

УДК 004.627

А. В. Коробейников, кандидат технических наук, доцент кафедры «Программное обеспечение»

М. А. Бояришинов, кандидат технических наук, доцент кафедры «Радиотехника»

В. В. Хворенков, доктор технических наук, профессор кафедры «Радиотехника»

В. С. Смирнов, аспирант

А. С. Батурич, аспирант

ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

ТЕСТИРОВАНИЕ ВИДЕОКОДЕКОВ СТАНДАРТОВ H.263, H.264, H.265

В статье сравниваются видеокодеки стандартов H.263, H.264, H.265 с учетом возможности их применения в низкоскоростных каналах с большим количеством ошибок. Приводится характеристика стандартов и результаты тестирования видеокодексов на различных фрагментах видео, в том числе в режиме моделирования ошибок в канале связи. Проведено сравнение качества сжатого видео и устойчивости видеокодексов к ошибкам.

Ключевые слова: стандарты сжатия видео, видеокодеки, H.263, H.264, H.265.

Введение

В статье рассмотрен ряд стандартов сжатия видеоданных с точки зрения эффективности их применения в специальных системах связи, таких как системы связи с удаленными геологическими группами, лесниками, метеостанциями, подразделений МЧС, а также системы связи военного назначения для низовых подразделений.

Для таких систем характерно: наличие низкоскоростных каналов связи; ограниченность ресурсов, в частности ограниченность доступных каналов связи; необходимость передачи информации на достаточно большие расстояния в сложной помеховой обстановке; пониженные требования к качеству передаваемой информации.

Многие решения иностранных и российских производителей специальных систем связи в настоящее время ориентированы на появление у радиосредств, средств оптоэлектронного наблюдения и управления, IP-адресов и использование соответствующих сетевых протоколов передачи информации. Это позволяет безболезненно включать новых абонентов в сеть, обеспечивать взаимодействие и обмен информацией между абонентами сети, находящимися на больших расстояниях друг от друга, обеспечить передачу команд управления и сообщений, файлов информации, речи и видеоизображений, вплоть до проведения видеоконференций.

Таким образом, передача видеоизображений как в виде файлов, так и в режиме реального времени, становится актуальной задачей и для таких систем. На повестке дня передача видеоданных не только по каналам связи УКВ, но и КВ-диапазона, естественно с определенными ограничениями размеров и качества передаваемого видео. Однако, несмотря на применение современных сигнально-кодовых конструкций, в том числе широкополосных, и значительный рост обеспечиваемой скорости передачи информации, современные КВ-радиосредства не могут обеспечить скорость передачи даже в несколько сотен Кбит/с.

Исходя из вышеизложенного отметим некоторые требования к алгоритмам передачи видеоданных

в указанных системах связи: должна обеспечиваться высокая степень сжатия видеоданных; допускается значительное снижение качества передаваемого видео по сравнению с системами связи коммерческого назначения; должна обеспечиваться высокая помехоустойчивость передаваемых видеоданных и быстрая восстанавливаемость их приема после кратковременного пропадания канала связи.

Рассмотрим стандарты сжатия видеоданных с учетом перечисленных требований.

Краткий обзор стандартов сжатия видеоданных

MPEG-2 Part 2 / H.262. Стандарт. *MPEG-2 Part 2: Video (ISO/IEC 13818, 1995 г.)* – сжатие чересстрочного и прогрессивного видео [1, 2]. Соответствует стандарту H.262. Стандарт MPEG-2 получил распространение в цифровых видеодисках DVD, системах компрессии видео, цифровом телевидении DVB. В случае использования в цифровом телевидении MPEG-2 активно применяется как стандарт, определяющий структуру транспортных потоков и способы передачи данных. Скорость потока 0,096–300 Мбит/с; разрешение от 176×144 до 1920×1152; частота кадров 15–60 Гц.

MPEG-4 Part 2 / H.263. Стандарт. *MPEG-4 Part 2 (ISO/IEC 14496-2, 1999 г.): Visual*: Описывает кодеки для видео (видео, статических текстур, синтетических изображений и т. д.) [3–5]. Один из нескольких профилей в Part 2 – *Advanced Simple Profile (ASP)* – наиболее используемая часть стандарта MPEG-4, на основе H.263 (1996 г.). H.263 – стандарт сжатия видео, предназначенный для передачи видео по каналам с низкой пропускной способностью (обычно ниже 128 кбит/с). Применяется в программном обеспечении для видеоконференций. H.263 представляет собой развитие стандарта H.261 и алгоритмов MPEG-1 и MPEG-2. Скорость потока 0,04–20 Мбит/с; разрешение: *sub-QCIF, QCIF, CIF, 4CIF, 16CIF* и настраиваемые разрешения. Алгоритм H.263 допускает быструю аппаратную реализацию.

MPEG-4 Part 10 / H.264. Стандарт. *MPEG-4 Part 10 (ISO/IEC 14496-10, 2004 г.): Advanced Video Coding (AVC)* [6, 7]. Соответствует стандарту H.264. Назначение. Лицензируемый стандарт сжатия видео,

предназначенный для достижения высокой степени сжатия видеопотока при сохранении высокого качества. Стандарт был разработан для эффективного кодирования и помехоустойчивой передачи видео. Повышена надежность механизма передачи видеоданных относительно предшествующего стандарта *H.263*. Скорость потока 0,064–20 Мбит/с; разрешение от 128×96 (*sub-QCIF*) до 2048×1024 (*QXGA*); частота кадров 7,5–80 Гц.

Формат определяет три профиля сжатия. Базовый профиль (*Baseline Profile, BP*). Применяется в недорогих продуктах, требующих дополнительной устойчивости к потерям. Используется для видеоконференций и в мобильных продуктах. Включает все возможности ограниченного базового профиля. Основной профиль (*Main Profile, MP*). Применяется для цифрового телевидения стандартной четкости в трансляциях, использующих сжатие *MPEG-4* в соответствии со стандартом *DVB*. Расширенный профиль (*Extended Profile, XP*). Предназначен для потокового

видео, имеет относительно высокую степень сжатия и дополнительные возможности для повышения устойчивости к потере данных.

MPEG-H Part 2 / H.265. Стандарт. *H.265: HEVC (High Efficiency Video Coding – высокоэффективное кодирование видеоизображений)* [8]. Соответствует стандарту *MPEG-H (ISO/IEC 23008-2, 2013 г.)*. Стандарт сжатия видео, с применением более эффективных алгоритмов по сравнению с *H.264 / MPEG-4 AVC*. Стандарт разработан в связи с растущей потребностью в более высокой степени сжатия движущихся изображений для самых разных приложений, таких как потоковая передача в Интернете, передача данных, связь видеоконференций, цифровые запоминающие устройства и телевизионное вещание. *H.265* является новым стандартом, а не расширением *H.264*. Видеокодеки на основе *H.265* показывают степень сжатия лучшую, чем предшествующие варианты стандартов (табл. 1).

Таблица 1. Сравнение стандартов видеокодирования при равном качестве

Стандарт видеокодирования	Среднее сокращение битрейта			
	<i>H.264 / MPEG-4 AVC HP</i>	<i>MPEG-4 ASP</i>	<i>H.263 HLP</i>	<i>H.262 / MPEG-2 MP</i>
<i>HEVC MP</i>	35.4 %	63.7 %	65.1 %	70.8 %
<i>H.264 / MPEG-4 AVC HP</i>	–	44.5 %	46.6 %	55.4 %
<i>MPEG-4 ASP</i>	–	–	3.9 %	19.7 %
<i>H.263 HLP</i>	–	–	–	16.2 %

Используемые видеокодеки

x264. Свободная библиотека программных компонентов для кодирования видеопотоков согласно стандарту *H.264*. Реализует только базовый (*base*) и основной (*main*) профили стандарта. Расширенный (*extended*) профиль в библиотеке не реализован. Характеризуется высокой скоростью и высокой надежностью работы. Используется в большинстве программ сжатия видео стандарта *H.264*.

При тестировании сборка программы кодека была выполнена из исходных текстов (версия: 0.142svn20141104-1.1; настройки сжатия по умолчанию).

JM. Справочная библиотека программных компонентов для кодирования видеопотоков согласно стандарту *H.264*. Разработана сектором стандартизации электросвязи Международного союза электросвязи. Библиотека реализует все профили стандарта: базовый (*bp – base profile*), основной (*mp – main profile*) и расширенный (*xp – extended profile*). Характеризуется низкой скоростью и низкой надежностью работы (видео может декодироваться с ошибками). Является справочной программой – служит для понимания работы кодера и декодера стандарта сжатия *H.264*.

При тестировании сборка программы видеокодека была выполнена из исходных текстов (версия: 18.6; настройки сжатия по умолчанию).

x265. Свободная библиотека программных компонентов для кодирования видеопотоков согласно стандарту *H.265*. Характеризуется более низкой скоростью работы, чем библиотека *x264*, по причинам:

а) алгоритмы сжатия являются более сложными; б) стандарт сжатия является новым, библиотека сжатия находится на этапе доработки. Используется в большинстве программ сжатия видео стандарта *H.265*.

При тестировании сборка программы видеокодека был использован исполняемый файл библиотеки (версия: 0.32hg20140928-1.1; настройки по умолчанию).

FFmpeg. Набор свободных библиотек с открытым исходным кодом, которые позволяют записывать, конвертировать и передавать цифровые аудио- и видеозаписи в различных форматах. Название происходит от названия экспертной группы *MPEG* и *FF*, означающего *fast forward* (перематка вперед).

Библиотека использована для тестирования кодеков сжатия стандартов *MPEG-4 Part 2 / H.263 – Advanced Simple Profile (ASP)*: а) *H.263+*; б) *MP4*; в) *Xvid*.

При тестировании сборки программы видеокодека были использованы исполняемые файлы библиотеки (версия: 2.3.3-1.4; настройки сжатия по умолчанию).

Характеристики сжимаемого видео

При тестировании использовались фрагменты видео с характеристиками, соответствующими характеристикам специальных технических средств (размеры кадра; частота кадров): а) 720p (1280×720; 50 fps); б) 576p (704×576; 60, 30 fps); в) 288p (352×288; 30, 15 fps); г) 144p (176×144; 15 fps).

Характеристики видеопотока

При тестировании требования к скорости видеопотока соответствуют характеристикам специальных

технических средств. Кроме того, было протестировано сжатие с очень низкими скоростями потока. Список скоростей видеопотока, на которых тестировалась работа библиотек сжатия (Кбит/с): а) 40000; б) 14000; в) 10000; г) 4000; д) 2000; е) 1200; ж) 800; з) 400; и) 200; к) 128; л) 64.

Тестовые записи видео

Фрагменты видео, использованные при тестировании, были взяты из набора тестовых записей видео видекодека *Xiph* [9] (в формате **.y4m* – видео без сжатия). Приведем изображения кадров, характеризующие фрагменты видео, используемые при тестировании (рис. 1, табл. 2).



а) *park_joy*



б) *old_town_cross*



в) *soccer*



г) *city*

Рис. 1. Кадры фрагментов видео

Таблица 2. Фрагменты видео, используемые при тестировании

Формат	Фрагменты	Скорость потока <i>y4m</i> (Кбит/с)	Таблица
720p 50 fps	<i>park_joy, old_town_cross, mob_cam, in_to_tree</i>	540002	3
576p 60 fps	<i>soccer, harbour, city</i>	285123	4
576p 30 fps	<i>soccer, city</i>	142561	
288p 30 fps	<i>soccer, harbour, highway</i>	35641	5
288p 15 fps	<i>soccer, city</i>	17821	
144p 15 fps	<i>soccer, city</i>	4456	

Тестирование скорости видеопотока

Табл. 3–5 содержат усредненные результаты тестирования сжатия фрагментов видео для некоторых форматов видео. Табл. 2 содержит соответствующие номера таблиц с результатами тестирования форматам видео, используемым фрагментам видео и скорости исходного видеопотока.

При тестировании для *H.264* использовалась библиотека *x264*. По результатам анализа результатов

тестирования, приведенных в таблицах, следует, что видекодеки стандарта *MPEG-4 Part 2 / H.263 (ASP)* не обеспечивают требуемой скорости видеопотока при низких значениях скоростей и высоком качестве исходных фрагментов видео. Видекодеки стандартов *H.264* и *H.265* обеспечивают требуемые скорости потока для всех тестируемых значений скоростей и качества видео.

Таблица 3. Тестирование скорости для видео 720p 50 fps

Требуемая скорость	Реальная скорость					
	avi	mp4	263p	264 base	264 main	265
40000	39997	39090	39072	39168	38952	39311
14000	14930	13744	13758	13770	13675	13677
10000	10916	9864	9872	9830	9771	9765
4000	4607	4289	4579	3946	3933	3944
2000	2836	2981	3429	1973	1969	1984
1200	2454	2804	3424	1182	1177	1193
800	2394	2798	3408	787	782	798
400	2373	2703	3305	399	391	400
200	2679	2364	3296	205	199	184
128				155	128	105
64				111	72	70

Таблица 4. Тестирование скорости для видео 576p 30 fps

Требуемая скорость	Реальная скорость					
	avi	mp4	263p	264 base	264 main	265
40000	15011	14271	15663	40051	40045	40716
14000	12717	13120	13587	13922	13957	14019
10000	9658	9817	9803	9960	9976	10028
4000	4222	3989	3970	3961	3955	3982
2000	2261	2050	2033	1966	1966	1968
1200	1442	1276	1373	1176	1177	1182
800	1010	925	1209	783	783	790
400	683	886	1208	386	386	393
200	867	647	1176	190	190	195
128				123	123	123
64				76	66	58

Таблица 5. Тестирование скорости для видео 288p 30 fps

Требуемая скорость	Реальная скорость					
	avi	mp4	263p	264 base	264 main	265
40000	4934	4766	5126	17637	16042	15131
14000	4901	4766	5126	13716	13519	13393
10000	4844	4766	5126	9820	9757	9838
4000	3616	3671	3750	3902	3893	3945
2000	2038	2041	2037	1946	1939	1964
1200	1287	1271	1269	1166	1160	1173
800	901	887	889	777	772	783
400	495	503	514	386	383	390
200	335	282	384	191	190	194
128				121	121	125
64				59	63	62

Сравнение субъективного качества

Для субъективной оценки качества сжатия кодеками стандартов *H.264* и *H.265* приведем примеры результатов сжатия кадров записей видео.

Рис. 2 содержит результаты сравнения сжатия фрагмента *soccer* (576p 30 fps) для скоростей видеопотока 64, 128, 200 Кбит/с.

По результатам сравнения видеокодеков *x265* и *x264* следует, что кодек *x265* показывает лучшее субъективное качество видео при той же скорости видеопотока, чем *x264*. Приведен результат только для основного профиля, т. к. субъективно качество сжатия в основном и базовом профилях отличаются незначительно.

Тестирование влияния ошибок при передаче видео

Для тестирования влияния ошибок при передаче видео на качество воспроизведения видео было промоделировано возникновение ошибок при передаче данных. Ошибки моделировались путем искажения битов файла сжатого видео через случайные промежуточные битовые потоки.

Рис. 3, а приводит результаты сравнения влияния ошибок для видеокодеков *x265* и *x264* (*base*, *main*) для фрагмента *soccer* (288p 30 fps), сжатого на битовой скорости 2000 Кбит/с со средним периодом ошибок 20000 Кбайт.

Рис. 3, б приводит результаты сравнения влияния ошибок для профилей справочного видеокодека *JM* стандарта *H.264* (*base*, *main*, *extended*) для фрагмента *soccer* (288p 30 fps), сжатого на битовой скорости 1200 Кбит/с со средним периодом ошибок 20000 Кбайт.

Субъективная оценка результатов воспроизведения видео с ошибками показала, что видеокодек *x264* более устойчив к ошибкам, чем *x265*. Тестирование показывает, что среди профилей стандарта *H.264* наиболее устойчивым к ошибкам является расширенный профиль (результаты для кодека *JM*), что подтверждает назначение данного профиля для устойчивого воспроизведения видео в условиях искажения видеопотока в канале связи. Оценка восстановления приема после кратковременного разрыва канала связи не проводилась.

Сравнение скорости кодирования видео

При тестировании видеокодеков *x264* и *x265* использовались одинаковые настройки операций, ускоряющих работу (*using cpu capabilities: MMX2 SSE2Fast LZCNT*). Тестирование выполнялось на компьютере с процессором *AMD A8 3700+*.

Табл. 6 показывает значительный выигрыш в скорости базового и основного профилей кодека *x264* относительно *x265*. Тестирование скорости работы выполнено для изображений формата 720p 50 fps.

Таблица 6. Сравнение скорости работы кодеков

Скорость видеопотока (Кбит/с)	Скорость сжатия (fps)			Отношение к <i>x265</i>	
	<i>x264 base</i>	<i>x264 main</i>	<i>x265</i>	<i>x264 base</i>	<i>x264 main</i>
40000	11,86	12,25	1,29	9,19	9,50
14000	16,22	15,80	1,35	12,01	11,70
10000	17,68	16,81	1,61	10,98	10,44
4000	24,07	20,78	1,86	12,94	11,17
2000	31,86	25,11	2,05	15,54	12,25
1200	39,76	28,83	2,20	18,07	13,10
800	46,76	31,98	2,34	19,98	13,67
400	61,50	40,26	2,61	23,56	15,43
200	76,35	47,90	2,74	27,86	17,48



a) x265

б) x264 main

Рис. 2. Сравнение качества сжатия фрагмента soccer



x265



JM base



x264 base



JM main



x264 main



JM extended

a) x265 и x264

б) профили JM

Рис. 3. Сравнение влияние ошибок при сжатии фрагмента soccer

Выводы:

1. Стандарт *MPEG-4 Part 2 / H.263* не обеспечивает требуемых битовых скоростей видеопотока при низких значениях скоростей и высоком разрешении видео.

2. Стандарт *MPEG-4 Part 10 / H.264* показал субъективное качество хуже, чем стандарт *MPEG-H Part 2 / H.265* при той же битовой скорости видеопотока.

3. При моделировании появления ошибок в канале связи при передаче видеопотока показано, что *MPEG-4 Part 10 / H.264* субъективное качество лучше, чем *MPEG-H Part 2 / H.265*, особенно при использовании расширенного профиля.

4. В целом, без учета времени восстановления приема при пропадании канала связи, наиболее эффективным оказывается применение в специальных системах связи стандарта *H.264* с использованием расширенного профиля.

Библиографические ссылки

1. *Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В.* Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. – М.: Диалог-МИФИ, 2003. – 384 с.

2. *Сергеенко В. С., Баринов В. В.* Сжатие данных, речи, звука и изображений в телекоммуникационных системах. – М.: ИП «Радиософт», 2011. – 360 с.

3. *Ричардсон Я.* Видеокодирование. *H.264* и *MPEG-4* – стандарты нового поколения. – М.: Техносфера, 2005. – 368 с.

4. *Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В.* Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. 384 с.

5. *Сергеенко В. С., Баринов В. В.* Сжатие данных, речи, звука и изображений в телекоммуникационных системах. 360 с.

6. Рекомендация МСЭ-Т *H.264*: Улучшенное кодирование видеосигнала для основополагающих аудиовизуальных услуг // Международный союз электросвязи: Сектор стандартизации электросвязи, 2003. – 282 с.

7. Сайт видеокодека *Xiph*. – URL: media.xiph.org/video/derf/y4m.

8. Википедия. – URL: <http://ru.wikipedia.org>.

9. Сайт видеокодека *Xiph*. – URL: media.xiph.org/video/derf/y4m.

Korobeynikov A. V., PhD in Engineering, Kalashnikov ISTU;

Boyarshinov M. A., Kalashnikov ISTU;

Khvorenkov V. V., DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU;

Smirnov V. S., Post-graduate, Kalashnikov ISTU;

Baturin A. V., Kalashnikov ISTU

Videocodecs testing of standards H.263, H.264, H.265

The article compares the video codec standards H.263, H.264, H.265 with regard to the possibility of their application in low-speed channels with a large number of errors. Description is provided for standards and video codecs testing results on different video fragments, including the errors simulation mode in the communication channel. The compressed video quality and the codecs sustainability to errors are compared.

Keywords: video compression standards, videocodecs, H.263, H.264, H.265.

Получено: 28.04.15