

УДК 004.62

О.Г. Пономарев, С.Е. Стрельников, М.П. Шарабайко

Выбор инструментов кодирования стандарта H.265/HEVC для аппаратной реализации системы сжатия ключевых видеок кадров

Приведены результаты экспериментов по сжатию цифровых видеопоследовательностей системой видеок кодирования, основанной на стандарте H.265/HEVC, при различных ограничениях набора инструментов кодирования ключевых кадров. Анализ полученных результатов позволил выбрать сокращенный набор инструментов для снижения вычислительной сложности и энергопотребления аппаратной реализации H.265/HEVC кодера.

Ключевые слова: стандарт H.265/HEVC, пространственное предсказание, STU, сжатие ключевых кадров.

Принятие в 2013 г. нового стандарта видеок кодирования H.265/HEVC [1], потенциально обеспечивающего существенное повышение степени сжатия видеоданных по сравнению со стандартами предыдущего поколения, поставило на повестку дня вопрос о разработке высокопроизводительных аппаратных систем видеосжатия, основанных на новом стандарте. Повышение степени сжатия видеоданных в рамках нового стандарта обеспечивается введением широкого набора новых методов и алгоритмов видеопработки. Необходимо заметить, что стандарт определяет только структуру битового потока, получаемого в результате кодирования, не регламентируя при этом, какие именно из доступных алгоритмов с какими параметрами должны быть использованы в процессе сжатия видеопформации. В литературе (например, [2, 3, 5]) для краткого обозначения каждого отдельного алгоритма обработки данных с определенным набором параметров используется термин «инструмент кодирования» (от англ. Coding Tool).

С одной стороны, очевидно, что простой перебор всех возможных комбинаций алгоритмов видеосжатия и их параметров гарантирует выбор того набора инструментов кодирования, который обеспечит максимальную эффективность сжатия для каждого видеок кадра. Именно такой подход реализован в базовой программной реализации системы видеок кодирования [5], представленной разработчиками нового стандарта. С другой стороны, такой подход крайне затратен с точки зрения вычислительных ресурсов при аппаратной реализации системы видеок кодирования. Перебор различных комбинаций инструментов кодирования при их большом количестве крайне усложняет архитектуру разрабатываемого устройства, что в свою очередь приводит к снижению его производительности и повышению энергопотребления. Таким образом, первым шагом при аппаратной реализации системы видеок кодирования, например при разработке алгоритмов видеосжатия для микросхемы типа FPGA, является выбор ограниченного набора инструментов кодирования, обеспечивающего компромисс между высокой степенью сжатия видеоданных и сложностью аппаратной реализации системы.

Алгоритмы HEVC ориентированы на поблочную обработку видеок кадров, устраняющую пространственную или временную избыточность видеопформации. При пространственной обработке используется предсказание значений пикселей изображения в текущем блоке по значениям пикселей соседних блоков видеок кадра. При устранении временной избыточности для предсказания используются участки изображений с ранее закодированных кадров. Видеок кадры, кодируемые с использованием только пространственного предсказания, могут служить основой для выполнения временно го предсказания при кодировании видеоизображений, следующих за ними в видеопоследовательности. Такие кадры в HEVC называют ключевыми.

По результатам, представленным в [2, 3], полный перебор всех инструментов кодирования, предоставляемых разработчику кодирующей системы в рамках стандарта H.265/HEVC, обеспечивает максимальную степень сжатия цифровых видеоданных, превышающую степень сжатия, достижимую в рамках стандарта предыдущего поколения H.264/AVC, в среднем на 40–50%. Представляется разумным, при выборе ограниченного набора инструментов кодирования для аппаратной реализа-

ции, ограничить снижение степени сжатия данных уровнем в 20–25%. В результате разрабатываемая система будет обеспечивать степень сжатия, большую по сравнению с обеспечиваемой любыми системами, построенными на стандартах предыдущего поколения.

Задачей настоящего исследования является экспериментальная оценка эффективности использования в кодирующей системе стандарта H.265/HEVC различных инструментов кодирования ключевых кадров и выбор на этой основе минимального набора таких средств, обеспечивающего снижение степени сжатия видеоданных не более чем на 20–25%.

Результаты исследования представлены в следующем порядке. Дается краткий обзор инструментов кодирования ключевых видеокадров стандарта H.265/HEVC. Далее приведено описание методики экспериментов по кодированию видеопоследовательностей, представлены результаты экспериментов. В заключительной части проведен анализ экспериментальных результатов, выделен набор инструментов для аппаратной реализации системы кодирования ключевых видеокадров.

Инструменты кодирования ключевых кадров. Процесс кодирования видеоизображения в HEVC, соответствующий спецификации стандарта [1], иллюстрируется на рис. 1. Он начинается с разбиения кодируемого кадра на квадратные неперекрывающиеся области – наибольшие блоки кодирования LCU (англ. Largest Coding Unit). Размер LCU задается в настройках кодирующей системы и может принимать значения 8, 16, 32 и 64. Каждый LCU в зависимости от характера изображения внутри блока может быть разбит на 4 квадратных блока (Coding Unit, CU) со сторонами вдвое меньшего размера. Каждый из CU, в свою очередь, также может быть подвергнут разбиению. В целом структура разбиений образует квадродерево блоков кодирования, обозначаемое как CTU (англ. Coding Tree Unit). Корнем каждого квадродерева является LCU. Максимально возможная глубина CTU задается в настройках кодирующей системы. Минимальный размер CU при этом ограничен в стандарте размером 8×8 пикселей. CU нижнего уровня квадродерева содержит два типа блоков: блок предсказания PU (от англ. Prediction Unit) и блок преобразования TU (от англ. Transform Unit).

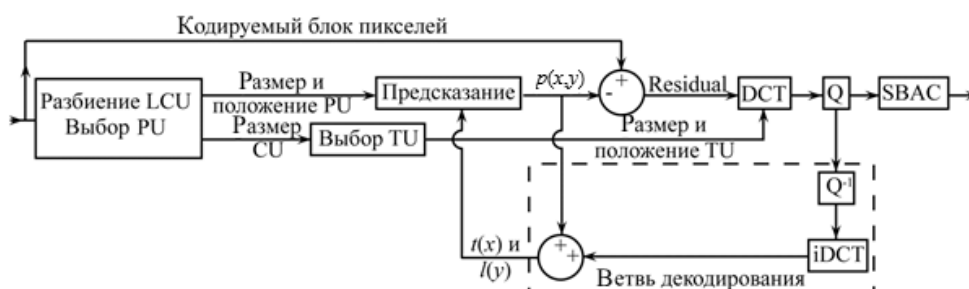


Рис. 1. Упрощенная схема HEVC кодера ключевых кадров

На следующем этапе кодирования ключевых кадров выполняется пространственное предсказание. Структура данных PU определяет положение (внутри CU) и размер области изображения, для которой при кодировании будет выполняться предсказание. При Intra-кодировании возможны два варианта размера PU. В первом варианте PU совпадает по размеру с CU. Во втором – CU разделен пополам по горизонтали и вертикали на 4 квадратных PU вдвое меньшего размера. Размер PU в стандарте ограничен значениями от 4×4 до 64×64 пикселя.

При пространственном предсказании значения пикселей $p(x,y)$, $x=0,1,\dots,N-1$, $y=0,1,\dots,N-1$ текущего блока, используемые в качестве предсказанных значений, рассчитываются по значениям $t(x)$ или $l(y)$ восстановленных пикселей соседних блоков, расположенных слева и сверху от текущего (рис. 2). В стандарте [1] определено 35 различных способов расчета, называемых режимами предсказания, значений $p(x,y)$.

Каждый из доступных режимов однозначно идентифицируется своим номером $dirMode$, лежащим в диапазоне от 0 до 34.

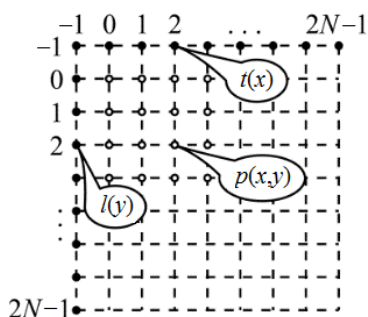


Рис. 2. Обозначения, используемые при описании режимов Intra-предсказания

Значение $dirMode = 0$ задает так называемый DC-режим. Все значения $p(x,y)$ в этом случае равны DC-значению, вычисляемому как среднее арифметическое пикселей-соседей. Левый столбец и верхняя строка массива $p(x,y)$ подвергаются дополнительной фильтрации [7], обеспечивающей плавный переход от значений пикселей-соседей к DC-значению внутри блока.

В режиме Planar, $dirMode = 1$ значения $p(x,y)$ рассчитываются как среднее арифметическое двух значений $h(x,y)$ и $v(x,y)$, получаемых в результате линейной интерполяции в горизонтальном и вертикальном направлениях соответственно. Процесс интерполяции иллюстрируется на рис. 3. При вычислении $h(x,y)$ интерполяция в горизонтальном направлении производится между значением $l(y)$ и значением $t(N-1)$. Значение $v(x,y)$ получается в результате интерполяции между значением $t(x)$ и значением $t(N-1)$.

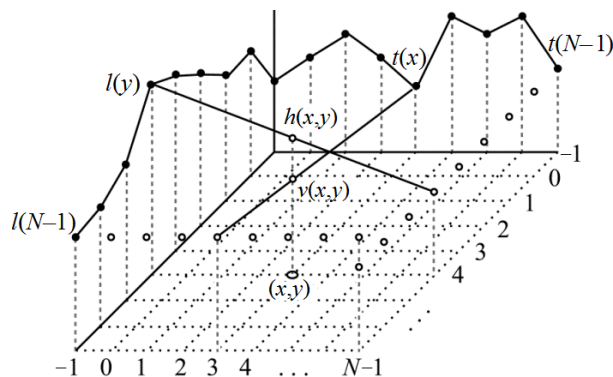


Рис. 3. Значения $h(x,y)$ и $v(x,y)$ вычисляются путем линейной интерполяции

При остальных значениях $dirMode=2,...,34$ выполняется так называемое угловое предсказание. При угловом предсказании значения пикселей-соседей $t(x)$ и $l(y)$, называемых референсными, расставляются внутри текущего блока в заданном направлении, определяемом номером режима (рис. 4). Если позиция (x,y) текущего пикселя попадает при этом между положением референсных пикселей, то в качестве предсказания $p(x,y)$ используется интерполированное значение. Это значение вычисляется путем линейной интерполяции с точностью в $1/32$ отсчета. Отметим здесь, что угловые режимы с номерами 2, 10, 18, 26, 34 существенно отличаются от остальных по вычислительной сложности, так как ни для одного предсказываемого значения не требуется проведения процедуры интерполяции.

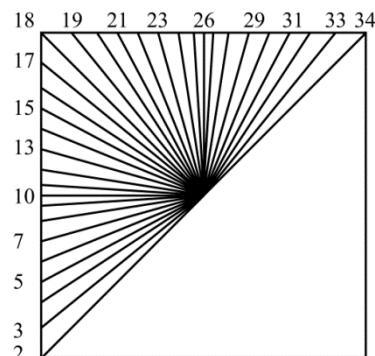


Рис. 4. Направления угловых предсказаний и соответствующие значения номера режима

На следующем этапе кодирования вычисляются значения разностного сигнала (*Residuals*) путем вычитания предсказанных значений из оригинальных. Этот сигнал подвергается двумерному косинус-преобразованию Фурье (блок DCT на рис. 1). Информация о положении (внутри CU) и размере блока, подвергающегося преобразованию, содержится в структуре TU. Размер TU ограничен сверху размером CU и может принимать значения 4×4 , 8×8 , 16×16 , 32×32 . Полученные в результате преобразования спектральные коэффициенты квантуются по уровню (блок Q на рис. 1). На заключительном этапе кодирования значения квантованных спектральных отсчетов совместно с информацией о структуре разбиений LCU, выборе размера PU, режиме пространственного предсказания, размере и положении TU подвергаются энтропийному кодированию в блоке, обозначенном на рис. 1 как SBAC (Syntax-based context-adaptive Binary Arithmetic Coding).

Нижняя ветвь обработки сигнала, выделенная на рис. 1 пунктирной линией и содержащая блоки деквантования (Q^{-1}) и обратного косинус-преобразования Фурье (iDCT), выполняет декодирование отсчетов изображения. Результатом декодирования являются референсные отсчеты $t(x)$ и $l(y)$, используемые при пространственном предсказании.

Рассмотренная упрощенная схема процесса видеокodирования в HEVC позволяет перечислить основные инструменты кодирования ключевых кадров. Это, прежде всего, адаптивное, т.е. подстраиваемое под характер видеоизображения разбиение LCU на CU и, как следствие, переменный размер PU. Каждый из возможных размеров PU (4×4 , 8×8 , 16×16 , 32×32 , 64×64) в сочетании с каждым из возможных режимов пространственного предсказания является отдельным инструментом

кодирования. В качестве второго набора инструментов укажем возможность подбирать размер TU под характер полученного в результате предсказания разностного сигнала, что позволяет наиболее компактно представить сигнал *Residuals* в спектральной области. Каждый из возможных вариантов размера TU (4×4, 8×8, 16×16, 32×32) является отдельным инструментом видеокodирования. При кодировании каждой LCU в базовой версии кодирующей системы производится перебор всех возможных вариантов разбиения LCU на PU, перебираются все 35 режимов предсказания для каждого варианта разбиений, производится выбор между всеми возможными вариантами TU. Такой перебор гарантированно обеспечивает выбор наилучшего набора инструментов кодирования для каждой LCU, что и обеспечивает максимальную степень сжатия видеоданных. С другой стороны, использование при кодировании всех возможных вариантов размеров PU делает необходимым выполнить пространственное предсказание для 341 блока, из которых может строиться разбиение каждой LCU размером 64×64 пикселя. Использование при этом для каждого такого блока 35 режимов предсказания приводит к необходимости выполнить 341×35=11935 предсказаний для каждого блока видеокadра размером 64×64 пикселя. Для каждого выбранного режима предсказания и размера PU необходимо подобрать размеры блоков TU, что многократно увеличивает количество перебираемых сочетаний инструментов кодирования.

При создании аппаратной системы видеокodирования каждый вариант размера PU приводит к необходимости включения в состав системы отдельного вычислителя, осуществляющего предсказание. В каждом таком вычислителе должны быть реализованы все 35 режимов предсказания. То же касается и различных размеров TU, приводящих к необходимости реализации блоков, выполняющих двумерное косинус-преобразование Фурье над массивами данных разных размеров. Наконец, аппаратная реализация управляющей системы, обеспечивающей выбор из десятков тысяч вариантов кодирования одного лучшего варианта, требует задействования огромного количества логических элементов микросхемы, т.е. существенно сказывается на ресурсоемкости системы кодирования. В результате можно говорить о том, что включение в кодирующую систему каждого нового инструмента кодирования приводит, с одной стороны, к повышению степени сжатия видеоданных, а с другой – к существенному росту ресурсоемкости аппаратной реализации такой системы.

Результаты экспериментов. В табл. 1, 2 представлены результаты экспериментальных исследований по кодированию шести тестовых видеопоследовательностей комитета JCT-VC [4] высокого разрешения (1920×1080), в которых изменением настроек кодирующей системы и изменением исходных кодов программы последовательно отключались перечисленные выше инструменты кодирования. Для кодирования использовалась тестовая программная модель HEVC кодирующей системы HM v.11.0 [5]. В этой модели реализован полный перебор всех возможных вариантов кодирования, т.е. перебираются все возможные комбинации доступных инструментов кодирования. Это обеспечивает наилучший с точки зрения качества и степени сжатия данных результат. Результаты экспериментов представлены в терминах метрик Бьентегарда [6]: BD-RATE (англ. Bjontegaard Delta Rate) и BD_PSNR (англ. Bjontegaard Delta Peak Signal to Noise Ratio).

Таблица 1

Значения метрик Бьентегарда при ограничении размеров PU

Видеопоследовательность	CU: 32–8 PU: 32–4 TU: 32–4 PM: 35	CU: 16–8 PU: 16–4 TU: 16–4 PM: 35	CU: 8–8 PU: 8–4 TU: 8–4 PM: 35	CU: 16–16 PU: 16–16 TU: 16–16 PM: 35	CU: 8–8 PU: 8–8 TU: 8–8 PM: 35	CU: 8–8 PU: 4–4 TU: 4–4 PM: 35
BasketballDrive	1,17% –0,04 дБ	7,67% –0,24 дБ	30,64% –1,01 дБ	18,11% –0,54 дБ	32,13% –0,99 дБ	145,59% –7,45 дБ
BQTerrace	0,92% –0,07 дБ	4,80% –0,22 дБ	12,47% –0,56 дБ	25,35% –1,49 дБ	21,47% –0,92 дБ	30,48% –2,16 дБ
Cactus	0,87% –0,05 дБ	1,72% –0,16 дБ	10,73% –0,48 дБ	22,30% –0,81 дБ	15,38% –0,66 дБ	61,65% –2,56 дБ
Kimono1	7,10% –0,22 дБ	9,22% –0,31 дБ	32,46% –0,98 дБ	10,03% –0,33 дБ	32,28% –0,96 дБ	154,25% –5,99 дБ
ParkScene	0,71% –0,05 дБ	5,98% –0,22 дБ	9,24% –0,43 дБ	13,04% –0,52 дБ	12,37% –0,53 дБ	63,87% –2,37 дБ
Tennis	5,92% –0,12 дБ	11,98% –0,47 дБ	40,41% –1,06 дБ	19,58% –0,52 дБ	40,91% –1,05 дБ	212,94% –7,02 дБ

Величина BD-RATE измеряется в процентах и характеризует среднее изменение битовой скорости (количества бит в секунду) на выходе кодирующей системы, получаемое при отключении того или иного инструмента. Положительные значения BD-RATE означают рост битовой скорости и эквивалентны снижению на ту же величину степени сжатия видеоданных. Величина BD-PSNR измеряется в децибелах и характеризует среднее изменение уровня искажений (шумов), вносимых в видеоизображение на этапе квантования спектральных коэффициентов при кодировании. Положительные значения BD-PSNR означают снижение уровня шумов квантования, отрицательные – повышение. Каждая строка в таблицах представляет результаты, полученные при кодировании одной из шести видеопоследовательностей. Название последовательности является заголовком каждой строки. Сверху в ячейках указано значение BD-RATE, снизу – значение BD-PSNR. В заголовке каждого столбца приведены разрешенные при кодировании диапазоны размеров CU, PU, TU и количество режимов предсказания (последнее помечено как PM от англ. Prediction Modes). Значения метрик Бьентегарда рассчитывались относительно результатов кодирования видеопоследовательностей при полном наборе инструментов кодирования (CU: 64–8, PU: 32–4, TU: 32–4, PM: 35).

В табл. 1 приведены результаты кодирования при ограничении размеров PU. Кроме того, в этих экспериментах было запрещено построение квадродерева TU, так что размер TU был всегда равен размеру PU. Отмена последнего запрета, т.е. разрешение построения квадродерева TU, в наших экспериментах давало незначительное увеличение степени сжатия (BD-RATE не достигало –1%) при практически неизменном значении BD-PSNR.

В табл. 2 приведены результаты кодирования при ограничении максимального размера TU (первые три столбца). Последний столбец табл. 2 отражает изменение BD-RATE и BD-PSNR при ограничении набора режимов предсказания (PM: 7). В этот набор из 7 режимов мы включили режимы DC и Planar и 5 угловых режимов с номерами 2, 10, 18, 26, 34. По результатам наших экспериментов частота использования этих 7 режимов при кодировании существенно выше, чем частота использования остальных 28 угловых режимов. Кроме того, 5 угловых режимов, включенных в ограниченный набор, не используют при предсказании процедуры интерполяции и, как следствие, не требуют при аппаратной реализации создания специализированных вычислительных блоков.

Таблица 2

Значения метрик Бьентегарда при ограничении размеров TU или количества режимов предсказания

Видеопоследовательность	CU: 32–4 PU: 32–4 TU: 16–4 PM: 35	CU: 32–4 PU: 32–4 TU: 8–4 PM: 35	CU: 32–4 PU: 32–4 TU: 4–4 PM: 35	CU: 32–4 PU: 32–4 TU: 32–4 PM: 7
BasketballDrive	3,57% –0,06 дБ	9,74% –0,11 дБ	35,28% –0,91 дБ	13,66% –0,35 дБ
BQTerrace	2,38% –0,11 дБ	6,46% –0,25 дБ	17,92% –1,00 дБ	15,65% –0,43 дБ
Cactus	0,74% –0,06 дБ	4,03% –0,14 дБ	15,43% –0,27 дБ	14,79% –0,47 дБ
Kimono1	6,24% –0,20 дБ	20,13% –0,52 дБ	49,94% –0,78 дБ	5,70% –0,22 дБ
ParkScene	0,70% –0,04 дБ	3,77% –0,14 дБ	14,63% –0,40 дБ	6,22% –0,27 дБ
Tennis	5,48% –0,11 дБ	14,39% –0,26 дБ	44,94% –0,57 дБ	14,65% –0,33 дБ

Заключение. Представленные в табл. 1, 2 результаты кодирования позволяют выбрать ограниченный набор инструментов кодирования ключевых кадров для аппаратной реализации системы видеокодирования в рамках стандарта HEVC. Снижение степени сжатия, получаемое при ограничении набора инструментов кодирования, ограничим при этом уровнем 20–25%.

Из результатов в табл. 1 видно, что к незначительному снижению степени сжатия видеоданных приводит исключение при кодировании размера CU равного 64×64 (первый столбец в табл. 1). Ограничение максимального размера PU до уровня 16×16 сказывается уже существенно (второй стол-

бец в табл. 1). Наиболее простые, с точки зрения аппаратной реализации варианты, когда размеры PU могут принимать только два значения (столбец 3) или имеют фиксированное значение (столбцы с 4 по 6), приводят к неприемлемому росту значений BD-RATE, снижая степень видеокompрессии ниже принятого порогового значения 20–25%.

Результаты, приведенные в табл. 2, позволяют говорить о том, что при ограничении максимального размера TU до размера 16×16 или при исключении 28 режимов пространственного предсказания для PU всех размеров потери степени сжатия видеоданных оказываются меньше установленного порога. Одновременно эти ограничения использовать нельзя, так как в этом случае степень сжатия видеоданных может понизиться более чем на 25%. Исключение угловых режимов предсказания представляется предпочтительным.

В целом ограниченный набор инструментов кодирования для аппаратной реализации кодирующей системы выглядит следующим образом. Размер CU может варьироваться в диапазоне от 32×32 до 8×8 . Разрешенные размеры PU и TU при этом лежат в диапазоне от 32×32 до 4×4 . Для предсказания используются только 7 режимов с номерами 0, 1, 2, 10, 18, 26, 34. Такой выбор обеспечивает снижение степени сжатия видеоданных в целом не более чем на 20%. Качество декодированных видеоизображений по метрике PSNR ухудшается при этом незначительно. Снижение значения BD-PSNR в среднем составляет менее 0,5 дБ. Эффективность дополнительных средств постобработки декодированных изображений, предоставляемых стандартом H.265/HEVC для повышения значения BD-PSNR, подробно рассматривается в [7]. Результаты этих исследований показывают, что включение дополнительных инструментов постобработки в аппаратную реализацию системы кодирования ключевых кадров нецелесообразно.

Результаты исследований получены в Томском государственном университете систем управления и радиоэлектроники в рамках проекта, выполняемого по договору с ЗАО «Элеккард наноДевайсез» № 97/12 от 19 ноября 2012 г. Комплексный проект «Предоставление услуг мультимедийного вещания в сетях общего пользования Интернет, основанных на технологиях пиринговых сетей и адаптивной передачи потоков данных» выполняется в рамках Постановления Правительства России от 9 апреля 2010 г. №218 при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

Литература

1. Recommendation ITU-T H.265: High Efficiency Video coding, 2013 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.itu.int/rec/T-REC-H.265-201304-S/en> свободный (дата обращения: 24.08.2013).
2. Ohm J.-R. Comparison of the Coding Efficiency of Video Coding Standards – Including High Efficiency Video Coding (HEVC) / J.-R. Ohm, G. J. Sullivan, H. Schwarz, T. K. Tan, T. Wiegand // IEEE Transactions on Circuits and Systems for video Technology. – 2012. – Vol. 22, № 12. – P. 1669–1684.
3. Пономарев О.Г. Анализ эффективности методов и алгоритмов видеокompрессии стандарта H.265/HEVC / О.Г. Пономарев, М.П. Шарабайко, А.А. Поздняков // Электросвязь. – 2013. – № 3. – С. 29–33.
4. Bossen F. HEVC Complexity and Implementation Analysis / F. Bossen, B. Bross, K. Suhring, D. Flynn // Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions.– 2012.– Vol. 22, № 12. – P. 1685–1696.
5. HEVC Test Model HM v. 11.0 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://hevc.hhi.fraunhofer.de/svn/svn_HEVCSoftware/tags/HM-11.0/ свободный (дата обращения: 24.08.2014).
6. G. Bjøntegaard, Calculation of average PSNR differences between RD-curves, Technical Report VCEG-M33, ITU-T SG16/Q6, Austin, TX, USA, April 2001 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://wftp3.itu.int/av-arch/video-site/0104_Aus/VCEG-M33.doc/ свободный (дата обращения: 24.08.2014).
7. Elecard HEVC Analyzer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.elecard.com/en/products/professional/analysis/hevc-analyzer.html> свободный (дата обращения: 24.08.2014).
8. Пономарев О.Г. Эффективность адаптивной нелинейной постфильтрации в системе кодирования цифровых видеоданных стандарта HEVC / О.Г. Пономарев, М.П. Шарабайко // Доклады Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. – 2013. – № 3 (29). – С. 93–99.

Пономарев Олег Геннадьевич

Канд. физ.-мат. наук, доцент каф. радиофизики Национального исследовательского Томского государственного университета (НИ ТГУ), ст. науч. сотрудник лаборатории обработки и трансляции мультимедийных данных Института инноватики ТУСУРа
Тел.: 8-906-947-76-08
Эл. почта: Oleg.Ponomarev@eleccard.ru

Стрельников Сергей Евгеньевич

Аспирант каф. радиофизики НИ ТГУ
Тел.: 8-923-401-34-54
Эл. почта: strelnikov@minerva-tech.com

Шарабайко Максим Павлович

Аспирант каф. вычислительной техники Института кибернетики НИ ТГУ
Тел.: 8-953-918-11-27
Эл. почта: maxim.sharabayko@eleccard.ru

Ponomarev O.G., Strelnikov S.E., Sharabayko M.P.

The efficiency of H.265/HEVC intra coding tools with respect to the hardware encoder implementation

The paper presents experimental results on the efficiency of H.265/HEVC intra coding tools for digital video compression. Based on the research results, we reduced a set of intra coding tools to be used in a hardware implementation of H.265/HEVC video encoder, thus allowing to reduce its computational complexity and power consumption.

Keywords: Video compression standard H.265/HEVC, intra coding tools, quadtree partitioning.