

# ВЛИЯНИЕ ИСКАЖЕНИЙ КЛЮЧЕВЫХ КАДРОВ НА ПЕРЕДАЧУ ВИДЕО В БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ

**Е.С. Сагатов, А.А. Семенов, Т.Н. Устенкова, А.М. Сухов**

*Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П.Королева*

E-mail: sagatov@ya.ru

## Введение

Мобильные решения в области телекоммуникаций все более настойчиво входят в повседневную жизнь. Современные сотовые телефоны уже позволяют выполнять те же задачи, что и обычные компьютеры. Ноутбуки и нетбуки дают невероятную степень мобильности. Благодаря их компактности и наличию встроенных 3G, WiFi, а зачастую и WiMAX сетевых адаптеров можно быть на связи где угодно и когда угодно. Согласно данным Cisco VNI [1] ежегодный прирост Интернет трафика на беспроводных устройствах составляет более 250%. К 2013 году количество данного трафика увеличится в 66 раз по сравнению с 2008 годом и составит 5,4% от всего IP-трафика в Интернет. К 2013 году различный видео контент будет составлять 64% всего трафика беспроводных сетей в мире.

Существует серьезное препятствие для повседневного использования видео сервисов в беспроводных сетях: соответствующее качество связи оставляет желать лучшего. Большой процент потерь пакетов и вариация задержки (сетевой джиттер) делают беспроводные сети малопригодными для передачи данных в режиме реального времени, так как мультимедийный трафик чрезвычайно чувствителен к подобным искажениям. Пакеты потокового видео теряются при передаче по сети, изменяют порядок следования из-за значительной вариации задержек пакетов. На получаемом видеоизображении появляются множественные артефакты, происходит рассинхронизация потока, что приводит к искажениям изображения, а иногда и к полной остановке воспроизведения видео.

Методика паспортизации пакетных сетей в рекомендации RFC-2544 [3] определяет следующие основные параметры качества сети: пропускная способность, задержка при передаче пакета, пакетный джиттер, количество потерянных пакетов, количество пакетов с ошибками.

Идея субъективного тестирования (MOS) состоит в том, что видео, закодированное одним из кодеков MPEG-2, MPEG-4 или Windows Media Video 9, передается через сеть Интернет и беспроводную сеть стандартов WiFi, 3G или WiMAX. Полученное после передачи видео, демонстрируется группе экспертов, которые выставляют оценки, основываясь на своих впечатлениях от качества. Существует много методов демонстрации последовательностей и сбора оценок, некоторые из них описаны в рекомендациях ITU [5]. К сожалению, в основном они рассчитаны на сравнение видео в телевизионном формате, и не очень удобны для проведения тестирования на PC.

В настоящей работе рассматривается проблема адаптации современных алгоритмов кодирования и передачи видео для беспроводных сетей, таких как 3G, WiFi и WiMAX, а также для других сетей с плохими характеристиками качества. В работах [6, 7] было показано, что субъективная оценка качества видео, равно как и сетевых параметров, имеет градацию "хорошо" (Good), "приемлемо" (Acceptable) и "плохо" (Poor) (GAP). Такое описание помогает понять качественные зависимости, возникающие при сетевой трансляции видео и сделать первичные численные приближения.

В настоящей работе сделана попытка найти численную зависимость качества видеоизображения от сетевых параметров. Отличительной особенностью нашего подхода является то, что указанная зависимость описывается простой математической моделью, что позволяет нам сравнить численные значения коэффициентов. На основании подобного сравнения возможно найти не только наиболее существенные факторы, влияющие на качество видео, но также и сопоставить между собой различные кодеки.

В работе учитывается различие между искажениями, которые вносят повреждения ключевых и обычных кадров. Ключевым называется кадр, который несет в себе полную информацию о видеоизображении и может быть восстановлен без привлечения дополнительных данных, а обычным – кадр, который кодирует разницу между предыдущим кадром и текущим. Степень сжатия ключевого кадра меньше, чем обычного, а размер в несколько раз больше. В настоящей работе будет дано численное сравнение влияния ошибок, произошедших на ключевых кадрах, для кодеков MPEG-2 и MPEG-4.

Настоящая работа организована следующим образом: Раздел 1 рассказывает о предпосылках для математического моделирования зависимости качества видео по шкале MOS от характеристик сетевого соединения, в Разделе 2 проводится планирование экспериментов, результаты обработки экспериментов приводятся в Разделе 3, Раздел 4 рассказывает о численных результатах эксперимента и параметрах математической модели, в заключении делаются выводы.

## 1. Предпосылки для моделирования

При передаче видео по сети качество связи ухудшается в зависимости от характеристик сетевого соединения. Для того чтобы описать качество передаваемого видео в зависимости от сетевых параметров была рассмотрена универсальная функция  $Q_{MOS}(p, j, D, B)$ , описывающая качество видео по шкале MOS. Эта функция может быть разложена в степенной ряд по сетевым параметрам, при этом можно ограничиться линейными членами и только одним вкладом второго порядка, описывающим передачу видео с различными скоростями потока.

На конференции TERENA 2005 [4] было показано, что для фиксированной скорости видео потока достаточно рассмотреть только члены разложения, описывающие линейную зависимость от 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 одного до пяти;
- $p$  - процент потерь пакетов, %;
- $j$  - сетевой джиттер (вариация задержки) в момент ошибки, сек.;
- $Q_{MOS}$  - качество видео на приемной стороне, баллы от одного до пяти;
- $\alpha, \beta$  - коэффициенты модели, которые могут быть найдены экспериментально.

Для проведения исследований была разработана единая видео последовательность, которая обрабатывалась кодеками MPEG-4 (DivX), MPEG-2 и Windows Media video 9 с постоянным битрейтом 256 кбит/с.

Основная задача, поставленная в настоящей работе, это выявление влияния ключевых кадров на качество получаемого видео изображения. Поэтому отдельно вычисляются коэффициенты  $\alpha^k$  и  $\beta^k$  для потока с повреждением ключевых кадров, а также  $\alpha^w$  и  $\beta^w$  для последовательностей без повреждения ключевых кадров. Например,  $\alpha_{DivX}^k$  будет обозначать усредненный коэффициент, который характеризует ухудшение качества видео, закодированного кодеком MPEG-4 (DivX), если повреждение пришлось на ключевой кадр. Далее в работе будут найдены и сопоставлены  $\alpha_{DivX}^k$  и  $\alpha_{DivX}^w$ , а также  $\alpha_{Mpeg2}^k$  и  $\alpha_{Mpeg2}^w$ , чтобы определить в численном виде меру ухудшения качества видеоизображения.

## 2. Планирование эксперимента

Для нахождения коэффициентов уравнения (1) нами был разработан и проведен ряд экспериментов. Закодированные кодеками MPEG-4 (DivX), MPEG-2 и Windows Media Video 9 видео файлы, пересылались на ноутбук, подключенный к беспроводной сети WiFi, WiMAX или 3G. На ноутбуке проводилась запись получаемого видео в файл, параллельно записывался сетевой трафик на уровне пакетов при помощи сетевого сниффера Wireshark. Таким образом, по полученному видеоизображению можно установить качество видео по шкале MOS, а по сетевым логам – параметры сетевого соединения.

Для проведения и анализа экспериментов (см. Рис. 1) применялось программное обеспечение:

1) VLC media player [8] – использовался в качестве программного видеосервера и видеоплеера с возможностью записи получаемого по сети видео в файл на ноутбуке.

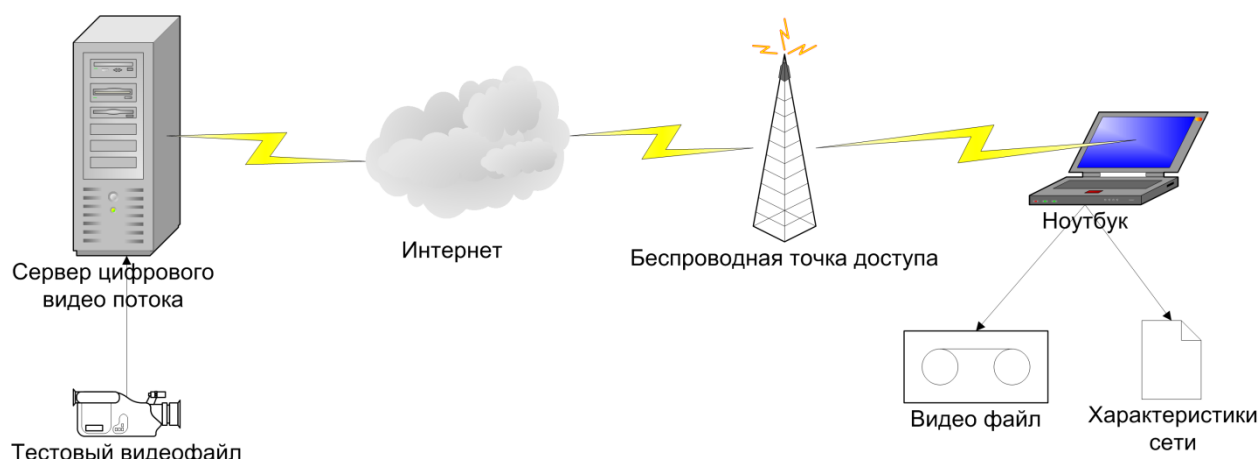
2) The Wireshark Network Protocol Analyzer [9] – с его помощью на ноутбуке записывался весь сетевой трафик, а затем анализировался.

3) VirtualDub [10] – с помощью данной программы производился пок кадровый анализ видеоизображения для вычисления MOS.

4) AviSynth 2.5 [11] – с его помощью в программе VirtualDub анализировалось видео, закодированное WMV кодеком. Данный кодек работает используя технологию DirectShow, а не VFW (Video For Windows), и не может быть напрямую открыт в VirtualDub.

Все записанные в ходе экспериментов видеофрагменты и сетевые логи опубликованы на сайте компании НПЦ «Интернет ТВ» [2].

Для сетей Wi-Fi, WiMAX и 3G эксперименты будут выглядеть одинаково, меняется лишь сетевое оборудование. На рисунке 1 представлена схема проведения эксперимента.



**Рис. 1. Схема проведения эксперимента**

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;
- частота кадров – 24 кадр/с.;
- битрейт 256 кбит/с;
- качество – максимальное.

Файлы исходного видео также опубликованы на сайте компании НПЦ «Интернет ТВ» [2].

В качестве программы для трансляции видео по сети использовался программный продукт VideoLan VLC. Данная программа запускалась с сервера, подключенного к сети Интернет с реальным IP адресом.

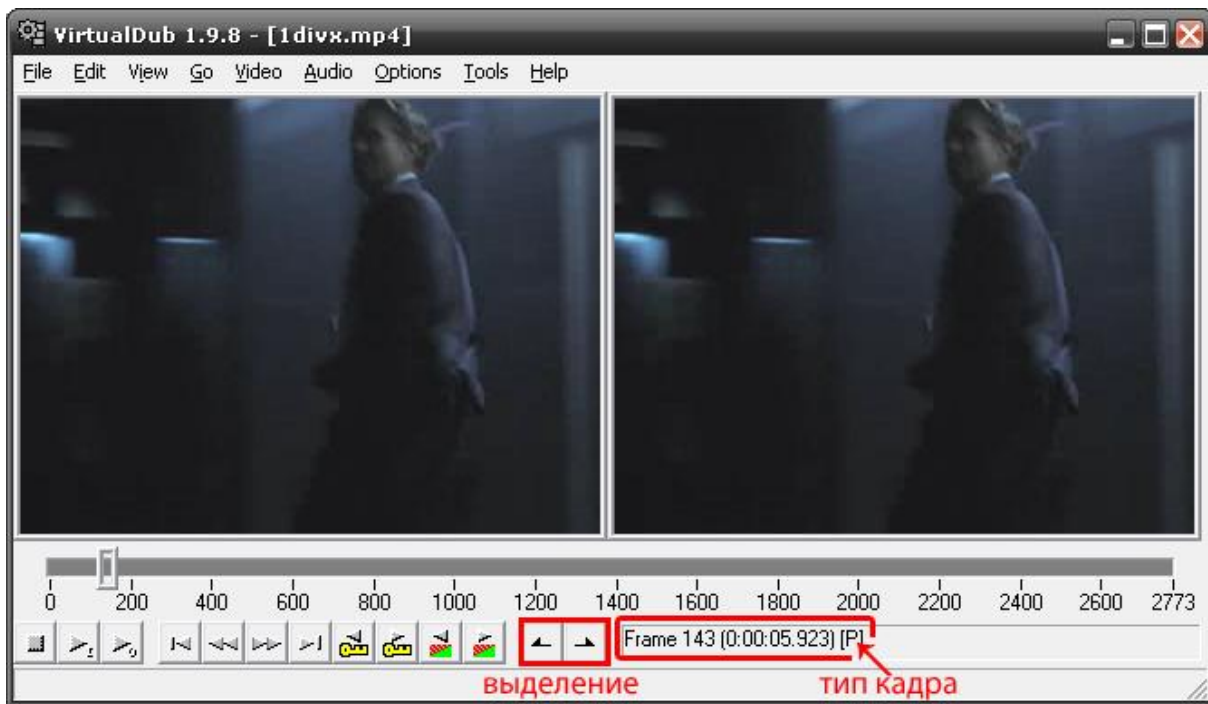
На компьютере, который принимал видео, был установлен VLC media player, а также сетевой сниффер Wireshark, записывающий весь получаемый по сети трафик в момент передачи видео. VLC media player был настроен на одновременное отображение принимаемого видео на экран и сохранение его в видеофайл. Таким образом, при проведении каждого опыта записываются два файла для дальнейшего анализа: видеофайл и файл сетевых логов.

Для проведения экспериментов использовались – локальная сеть СГАУ (WiFi), самарские сегменты сети операторов связи: Мегафон (3G), Билайн (3G) и Метромакс (WiMAX), которые бесплатно предоставили оборудование и технические возможности для тестовых испытаний.

### 3. Обработка результатов экспериментов

Для сети стандарта Wi-Fi характерно периодическое ухудшение характеристик сети, соответственно изображение ухудшается именно в определенные моменты. Порядок анализа всех полученных видеофрагментов и сетевых логов одинаков. Далее описан процесс анализа одного из видеофайлов и соответствующего ему файла сетевых логов в моменты ухудшения качества видео:

1) Программой VirtualDub открывается видеофайл (<http://stream.ip4tv.ru/wireless/WiFi/test1/1divx.mp4>), полученный в результате опыта. Ищется кадр, предшествующий искаженному кадру, на Рисунке 2 видно, что это кадр 143, который отображается на 5923 мс видеоряда. Аналогично находится последний искаженный кадр, в описываемом случае это 171 кадр, показываемый на 7083 миллисекунде. Таким образом, вычитая из времени начала искажения видео время окончания получится длительность искажения, составляющая 28 кадров или 1160 мс.



**Рис. 2. Поиск искаженных кадров в VirtualDub**

2) В сетевой сниффер Wireshark загружаются соответствующие логи сети (<http://stream.ip4tv.ru/wireless/WiFi/test1/1divx.pcap>), записанные в момент трансляции данного видео. Необходимо конкретизировать тип пакетов, выбрав пункт RTP. Во встроенном анализаторе приведен список всех пакетов и красным помечены места, где были потеряны пакеты. Также указаны статистические данные по межпакетному интервалу и джиттеру. Из столбца Sequence видно, что приняты пакет с номером 30195 и пакет с номером 30198, а между ними два пакета были потеряны.

3) Основная проблема анализа – как соотнести файл сетевых логов с видеозаписью. Для этого в логе пакетов ищется пакет (226), после которого произошла ошибка. По отношению к началу записи логов этот пакет поступил на 10,878914 секунде. В пункте 1 было найдено, что в видеоряде искажение произошло на 143 кадре, который отображался на 5923 мс видеоряда. Таким образом, искомое соотношение определено.

4) В пункте 1 установлено, что длительность искажений в видеоизображении 1160 мс. Соответственно от 226 кадра, пришедшего на 10,878914 секунде, отсчитывается 1160 мс. Получаем 12,038914 с. По сетевому логу Wireshark видно, что последний пакет, который пришел до 12,038914 секунды это пакет 253.

5) В Анализаторе RTP пакетов также указан межпакетный интервал и джиттер для каждого пришедшего пакета.

Другая важная задача, возникающая при обработке результатов экспериментов, это оценка качества видео по шкале MOS. Алгоритм оценки следующий:

- На первом искаженном кадре видео и последнем устанавливаются метки в программе VirtualDub (рис. 2).
- Искаженное изображение можно просматривать несколько раз и сравнить его с оригиналом.
- Визуально оценивается качество видеоизображения в момент ошибки по шкале MOS от 1 до 5.

В настоящей работе для каждой ошибки свою оценку от 2 до 4 выставляли 4 эксперта. Затем по их оценкам вычислялось среднеарифметическое значение.

При обработке файлов, закодированных при помощи кодека WMV9, возникли сложности. К сожалению, программа VirtualDub не отображает ключевых и неключевых кадров для видео, закодированного кодеком Windows Media Video 9. Поэтому эксперименты с ним не были нами обработаны.

#### 4. Результаты экспериментов

Полученные в результате проведения экспериментов данные были обработаны по описанной в предыдущем разделе методике. Найдено субъективное качество видео  $Q_{mos}$  в зависимости от процента потерь пакетов  $p$  и сетевого джиттера  $j$ . Полученные значения коэффициентов сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Значения коэффициентов модели для кодеков MPEG2, DivX в сети WiFi

№ пп	Кодек	$Q_{ideal}$	$\alpha^k$	$\beta^k$	$\alpha^w$	$\beta^w$
1	MPEG2	4,2±0,2	0,15±0,03	0,011±0,002	0,04±0,01	0,003±0,001
2	DivX	4,7±0,2	0,27±0,05	0,013±0,003	0,13±0,02	0,01±0,002

Было установлено, что качество видеоизображения зависит не только от процента потерь пакетов и сетевого джиттера, но и от типа кадра, на котором произошла ошибка. Поэтому в Таблице 1 нами специально выделено два типа коэффициентов – с потерями на ключевых кадрах и без них.

В Таблице 1  $\alpha^k$  и  $\beta^k$  - коэффициенты модели с потерями пакетов на ключевых кадрах,  $\alpha^w$  и  $\beta^w$  - коэффициенты для неповрежденных ключевых кадров, а  $Q_{ideal}$  – оценка по шкале MOS для исходного файла (до пересылки по сети).

Изначально у видеоизображения, закодированного кодеком MPEG-4 (DivX), качество выше, чем у видео, закодированного MPEG-2, но при ухудшении характеристик сети качество снижается ощутимее и при больших сетевых помехах становится схожим с качеством MPEG-2. В случае повреждения ключевого кадра качество изображения, закодированного MPEG-4 (DivX) упадет более чем в 2 раза при тех же характеристиках сети, а MPEG-2 в 3,75 раза.

Таким образом, для значительного повышения качества видеоизображения при передаче в беспроводной сети необходимо выполнить два обязательных пункта по модернизации схемы связи:

- Модернизировать видео плеер на приемной стороне с тем, чтобы автоматически откидывать дублирующиеся RTP пакеты.
- Сервер потокового видео должен дублировать пакеты, содержащие информацию ключевых кадров.
- Период между ключевыми кадрами не может превышать 2 секунд (оптимально 1 секунда).

Эти простые меры приведут к тому, что даже плохие по оценке GАР сети будут транслировать видео с оценкой MOS большей 3,5. Стоит отметить, что для кодеков MPEG-4 (DivX) и MPEG-2 передаваемый объем трафика увеличится в среднем на 7%, а качество видео не менее чем в 2 раза. Некоторые исследованные видеоплееры при воспроизведении MPEG-TS MPEG-4 потоков уже автоматически отбрасывают повторяющиеся кадры, что дает принципиальную возможность повышения визуального качества передаваемого видео путем незначительной модификации алгоритма MPEG-TS инкапсуляции на сервере трансляций.

К сожалению, на данный момент эксперименты в беспроводных сетях третьего и четвертого поколений еще не обработаны. Эксперименты, проведенные на сети WiMAX, показали очень хорошую устойчивость данной сети к ухудшению качества связи. Сети WiMAX по своим характеристикам сопоставимы с фиксированными сетями Ethernet.

3G сети очень чувствительны к внешним помехам и даже при хорошем уровне сигнала присутствуют значительные потери пакетов (Роог) и вариация задержки порядка 40 мс (Acceptable). Также было установлено, что у одного из 3G провайдеров оборудование зачастую дублировало исходящие пакеты, что само по себе создавало на видео очень сильные артефакты. Устранить данные помехи поможет наше решение с дублированием, а значит и отсеиванием дублированных кадров.

Решение с дублированием ключевых кадров должно значительно повысить качество видео при передаче его в ненадежных из-за расстояния и шумов сетях, таких как WiFi и 3G. Также данное решение может быть применено в беспилотных разведывательных самолетах и спутниках, так как организовать для них надежный беспроводной канал связи для передачи видео очень сложно.

## Выводы

В данной работе было проанализировано качество передачи видео в беспроводных сетях стандартов WiFi, 3G и WiMAX и исследовано влияние искажения ключевых кадров на качество видео. Оказалось, что сеть WiMAX достаточно надежна и по характеристикам соответствует проводной локальной сети. На сетях WiFi и 3G качество видео изображения значительно снижается при передаче. Для повышения качества видео в этих сетях нами предложен метод дублирования ключевых кадров сервером потокового видео при использовании кодака MPEG-4 (DivX). Это увеличит качество видео на сетях WiFi и 3G минимум в 2 раза при незначительном увеличении размера потока на 7%. Кроме того данный метод может повысить качество видео за счет модернизации воспроизводящего плеера функцией отсеивания дублирующихся кадров.

В работе были найдены коэффициенты математической модели, описывающей качество передачи видео [4] для случая беспроводной сети WiFi и кодеков MPEG-2 и MPEG-4 (DivX). Для расчета значений коэффициентов была разработана специальная экспериментальная методика, которая позволила собрать и обработать данные.

В наши ближайшие планы входит изучение возможности подачи патента на сформулированные нами пункты по улучшению кодеков. Также мы планируем связаться с разработчиками свободно распространяемого программного обеспечения – VideoLan, чтобы внести изменения в исходные коды плеера и сервера потокового видео.

В заключение хотелось бы выразить благодарность самарским отделениям операторов связи: Мегафон, Билайн и Метромакс, которые бесплатно предоставили оборудование и технические возможности для проведения экспериментов.

### **Литература**

1. Cisco Systems, “Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2008–2013”, 9 июня 2009. ([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))
2. “Traces of video stream in wireless networks (WiMAX, 3G, WiFi)”. (<http://www.ip4tv.ru/stati/aaa.html>)
3. S. Bradner, J. McQuaid, RFC2544 - Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices, March 1999.
4. A. Sukhov, P. Calyam, W. Daly, A. Ilin, Towards an analytical model for characterizing behavior of high-speed VVoIP applications, Computational Methods in Science and Technology, 11(2), 161-167 (2005)
5. International Telecommunication Union, “Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures (ITU-R BT.500-11)” (2002).
6. M. Claypool and J. Tanner, “The Effects of Jitter on the Perceptual Quality of Video,” in ACM Multimedia, 1999.
7. P. Calyam, M. Sridharan and et. al., “Performance Measurement and Analysis of H.323 Traffic,” in PAM Workshop, 2004.
8. VideoLAN team, “VideoLAN, Free streaming and multimedia solutions for all OS!”. (<http://www.videolan.org/>)
9. Wireshark Foundation, “Wireshark. Go deep.”. (<http://www.wireshark.org/>)
10. Avery Lee, “Welcome to virtualdub.org! - virtualdub.org”. (<http://www.virtualdub.org/>)
11. “Main Page - Avisynth”. ([http://avisynth.org/mediawiki/Main\\_Page](http://avisynth.org/mediawiki/Main_Page))