

(Э и Р) Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада Ал-Хоразмий (ТУИТ)

Эл. почта: faziljanov\_ismail@mail.ru

**Фозилжонов Хожиякбар Исмоил угли**

Ассистент кафедры “Электроника и радиотехника” (Э и Р) Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада Ал-Хоразмий (ТУИТ)

Эл. почта: foziljonov.x.i@gmail.com

**Каландаров Жамил Жалолович**

Начальник отдела информационной безопасности центра информационных технологий при Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада Ал-Хоразмий (ТУИТ)

**Faziljanov I.R. Foziljonov Kh.I. Kalandarov J.J.**

**Annotation:** The hardware-software complex for remote monitoring of the degree of environmental contamination with the transmission of information through the channels of cellular communication has been developed. To measure the concentration of harmful gases (carbon monoxide, propane, butane and methane) it takes about 150 seconds. The monitoring result is transmitted via GPRS technology via GSM channel at any time of the day and year upon request to the information processing center.

**Keywords:** gas pollution of the atmosphere, environmental pollution, air monitoring, gas sensor, gas concentration, remote monitoring.

УДК 621.391.25

**И.А.Гаврилов, Т.Г. Рахимов, Х.Х.Носиров, А.Н. Пузий, А.Х.Ахмедова,  
З.А.Ўлмасхўжаев**

## **ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВИДЕОКОДИРОВАНИЯ НА НИЗКИХ СКОРОСТЯХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В КОДЕКАХ СТАНДАРТА MPEG-2, MPEG-4-10, H.264 И H.265**

Статья охватывает результаты анализа эффективности кодирования видеоданных телевизионных изображений наиболее распространенными и перспективными видеокодеками стандартов MPEG-2, MPEG-4-AVC (XviD), H.264 и H.265. Приводятся результаты экспериментов по сравнительной оценке качества декодированных изображений на основе предложенной метрики объективной оценки, основанной на вычислении суммы ошибок предсказания значений пикселей.

**Ключевые слова:** изображение, компрессия, видеокодек, MPEG-2, MPEG-4-AVC(XviD), H.264, H.265, визуальное качество, оценка качества изображений, MSE, PSNR.

### **Введение**

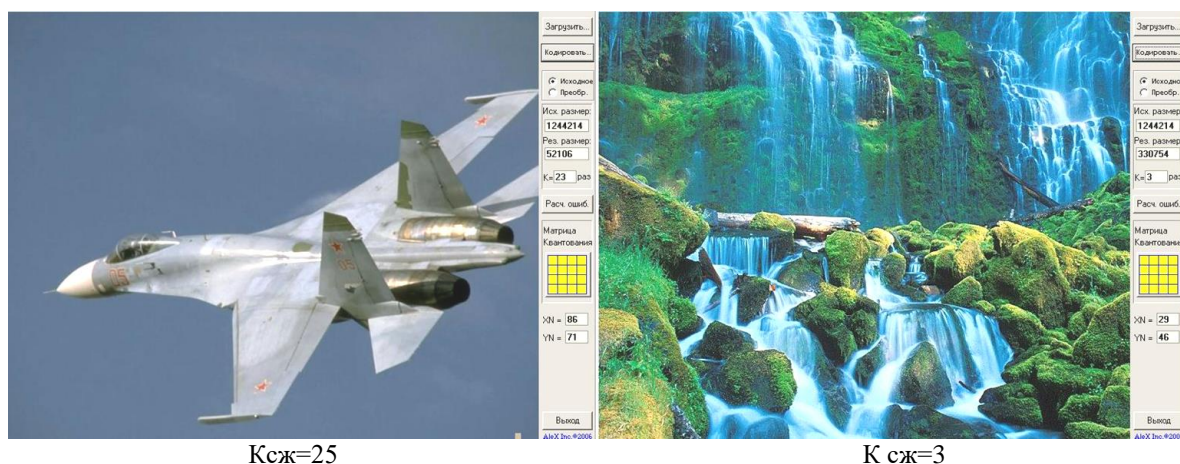
При оцифровке телевизионного сигнала выходной поток видеоданных может достигать 216-240 Мбит/с в системах стандартной четкости и более 800 Мбит/с в системах высокой четкости, что значительно превосходит пропускную способность каналов передачи в цифровом телевидении [1]. Поэтому для согласования параметров сигналов и каналов передачи применяют различные методы сжатия видеоинформации, основанные на устранении различных типов избыточной или предсказуемой информации в ТВ изображениях. А поскольку в мире разработано довольно много методов и алгоритмов видео компрессии, то для обеспечения взаимодействия систем видео компрессии различных производителей разработаны специальные стандарты видеокодирования, регламентирующие структуры цифрового потока.

### **Основная часть**

В настоящее время для видеокодирования в системах цифрового телевидения применяются кодеки стандартов MPEG-2, MPEG-4-10 (XviD), H.264 и H.265. При этом в среднем стандарт MPEG-2 может обеспечить хорошее качество изображения при скоростях цифрового потока (битрейте) на уровне 4-5 Мбит/с, а кодеки стандарта MPEG-4-10 на битрейтах свыше 2,5 Мбит/с. Однако проблема заключается в том, что величина сжатия видеопотока сильно зависит от структуры

изображения и величины перемещения видеообъектов в соседних кадрах. Так, изображения относительно крупными видео объектами сжимаются хорошо, а изображения с высокой детальностью плохо (рис.1). Как видно из результатов экспериментов, в режиме сжатия без потерь, мелкоструктурный сюжет с водопадом сжимается в 8 раз хуже, чем самолет (рис.1). При работе с компьютером это существенного значения не имеет, просто файлы разных видеосюжетов будут иметь различный объем данных. Однако при работе с каналом связи, имеющим постоянную пропускную способность, приходится стабилизировать битрейт за счет дожатия плохо сжимаемых кадров.

Иначе время передачи кадров большого объема может превысить время кадрового интервала, что приведет к выпадению кадров из потока и, соответственно, к нарушению плавности передачи движения видеообъектов. При этом дожатие плохо сжимаемых кадров сопровождается удалением в их части полезной информации, что приводит к возникновению искажений в виде блочной структуры, потери четкости и, соответственно, значительному ухудшению визуального качества изображения (рис.2, а). Поэтому для повышения качества изображения при больших коэффициентах сжатия видеопотока применяют различные методы обработки. Так, для уменьшения заметности блочных искажений в кодеках стандарта H.264



**Рис.1** Влияние структуры изображения на коэффициент сжатия видеоданных при постоянных параметрах кодирования

применяют специальные деблокинговые фильтры, которые сглаживают перепады яркостей пикселей на границах блоков [2, 3].

Применение фильтров в некоторой степени улучшает картину, сглаживая мозаику блоков, но также и уменьшает количество цветовых оттенков, что на крупных планах бывает довольно заметно (рис.2, б). Поэтому оценка минимальных значений битовых скоростей компрессированного видео, при которых обеспечивается приемлемое качество отображаемого изображения, имеет важное значение по практическому использованию рассматриваемых видеокодеков.

В связи с этим в данной работе анализируются искажения изображений, вносимых кодекам MPEG-2,

XviD H.264 и H.265, входящих в состав

программного обеспечения Видеомастер 12.0. Также даются рекомендации по применению их параметров кодирования. Для этой цели было проведено исследование по оценке влияния параметров кодирования видеокодеков на качество изображения тестовых видеофильмов различных сюжетов и жанров. Причем, поскольку в телевидении наибольшее сжатие видеопотока обеспечивается межкадровой обработкой на основе компенсации движения видеообъектов, то на эффективность кодирования сильно влияет еще и скорость их движения. Это связано с тем, что процесс компенсации движения занимает много времени на поиск одинаковых блоков пикселей в соседних кадрах, поэтому для увеличения быстродействия обработки зона поиска обычно не превышает  $\pm 16$  пикселей [2].



**Рис.2** Проявление блочных искажений изображений (а) и результат деблокинговой фильтрации (б)

Соответственно, при больших скоростях движения объектов в кадрах, блоки пикселей одного видеообъекта в соседних кадрах могут быть не опознаны и эффективность кодирования снижается. Поэтому при выборе тестовых видеосюжетов учитывался также и характер движения в кадре, который может быть локальным, глобальным и комбинированным.

Поскольку телевидение является системой визуального наблюдения, то, естественно, качество изображения оценивает зритель. Однако в силу субъективности нашего восприятия метод субъективной оценки не дает количественной оценки сравнения, как параметров кодирования одного кодека, так оценки алгоритмов кодирования различных кодеках [4, 5, 6]. Поэтому на практике часто приме-

няются методы объективной оценки качества изображения, основанные на вычислении различных метрик. Несмотря на разнообразие существующих метрик, ни одна из них не соответствует оценке нашего зрительного восприятия, тем не менее они позволяют количественно оценить вносимые искажения при кодировании видеоданных.

В настоящее время для объективной оценки качества изображения широкое распространение получили метрики MSE, PSNR [2,3].

Метрика MSE (Mean Squared Error – среднеквадратическая ошибка) оценивает отклонения значений пикселей исходного и декодированного изображения по следующей формуле [7-9]:

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} |I(i, j) - K(i, j)|^2 \quad (1)$$

где  $L$  - исходное изображение,  $K$  – отображаемое изображение,  $M$  и  $N$  - горизонтальный и вертикальный размер изображения,  $L(i, j)$  - значение пикселя изображения  $X$  с координатами  $(i, j)$ .

Если изображения совпадают, то значение MSE равно 0. Соответственно, значение метрики возрастает с увеличением искажений в изображении. Значение MSE для видеофрагмента обычно принимается равным среднему значению MSE по всем кадрам или их сумме [7].

Другую метрику, которую часто используют на практике, называют мерой пикового отношения сигнала к шуму (*peak-to-peak signal-to-noise ratio* — *PSNR*), которая является инженерным термином, означающим соотношение между максимумом возможного значения сигнала и мощностью шума искажающего значения сигнала [7]. Поскольку многие сигналы имеют широкий динамический диапазон, PSNR обычно измеряется в логарифмической шкале в децибелах. Данная метрика наиболее часто используется для измерения уровня искажений при компрессии изображений, которая вычисляется по следующей формуле [7, 8]:

$$PSNR = 10 \log_{10} \left( \frac{MAX_I^2}{MSE} \right) = 20 \log_{10} \left( \frac{MAX_I}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (2)$$

Где  $MAX_I^2$  — это максимальное значение, принимаемое пикселем изображения. Когда пиксели имеют разрядность 8 бит,  $MAX_I=255$ .

Для цветных изображений MSE считается по всем трем компонентам и делится на утроенный размер изображения.

Данная метрика, по сути, аналогична среднеквадратичному отклонению, но пользоваться ей несколько удобнее за счет логарифмического масштаба шкалы. Однако при блочных искажениях среднее значение MSE получается низким, поэтому значение метрики меняется слабо, поэтому значение MSE получается низким. Так, для сюжета «Медведь», кодированного в стандарте MPEG-2 с битрейтом 0,5 Мбит/с  $MSE=7\%$ , что характеризует хорошее качество, однако визуально данное изображение (рис.2,а) воспринимается сильно испорченным. Поэтому для более адекватной оценки был предложен метод, основанный на вычислении суммы ошибок предсказаний пиксельных значений (SEP). Суть метода заключается в сравнении сумм ошибок предсказаний пиксельных значений исходного и восстановленного изображений. Для этой цели могут использоваться различные интерполяторы, но в данном случае ошибки предсказания определяются более простой и быстродействующий трехточечный фильтр по следующим формулам:

$$D_1 = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^{n-1} b'_{(1)i}, \quad D_2 = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^{n-1} b'_{(2)i},$$

$$\text{где } b'_i = \frac{b_i - (b_{i-1} + b_{i+1})}{2}$$

$D_1$  и  $D_2$  сумма ошибок предсказания значений пикселей исходного и декодированного кадра соответственно.

$$SEP = \frac{D_1 - D_2}{D_1} * 100\% \quad (3)$$

Для оценки влияния битрейта на качество отображаемых изображений были использованы 3 тестовых видеосюжета (медведь, бабочка и водопад) с локальным, глобальным и комбинированным движением объектов сцены, и имеющих крупную и мелкую структуру (рис.3). При этом качество декодированных изображений оценивалось как визуально (рис.4), так и с помощью SEP, результаты которой представлены в таблице 1 и в виде гистограмм на рис.5.



Медведь

бабочка

водопад

Рис.3 Типы тестовых видеопоследовательностей



**Рис.4** Визуальное качество декодированных изображений кодеками MPEG-2 (а) и H.265(б) полученных на битрейте 0,5 Мбит/с

Как видно из приведенных гистограмм, наилучшее качество изображений получается при кодировании видео сюжета «бабочка», характеризующегося относительно малой детальностью и скоростью движения видеообъектов. А наихудшее качество показывает видеосюжет «водопад». Это связано с тем, что большая скорость локального и глобального движения делает неработоспособной систему

межкадрового кодирования на основе компенсации движения. Соответственно эффективность кодирования межкадровых различий резко падает. Поэтому стабилизация битрейта производится большими значениями квантователей, что приводит к большой потере полезной информации и, соответственно, визуального качества восстановленных изображений.

**Таблица 1.**

Сравнительные результаты вносимых искажений кодеками MPEG-2, XviD, H.264 и H.265 при кодировании тестовых видеосюжетов с различными битрейтами

Видеокодек – MPEG-2						
Видеосюжет	SEP (%) при битрейтах (Мбит/с)					
	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Водопад	40	39	38	37	31	28
Медведь	51	43	32	22	17	7
Бабочка	24,5	24	24	17,2	15	12
Видеокодек – XviD						
Видеосюжет	SEP (%) при битрейтах (Мбит/с)					
	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Водопад	30	29	28	27	21	18
Медведь	40	14	10	8	4,2	3,5
Бабочка	15	8,2	8	7,5	7,2	7
Видеокодек – H.264						
Видеосюжет	SEP (%) при битрейтах (Мбит/с)					
	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Водопад	71	54,4	41,5	30	24,5	22
Медведь	38	25	15	10	3,5	3
Бабочка	8	7,2	5,5	4,7	4,1	4
Видеокодек – H.265						
Видеосюжет	SEP (%) при битрейтах (Мбит/с)					
	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Водопад	57	42	35	30	25	20
Медведь	45	35	29	25	19	10
Бабочка	3,5	3,5	3,4	3,3	3,2	3

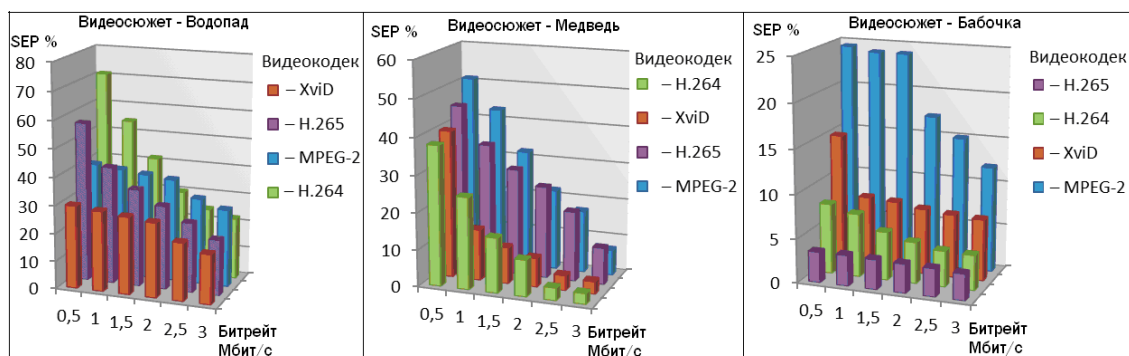


Рис.5 Гистограммы зависимостей величины искажений изображений от типа видеосюжета, исследуемого кодека и битрейта

Также было установлено, что из рассмотренных кодеков наихудшие результаты показывает кодек стандарта MPEG-2, в котором блочные искажения проявляются уже на 3 Мбит/с на всех типах тестовых видеосюжетах. При этом на сюжете «водопад» с сильным комбинированным движением они проявляются особенно сильно. Кодек XviD стандарта MPEG-4 обладает лучшей эффективностью кодирования, обеспечивая более хорошее качество изображений сюжетов «Бабочка» и «Медведь» на битрейтах 1-1,5 Мбит/с, а на сюжете «водопад» визуальное качество изображений почти не отличается от MPEG-2 (рис.6, а).

В отличие от кодеков MPEG-2 и XviD кодеки стандартов H.264 и H.265 для улучшения качества изображения используют деблокинговые фильтры, которые сглаживают мозаику блочного эффекта (рис.6, б).

Проведенные эксперименты показывают, что деблокинговые фильтры действительно улучшают восприятие изображения, кодированного на низких битрейтах, но при этом они значительно снижают четкость изображения, от чего оно приобретает размазанный вид. Соответственно, возрастает гладкость такого изображения, поэтому метрика SEP показывает существенно более высокое значение.



Рис.6 Визуальное качество изображений видеосюжета «Водопад» кодированных кодеками стандартов MPEG-2 (а) и H.264 (б) с битрейтом 2 Мбит/с

При этом на сюжетах «Бабочка» и «Медведь» кодек H.264 обеспечивает хорошее качество на битрейтах выше 1 Мбит/с, а H.265 на битрейтах свыше 0,5 Мбит/с. Что касается сюжета «Водопад», то из-за сильного комбинированного движения компенсация движения в межкадровом кодировании, которая обеспечивает основное сжатие видеопотока, перестает работать. Поэтому кодеки обрабатывают такую видеопоследовательность как набор статических изображений. В результате качество таких изображений получается плохим по сравнению с другими видеосюжетами. Так, установлено, что на сюжете «водопад» приемлемое качество кодеком H.264 обеспечивается на битрейтах 2,5-3 Мбит/с, а кодеком H.265 на 2-2,5 Мбит/с.

Таким образом, если кодировать ТВ изображения без учета структуры и скоростей перемещения видеосюжетов, то лучше использовать кодек H.264 с

битрейтом 2,5-3 Мбит/с. Если же видеопродукция не содержит высокоскоростных сцен, то битрейт можно снизить до 1,5 Мбит/с без заметного ухудшения качества. Также можно использовать кодеки стандарта H.265, которые на более низких битрейтах могут обеспечить приемлемое качество изображений. Однако следует учитывать, что сложные алгоритмы обработки изображения в H.265 имеют низкое быстродействие, что требует для их реализации высокопроизводительную и дорогую микропроцессорную технику. Так, было установлено, что программный кодек H.264 по быстродействию уступает MPEG-2 примерно в 2 раза, а H.265 – примерно в 3,4 раза.

#### Заключение

В данной работе проведен сравнительный анализ качества восстановленных изображений с помощью предложенной метрики SEP видеокодексов MPEG-2,

MPEG-4-10, H.264 и H.265.

Результаты экспериментов показали, что качество восстановленных изображений лучше в кодеке H.264 на скоростях 2,5-3 Мбит/с. Установлено, что по быстродействию кодек MPEG-2 лучше кодеков H.264 в 2 раза, а H.265 в 3,4 раза.

#### Литературы:

1. И.А.Гаврилов, Т.Г.Рахимов, А.Н.Пузий, Х.Х.Носиров, Ш.М.Кадиров. Цифровое телевидение // Ташкент, 2016 г. 380 с.

2. Wien, Mathias. The Handbook of High Efficiency Video Coding, Coding Tools and Specification // Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2015, ch. In-Loop Filtering, P. 233-241.

3. Ян Ричардсон. Видеокодирование. H.264 и MPEG-4 – стандарты нового поколения // Мир цифровой обработки. John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex P019 8SQ, England, 2003. Перевод с англ. В.В. Чепыжова. ЗАО «РИЦ» Техносфера, Москва, 2005 г. 182 с.

4. Z. Wang, A.C. Bovik and L. Lu. Why is image quality assessment so difficult? // IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2002.

5. Z. Wang, A.C. Bovik, H.R. Sheikh and E.P. Simoncelli, Image quality assessment: from error visibility to structural similarity // IEEE Transactions on Image Processing. Vol.13, No.4. April 2004. P. 600- 612.

6. Z. Wang and A.C. Bovik, The Handbook of Image and Video Processing. 2nd ed. // New York: Academic Press, June 2005, ch. Structural approaches to image quality assessment. P. 961-974.

7. Д.Угаров. Реализация объективных методов оценки изображения. Метрики PSNR и SSIM // МФТИ 2009.

8. Wackerly, Dennis; Mendenhall, William;

Scheaffer, Richard L. Mathematical Statistics with Applications (7 ed.). // Belmont, CA, USA: Thomson Higher Education. 2008.

9. Z. Wang and A.C. Bovik, The Handbook of video databases: Design and Applications. // Boca Raton, Florida: CRC Press, September 2003, ch. Objective video quality assessment. P. 1041-1078.

#### Гаврилов Игорь Александрович

Доцент кафедры Системы телерадиовещания (СТРВ) Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада аль-Хорезми (ТУИТ). Эл.почта: gavrilov-1960@mail.ru

**Рахимов Тахир Гафурович.** Доцент кафедры СТРВ ТУИТ.

#### Носиров Хабибулло Хикматулло угли

Доцент кафедры СТРВ ТУИТ

Эл.почта: n.khabibullo1990@gmail.com

**Пузий Анастасия Николаевна.** Доцент кафедры СТРВ ТУИТ. Эл.почта: puziy-2008@mail.ru

**Ахмедова Анора Халбаевна.** Старший преподаватель кафедры СТРВ ТУИТ. Эл.почта: axmedova197623@mail.ru

#### Ўлмасхўжаев Зоир

**I.A. Gavrilov, T.G. Rakhimov, Kh.Kh.Nosirov, A.N. Puziy, A.Kh.Akhmedova, Z.A.Ulmaskhujaev**

**Evaluating the quality of video coding at low speeds of data transfer in codecs of MPEG-2, MPEG-4-10, H.264 & H.265 standards**

The article covers the results of the analysis of the coding efficiency of video data of television images of the most common and promising video codecs of MPEG-2, MPEG-4-AVC (XviD), H.264 and H.265 standards. The results of experiments on a comparative assessment of the quality of decoded images based on the proposed objective evaluation metric based on the calculation of the sum of the prediction errors of pixel values are given.

Keywords: image, compression, video codec, MPEG-2, MPEG-4-AVC (XviD), H.264, H.265, visual quality, image quality assessment, MSE, PSNR.

УДК 621.311.721

**Бобожанов М.Қ., Расулов А.Н., Каримов Р.Ч., Саттаров Х.А.**

## ЭЛЕКТР ТАЪМИНОТИ ТИЗИМИДА КОНТАКТСИЗ КУЧЛАНИШ СТАБИЛИЗАТОРЛАРИНИ ТАДҚИҚ ҚИЛИШ

Мақолада электр таъминоти тизимида кучланишни номиналдан оғиши-нинг асосий сабаблари ва уларнинг таъсирини камайтирувчи қурилмалар, уларни камчиликлари ва таклиф этилаётган оптодисторли контактсиз кучланиш релеси (ОККР) асосида вольт кўшувчи трансформатор (ВКТ) чулғамларини улаб-узувчи кучланиш стабилизатори схемаси тадқиқ этилган.

**Калит сўзлар:** кучланиш стабилизатори, тўсик, тиристор, оптодистор, конденсатор, резистор, диод, диодли кўприк, трансформатор.

**Қириш.** Мураккаб ускуналар ва технологик жараёнларни тўхтаб қолиши ёки ишдан чиқишининг асосий сабабларидан бири, электр истеъмолчиларда кучланишнинг оғишидир. Электр таъминоти тизимларида истеъмолчилар кучланиши сифатини

яхшилаш учун махсус техник воситалар ишлатилади [3-7].

Электр таъминоти тизимида кучланиш ностабиллигининг асосий тур-лари: қуввати катта бўлган электр истеъмолчиларини улаб-узиш