, A. M. Sukhov

Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov  
(National Research University)

In this paper we investigate technological solutions to improve the quality of video streaming in wireless networks. Specially developed programs are investigated that allow duplicating the packets of video streams. We conducted tests of video streaming with the duplication of all frames, key frames only and without duplication. Experiments have shown that the best result is obtained by the technology with duplication packets containing only key frames. We have found the coefficients for the most popular codecs, which describe the dependence of video quality on packet loss and delay variation.

*Wireless networks, subjective assessment of video quality, packet loss percentage, packet delay variation, network jitter, video stream..*



### Информация об авторах

**Сагатов Евгений Собирович**, аспирант, ассистент кафедры общей информатики. Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). Область научных интересов: передача видео в беспроводных сетях, кодеки, протоколы, WiFi, WiMAX, 3G сети.  
E-mail: [sagatov@ya.ru](mailto:sagatov@ya.ru).

**Сухов Андрей Михайлович**, д.т.н., профессор кафедры общей информатики. Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). Область научных интересов: компьютерные сети, телекоммуникационная и информационная поддержка научных исследований, инвестиции в телекоммуникационный сектор, теоретическая физика.  
E-mail: [amskh@yandex.ru](mailto:amskh@yandex.ru).

**Sagatov Yevgeny Sobirovitch**, post-graduate student, assistant of the department of general information science, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University), [sagatov@ya.ru](mailto:sagatov@ya.ru). Area of research: video broadcasting along wireless networks, transmission methods, codecs, protocols, Wi-Fi, WiMAX, 3G network.

**Sukhov Andrei Mikhailovitch**, doctor of technical sciences, professor of the department of general information science, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University), [amskh@yandex.ru](mailto:amskh@yandex.ru). Area of research: high-speed networking, telecommunication and information support of scientific research, telecommunication investments in Russia, theoretical physics.