

УДК 004.627

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА КОДИРОВАНИЯ ВНУТРИКАДРОВЫМ ПРЕДСКАЗАНИЕМ В СТАНДАРТЕ H.265/HEVC

Нгуен Ван Чьонг^a, А.А. Тропченко^a, Доан Тиен Бан^a

^a Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация

Адрес для переписки: zayka_98rus@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию 12.01.18, принята к печати 15.02.18

doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-2-255-261

Язык статьи – русский

Ссылка для цитирования: Нгуен Ван Чьонг, Тропченко А.А., Доан Тиен Бан. Повышение эффективности метода кодирования внутрикадровым предсказанием в стандарте H.265/HEVC // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18. № 2. С. 255–261. doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-2-255-261

Аннотация

Исследованы методы кодирования видеоданных внутрикадровым предсказанием в современном стандарте H.265/HEVC. Предложена схема быстрого принятия решения для внутрикадрового предсказания. По предлагаемой схеме сначала вычисляется сложность текстуры блока кодирования и устанавливается пороговое значение для быстрого выбора размера блока кодирования. Это позволяет уменьшить число возможных режимов предсказания. Существующий и предложенный методы кодирования протестированы на нескольких видеопоследовательностях путем моделирования в среде Visual C++. Для оценки методов использованы критерии качества видеопоследовательности (по PSNR), битрейт и время кодирования. Результаты показали, что по сравнению с эталонным программным обеспечением HEVC – HM 16.0 предлагаемая схема позволяет сократить время кодирования примерно на 13,6%, в то время как схема страдает незначительной средней потерей PSNR (0,0033 дБ). Применение предложенного подхода вместо традиционного кодирования в современном видеокодеке H.265/HEVC позволяет значительно снизить время кодирования и может быть рекомендовано для дальнейшего исследования совместной команде по видеокодированию JCT-VC (Joint Collaborative Team on Video Coding).

Ключевые слова

Стандарт H.265/HEVC, эталонное программное обеспечение HEVC, внутрикадровое предсказание, оптимизированное квантование скорости искажения, древовидная структура блоков кодирования

EFFICIENCY IMPROVEMENT OF CODING METHOD BY INTRAFRAME PREDICTION IN H.265 / HEVC STANDARD

Nguyen Van Truong^a, A.A. Tropchenko^a, Doan Tien Ban^a

^a ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation

Corresponding author: zayka_98rus@mail.ru

Article info

Received 12.01.18, accepted 15.02.18

doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-2-255-261

Article in Russian

For citation: Nguyen Van Truong, Tropchenko A.A., Doan Tien Ban. Efficiency improvement of coding method by intraframe prediction in H.265 / HEVC standard. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2018, vol. 18, no. 2, pp. 255–261 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-2-255-261

Abstract

The paper presents the study of video data encoding methods by intraframe prediction in H.265/HEVC standard. A rapid decision-making scheme for intraframe predictions is proposed. According to the proposed scheme the complexity of the texture block coding is firstly calculated and the threshold value for rapid selection of the block coding size is set. That reduces the number of possible prediction modes. The existing and proposed encoding methods were tested on several video sequences by modeling in Visual C++ environment. To evaluate the methods criteria of video sequence quality (PSNR), bitrate and encoding time were used. The results showed that compared with the reference software of HEVC – HM 16.0, the proposed scheme gives the possibility to reduce the encoding time by approximately 13.6%, while the scheme suffers from a negligible average PSNR loss (dB 0.0033). The application of the proposed approach can reduce significantly the encoding time instead of the traditional encoding in the H.265/HEVC video codec and can be recommended for the further study by the JCT-VC (Joint Collaborative Team on video Coding).

Keywords

H.265/HEVC standard, HEVC Reference software, intraframe prediction, Rate-Distortion Optimized Quantization, Coding Tree Unit

Введение

Современный стандарт видеокодирования H.265/HEVC был разработан в рамках совместной команды по видеокодированию JCT-VC. По сравнению с предыдущим стандартом H.264/AVC он продемонстрировал значительное улучшение эффективности и качества восстановленного видео при сжатии [1–4].

Для уменьшения пространственной избыточности видеокadra используется внутрикадровое кодирование. В HEVC оно заключается в использовании смежных пикселей декодированных кадров в качестве ссылок. Используемая древовидная структура блоков кодирования (Coding Tree Unit, CTU) превосходит структуру макроблоков (MB) размером 16×16 и под-MB (8×8 и 4×4) в H.264/AVC. Блок кодирования (Coding Unit, CU) размером 64×64 может быть разделен на четыре 32×32 , каждый из которых затем может быть рекурсивно разбит на основе четырех деревьев [5]. На рис. 1 приведен пример разделения CTU в HEVC. Глубина блока CU размером 64×64 равна 0. В случае если CU разделен на четыре под-CU, уровень глубины увеличивается на 1. Основная идея подобного разбиения CU заключается в кодировании CU по определенному выбору из набора моделей [6]. Блок CU 8×8 делится на единицы предсказания PU (от англ. Predicted Unit – предсказанный блок), размеры которых равны 4×4 [5].

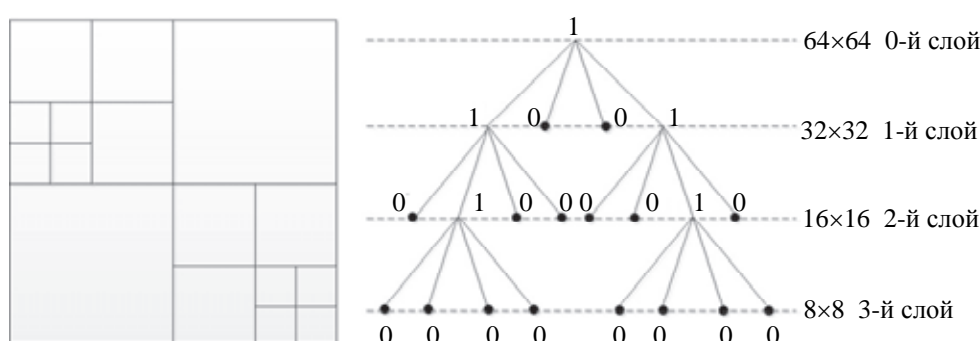


Рис. 1. Пример разделения CTU в HEVC

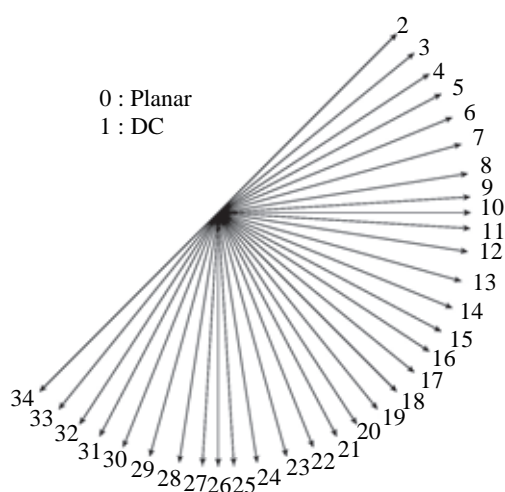


Рис. 2. Режимы внутрикадрового предсказания

Внутрикадровое кодирование в HEVC можно рассматривать как расширение H.264/AVC, поскольку оба подхода основаны на предсказании и последующем устранении пространственной избыточности. Тем не менее, в HEVC есть 35 направленных режимов внутрикадрового предсказания, где режим 0 – Planar, режим 1 – режим DC (Direct Coding), а от 2 до 34 – режимы углового предсказания с разными направлениями [5], как показано на рис. 2. Это требует значительных вычислительных затрат для рекурсивного проведения оптимизированного квантования скорости искажения (Rate-Distortion Optimized Quantization, RDOQ) для всех режимов на разных уровнях PU. В справочном программном обеспечении (ПО) HEVC принимается трехэтапный метод принятия решения [7]. Хотя данный метод позволяет получить хорошее качество восстановленного видеопотока, его вычислительная сложность слишком высока.

Обзор методов быстрого принятия решения для внутрикадрового кодирования

Для H.264/AVC в многочисленных исследовательских работах [8–13] было детально изучено быстрое принятие решения для внутрикадрового режима. Однако эти алгоритмы не могут быть непосредствен-

венно применены к HEVC из-за совершенно разных структур кодирования и режимов предсказания. По этой причине в последнее время для HEVC было предложено несколько быстрых алгоритмов принятия решения в режиме реального времени (некоторые алгоритмы разрабатываются как для внутрикадрового, так и для межкадрового предсказания). Далее кратко рассмотрим эти алгоритмы.

В работе [14] был предложен быстрый алгоритм преобразования остаточного квадродерева (Residual Quadtree Transform, RQT) для внутрикадрового и межкадрового кодирования, чтобы уменьшить сложность вычисления. Для всех случаев режимов внутрикадрового предсказания время кодирования может быть сокращено на 13%, однако BD-rate (Bjontegaard Delta Rate, метрика Бьентегарда [15]) увеличилась на 0,1%. Для случайного доступа и ограничения с низкой задержкой время кодирования сокращается на 9% с ухудшением BD-rate на 0,3%.

Авторы работы [16] предложили искать быстрый режим путем сокращения кандидатов в процессе RDO. В этом алгоритме для уменьшения количества кандидатов наиболее вероятный режим MPM (Most Probable Modes) включен для RDO. Экспериментальные результаты показали, что предлагаемая схема обеспечивает экономию времени на 14% и 20% в случаях с высокой эффективностью и низкой сложностью по сравнению со схемой кодирования по умолчанию в HM 9.0. Это привело к принятию данного алгоритма в тестовую модель HEVC.

В работе [17] авторы предлагали схему раннего завершения для ускорения принятия режима в соответствии с пространственной корреляцией между соседними CU. Этот алгоритм можно использовать также и для раннего завершения оценки движения как в межкадровом, так и во внутрикадровом предсказании.

Сравнение значений RD четырех под-CU и под-CTU, рассчитанных по значениям коэффициентов Адамара со значением RD на верхнем уровне, предложено в [18]. В эксперименте для всех доступных тестовых последовательностей, предоставляемых JCT-VC, время кодирования было сокращено на 32%, однако BD-rate увеличился на 1,1%.

Авторы работы [19] предложили быстрый метод выбора CU, который содержит два шага: сначала глубина для начала поиска определяется в соответствии с отклонением LCU (Largest Coding Unit), а затем разделение текущего CU определяется согласно значениям RD. Для внутрикадрового предсказания также предложен метод выбора быстрого режима для снижения сложности. Экспериментальные результаты показали, что предлагаемые методы сокращают время кодирования более чем на 50% при среднем увеличении BD-rate на 1,4% по сравнению с HM 12.0.

В работе [20] была предложена схема быстрого внутрикадрового кодирования, состоящая из быстрого разделения CU режима быстрого предсказания для снижения вычислительных затрат. Результаты показали, что предлагаемая схема сокращает время кодирования до 71% по сравнению с реализацией HM 13.0 и увеличивает BD-rate на 1,82%.

Существует множество других алгоритмов быстрого внутрикадрового предсказания для HEVC, однако вышеупомянутые алгоритмы, как и другие, в основном фокусируются на размере PU, выбираемом для пропуска ненужного дальнейшего процесса разделения или слияния; они не сочетают быстрые алгоритмы CU и алгоритмы, связанные с PU, для дальнейшего повышения эффективности кодирования.

Предлагаемая схема для внутрикадрового кодирования

Схема состоит из трех основных этапов. На первом этапе проводим анализ структурной характеристики CU, чтобы решить, нужно ли разделять ли текущий CU. На следующих этапах применяются предсказание с пониженной выборкой для выбора PU и раннее завершение для уменьшения режимов предсказания и ускорения внутрикадрового кодирования. Рассмотрим эти этапы более подробно.

Этап 1. Раннее завершение для CU. Когда текстура CU сложна, она разбивается на более мелкие блоки. Если же текстура CU простая, CU не делится дальше, как показано в работе [21].

На этом этапе применяется метод понижения выборки с помощью иерархического подхода (простой оператор усреднения) для снижения разрешения для текущего CU, а другие CU выполняют аналогичную операцию, как показано на рис. 3.

После снижения размерности сложность CU (C_{CU}) определяется по формуле (1), где $Y(i, j)$ – значение яркости пикселя в (i, j) в CU, а Y_m – среднее значение яркости CU:

$$C_{CU} = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N |Y(i, j) - Y_m| \quad (1)$$

В зависимости от расчета сложности текстуры устанавливаются два порога – по качеству кодирования и уменьшению смещения как Thres1 и Thres2. CU разбивается, когда сложность больше Thres1, а если сложность меньше Thres2, CU не делится дальше. Если сложность находится между уровнями Thres1 и Thres2, то работает стандартный алгоритм из эталонного ПО HM [5].

Этап 2. Поиск прогрессивного режима PU. Поиск прогрессивного режима PU выполняется нахождением решения грубого режима (Rough Mode Decision, RMD).

На этапе RMD для данного PU все 35 возможных режимов предсказания оцениваются относительно стоимости кодирования J_{RMD} . Стоимость кодирования J_{RMD} приблизительно оценивается согласно выражению (2):

$$J_{RMD} \approx J_H + \lambda \cdot b, \quad (2)$$

где J_H представляет собой сумму абсолютных значений коэффициентов Адамара для остатка PU, а λ – множитель Лагранжа, связанный с числом битов b для кодирования режима прогнозирования. Количество бит b является постоянным и равным почти для всех режимов.

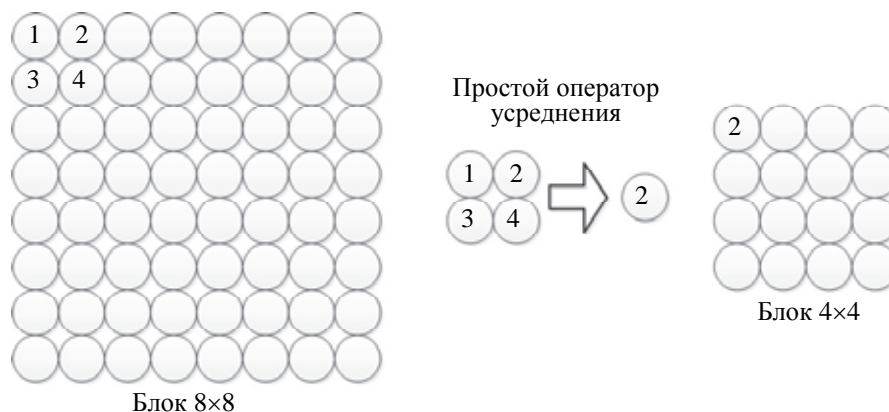


Рис. 3. Пример метода понижения выборки с помощью иерархического подхода

В HEVC определено 3 режима, для которых количество бит меньше, чем для других режимов. Эти 3 режима называются наиболее вероятными MPM [22] и выбираются для PU на основе режимов соседних PU. После этапа RMD выбирается несколько режимов с наименьшей стоимостью J_{RMD} и одним или двумя параметрами MPM. Для выбранных режимов на этапе RDO выполняются более сложные вычисления точной стоимости кодирования.

Этап 3. Раннее завершение RDOQ. На третьем этапе из результата второго этапа выбираются M режимов. Они помещаются в группу ψ , которые проходят процесс RDOQ, чтобы получить лучший режим $m_{\text{опт.}}$. Раннее завершение RDOQ предлагается для дальнейшего сокращения времени кодирования¹.

Для каждого внутрикадрового режима $m \in \psi$ вычисляется его общая стоимость $J(m)$ как комбинация стоимости SATD (Sum of the Absolute Transform Difference) и потребления битов условного режима. В пределах ψ существует режим с минимальной общей стоимостью J_{\min} , определяемый как грубый наилучший режим $m_{\text{опт.груб.}}$. Если $m_{\text{опт.груб.}}$ – режим Planar или DC, все остальные режимы в ψ пропускаются. Если $m_{\text{опт.груб.}} \neq 0$ или $m_{\text{опт.груб.}} \neq 1$ и $|m - m_{\text{опт.груб.}}| > 3$, такой режим m не используется. Также, если $J(m) > \alpha J_{\min}$, режим m не будет проверен ($\alpha = 1, 2$). Только после этой процедуры раннего завершения все остальные режимы проверяются RDOQ.

Экспериментальные результаты

Предложенная выше схема была реализована с помощью Visual C++ и протестирована на видеопоследовательностях разных типов. Предложенная схема сравнивалась со схемой, применяемой в эталонном ПО HM 16.0 (HEVC Reference Software). Эксперимент проводился на платформе Windows 10 с процессором Intel (R) Core i5-4210U CPU @ 1,70 ГГц 2,40 ГГц и 6 ГБ оперативной памяти.

В качестве тестовых используются три основных типа последовательностей: с малым количеством движущихся объектов в кадре, с их большим количеством и HD (High Definition) последовательности увеличенного разрешения (табл. 1).

Для оценки предложенного алгоритма использовались критерии качества восстановления видеопоследовательностей по PSNR и BD-PSNR (Bjontegaard Delta Peak Signal to Noise Ratio), битрейту и BD-rate, а также времени кодирования. В табл. 2 показано, что потеря BD-PSNR предложенной схемы составляет 0,0033 дБ по сравнению с существующей, применяемой в HM 16.0. А из табл. 3 видно, что среднее уменьшение BD-rate составляет 0,068%.

В табл. 4 видно, что предложенная схема сокращает время кодирования в среднем на 13,6% по сравнению с существующей в HM 16.0.

¹ ITU/ISO/IEC. HEVC software. [Online]. Available: https://hevc.hhi.fraunhofer.de/svn/svn_HEVCSoftware/tags/HM-16.0

Тип	Видеопоследовательность	Расширение	Частота кадров	Количество кадров
С малым количеством движущихся объектов в кадре	Bus_QCIF	176×144	15	30
	Football_QCIF	176×144	15	30
	Foreman_QCIF	176×144	15	30
	Ice_QCIF	176×144	15	30
	Mobile_QCIF	176×144	15	30
	City_CIF	352×288	30	30
С их большим количеством	Football_CIF	352×288	30	30
	Foreman_CIF	352×288	30	30
	Ice_CIF	352×288	30	30
	Soccer_CIF	352×288	30	30
	Crew	704×576	60	30
	Harbour	704×576	60	30
HD	Beauty	1920×1080	120	30
	Bosphorus	1920×1080	120	30
	ReadySteadyGo	1920×1080	120	30
	YachtRide	1920×1080	120	30

Таблица 1. Тестовые видеопоследовательности

Тип	Видеопоследовательность	PSNR, дБ		BD-PSNR, %
		HM 16.0	Предложенная схема	
С малым количеством движущихся объектов в кадре	Bus_QCIF	35,1618	35,1536	-0,0082
	Football_QCIF	33,9669	33,9687	0,0018
	Foreman_QCIF	37,1322	37,1527	0,0205
	Ice_QCIF	38,2524	38,2531	0,0007
	Mobile_QCIF	33,4984	33,4996	0,0012
	City_CIF	36,1379	36,1344	-0,0035
С их большим количеством	Football_CIF	35,1422	35,1321	-0,0101
	Foreman_CIF	38,6286	38,6186	-0,0100
	Ice_CIF	39,4006	39,3909	-0,0097
	Soccer_CIF	36,2800	36,2662	-0,0138
	Crew	38,7407	38,7338	-0,0069
	Harbour	36,6092	36,6079	-0,0013
HD	Beauty	38,9322	38,9302	-0,0020
	Bosphorus	40,4333	40,4315	-0,0018
	ReadySteadyGo	38,2142	38,2076	-0,0066
	YachtRide	40,0419	40,0387	-0,0032
В среднем				-0,0033

Таблица 2. Среднее значение PSNR разных типов видеопоследовательностей

Тип	Видеопоследовательность	Битрейт, кб/с		BD-rate, %
		HM 16.0	Предложенная схема	
С малым количеством движущихся объектов в кадре	Bus_QCIF	305,572	304,764	-0,264
	Football_QCIF	343,784	343,600	-0,054
	Foreman_QCIF	155,768	155,740	-0,018
	Ice_QCIF	154,628	154,284	-0,222
	Mobile_QCIF	515,628	516,176	0,106
	City_CIF	1496,384	1495,504	-0,059
С их большим количеством	Football_CIF	1975,272	1972,752	-0,128
	Foreman_CIF	758,856	758,120	-0,097
	Ice_CIF	737,920	736,552	-0,185
	Soccer_CIF	1321,208	1318,408	-0,212
	Crew	3672,864	3670,384	-0,068
	Harbour	11392,672	11400,288	0,067
HD	Beauty	11839,456	11845,760	0,053
	Bosphorus	29163,040	29176,576	0,046
	ReadySteadyGo	60868,192	60830,528	-0,062
	YachtRide	38107,616	38108,672	0,003
В среднем				-0,068

Таблица 3. Битрейт разных типов видеопоследовательностей

Тип	Видеопоследовательность	Среднее время кодирования, с		Δ_t , %
		HM 16.0	Предложенная схема	
С малым количеством движущихся объектов в кадре	Bus_QCIF	50,393	44,276	-12,139
	Football_QCIF	52,950	47,501	-10,291
	Foreman_QCIF	44,948	38,923	-13,404
	Ice_QCIF	47,017	35,784	-23,891
	Mobile_QCIF	59,036	61,214	3,689
	City_CIF	206,423	179,935	-12,832
С их большим количеством	Football_CIF	202,819	184,773	-8,898
	Foreman_CIF	172,950	154,664	-10,573
	Ice_CIF	158,221	146,611	-7,338
	Soccer_CIF	196,683	161,962	-17,653
	Crew	720,624	610,191	-15,325
	Harbour	899,488	800,702	-10,982
HD	Beauty	3385,984	2345,567	-30,727
	Bosphorus	3469,184	2769,222	-20,177
	ReadySteadyGo	4107,498	3415,530	-16,846
	YachtRide	3516,496	3132,940	-10,907
В среднем				-13,643

Таблица 4. Среднее время для кодирования разных типов видеопоследовательностей

Заключение

В данной работе предложена новая схема внутрикадрового кодирования HEVC кодека, включающая в себя 3 этапа (раннее завершение для CU, PU и RDOQ). Схема протестирована на видеопоследовательностях разных типов. Экспериментальные результаты показали, что вычислительная сложность кодирования может быть уменьшена в среднем на 13,6% по сравнению с программным обеспечением HM 16.0 при сопоставлении качества видеопоследовательности. Предлагаемая схема доказала, что он может обеспечить хорошую производительность.

Литература

1. Wiegand T., Sullivan G.J., Bjontegaard G., Luthra A. Overview of the H.264/AVC video coding standard // *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*. 2003. V. 13. N 7. P. 560–576. doi: 10.1109/TCSVT.2003.815165
2. Sullivan G.J., Ohm J.-R., Han W.-J., Wiegand T. Overview of the high efficiency video coding (HEVC) standard // *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*. 2012. V. 22. N 12. P. 1649–1668. doi: 10.1109/TCSVT.2012.2221191
3. Ohm J.-R., Sullivan G.J., Schwarz H., Tan T.K., Wiegand T. Comparison of the coding efficiency of video coding standards-including High Efficiency Video Coding (HEVC) // *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*. 2012. V. 22. N 12. P. 1669–1684. doi: 10.1109/TCSVT.2012.2221192
4. Нгуен В.Ч. Анализ методов и алгоритмов кодирования в современном гибридном видеокодеке H.265/HEVC // Сборник трудов VI Всероссийского конгресса молодых ученых. СПб., 2017. С. 151–153.
5. Lainema J., Bossen F., Han W.-J., Min J., Ugur K. Intra coding of the HEVC standard // *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*. 2012. V. 22. N 12. P. 1792–1801. doi: 10.1109/TCSVT.2012.2221525
6. Helle P., Oudin S., Bross B., Marpe P. et al. Block merging for quadtree-based partitioning in HEVC // *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*. 2012. V. 22. N 12. P. 1720–1731. doi: 10.1109/TCSVT.2012.2223051
7. Piao Y., Min J., Chen J. Encoder improvement of unified intra prediction // *JCT-VC, C207*. Guangzhou, CN, 2010.
8. Pan F., Lin X., Rahardja S., Lim K., Li Z., Wu D. et al. Fast mode decision algorithm for intraprediction in H.264/AVC video coding // *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*. 2005. V. 15. N 7. P. 813–822. doi: 10.1109/TCSVT.2005.848356
9. Tsai A.-C., Wang J.-F., Yang J.-F., Lin W.-G. Effective subblock based and pixel-based fast direction detections for H.264 intra prediction // *IEEE Transactions on Circuits and*

References

1. Wiegand T., Sullivan G.J., Bjontegaard G., Luthra A. Overview of the H.264/AVC video coding standard. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2003, vol. 13, no. 7, pp. 560–576. doi: 10.1109/TCSVT.2003.815165
2. Sullivan G.J., Ohm J.-R., Han W.-J., Wiegand T. Overview of the high efficiency video coding (HEVC) standard. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2012, vol. 22, no. 12, pp. 1649–1668. doi: 10.1109/TCSVT.2012.2221191
3. Ohm J.-R., Sullivan G.J., Schwarz H., Tan T.K., Wiegand T. Comparison of the coding efficiency of video coding standards-including High Efficiency Video Coding (HEVC). *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2012, vol. 22, no. 12, pp. 1669–1684. doi: 10.1109/TCSVT.2012.2221192
4. Nguyen V.T. Analysis of coding methods and algorithms in H.265/HEVC modern hybrid video codec. *Proc. 6th All-Russian Congress of Young Scientists*. St. Petersburg, Russia, 2017, pp. 151–153. (In Russian)
5. Lainema J., Bossen F., Han W.-J., Min J., Ugur K. Intra coding of the HEVC standard. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2012, vol. 22, no. 12, pp. 1792–1801. doi: 10.1109/TCSVT.2012.2221525
6. Helle P., Oudin S., Bross B., Marpe P. et al. Block merging for quadtree-based partitioning in HEVC. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2012, vol. 22, no. 12, pp. 1720–1731. doi: 10.1109/TCSVT.2012.2223051
7. Piao Y., Min J., Chen J. Encoder improvement of unified intra prediction. *JCT-VC, C207*. Guangzhou, CN, 2010.
8. Pan F., Lin X., Rahardja S., Lim K., Li Z., Wu D. et al. Fast mode decision algorithm for intraprediction in H.264/AVC video coding. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2005, vol. 15, no. 7, pp. 813–822. doi: 10.1109/TCSVT.2005.848356
9. Tsai A.-C., Wang J.-F., Yang J.-F., Lin W.-G. Effective subblock based and pixel-based fast direction detections for

- Systems for Video Technology. 2008. V. 18. N 7. P. 975–982. doi: 10.1109/TCSVT.2008.920742
10. Huang Y.-H., Ou T.-S., Chen H. Fast decision of block size, prediction mode, and intra block for H.264 intra prediction // *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*. 2010. V. 20. N 8. P. 1122–1132. doi: 10.1109/TCSVT.2010.2057018
 11. Bharanitharan K., Liu B.-D., Yang J.-F., Tsai W.-C. A low complexity detection of discrete cross differences for fast H.264/AVC intra prediction // *IEEE Transactions on Multimedia*. 2008. V. 10. N 7. P. 1250–1260. doi: 10.1109/TMM.2008.2004904
 12. Tsai A.-C., Paul A., Wang J.-C., Wang J.-F. Intensity gradient technique for efficient intra-prediction in H.264/AVC // *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*. 2008. V. 18. N 5. P. 694–698. doi: 10.1109/TCSVT.2008.919113
 13. Zeng H., Ma K.-K., Cai C. Hierarchical intra mode decision for H.264/AVC // *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*. 2010. V. 20. N 6. P. 907–912. doi: 10.1109/TCSVT.2010.2045802
 14. Tan Y.H., Yeo C., Tan H.L., Li Z.G. On residual quad-tree coding in HEV // *Proc. IEEE 13th Int. Workshop on Multimedia Signal Processing*. Hangzhou, 2011. 4 p. doi: 10.1109/MMSP.2011.6093805
 15. Bjontegaard G. Calculation of average PSNR differences between RD-curves. Technical Report VCEG-M33 – ITU-T SG16/Q6. Austin, USA, 2001 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://wftp3.itu.int/av-arch/video-site/0104_Aus/VCEG-M33.doc свободный (дата обращения: 20.12.2017).
 16. Zhao L., Zhang L., Ma S., Zhao D., Gao W. Further encoder improvement of intra mode decision. *JCTVC-D283*. Daegu, KR, 2011.
 17. Shen L., Liu Z., Zhang X., Zhao W., Zhang Z. An effective CU size decision method for HEVC encoders // *IEEE Transactions on Multimedia*. 2013. V. 15. N 2. P. 465–470. doi: 10.1109/TCSVT.2010.2045802
 18. Zhang H., Ma Z. Early termination schemes for fast intra prediction in high-efficiency video coding // *Proc. IEEE International Symposium on Circuits and Systems*. 2013. P. 45–48. doi: 10.1109/ISCAS.2013.6571778
 19. Tseng C.-F., Lai Y.-T. Fast coding unit decision and mode selection for intra-frame coding in high-efficiency video coding // *IET Image Processing*. 2016. V. 10. N 3. P. 215–221. doi: 10.1049/iet-ipr.2015.0154
 20. Xin L., Xiao N., Martin G., Hu Y., Jin X. Fast intra coding implementation for high efficiency video coding (HEVC) // *Proc. Data Compression Conference*. Snowbird, USA, 2017. P. 201–210. doi: 10.1109/DCC.2017.4
 21. Tian G., Goto S. Content adaptive prediction unit size decision algorithm for HEVC intra coding // *Proc. Picture Coding Symposium*. Krakow, Poland, 2012. P. 405–408. doi: 10.1109/PCS.2012.6213317
 22. Siast J., Stankowski J., Domanski M. Hierarchical fast selection of intraframe prediction mode in HEVC // *International Journal of Electronics and Telecommunications*. 2016. V. 62. N 2. P. 147–151. doi: 10.1515/eletel-2016-0020
 - H.264 intra prediction. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2008, vol. 18, no. 7, pp. 975–982. doi: 10.1109/TCSVT.2008.920742
 10. Huang Y.-H., Ou T.-S., Chen H. Fast decision of block size, prediction mode, and intra block for H.264 intra prediction. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2010, vol. 20, no. 8, pp. 1122–1132. doi: 10.1109/TCSVT.2010.2057018
 11. Bharanitharan K., Liu B.-D., Yang J.-F., Tsai W.-C. A low complexity detection of discrete cross differences for fast H.264/AVC intra prediction. *IEEE Transactions on Multimedia*, 2008, vol. 10, no. 7, pp. 1250–1260. doi: 10.1109/TMM.2008.2004904
 12. Tsai A.-C., Paul A., Wang J.-C., Wang J.-F. Intensity gradient technique for efficient intra-prediction in H.264/AVC. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2008, vol. 18, no. 5, pp. 694–698. doi: 10.1109/TCSVT.2008.919113
 13. Zeng H., Ma K.-K., Cai C. Hierarchical intra mode decision for H.264/AVC. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2010, vol. 20, no. 6, pp. 907–912. doi: 10.1109/TCSVT.2010.2045802
 14. Tan Y.H., Yeo C., Tan H.L., Li Z.G. On residual quad-tree coding in HEV. *Proc. IEEE 13th Int. Workshop on Multimedia Signal Processing*. Hangzhou, 2011, 4 p. doi: 10.1109/MMSP.2011.6093805
 15. Bjontegaard G. Calculation of average PSNR differences between RD-curves. *Technical Report VCEG-M33 – ITU-T SG16/Q6*. Austin, USA, 2001. Available at: http://wftp3.itu.int/av-arch/video-site/0104_Aus/VCEG-M33.doc (accessed: 20.12.2017).
 16. Zhao L., Zhang L., Ma S., Zhao D., Gao W. Further encoder improvement of intra mode decision. *JCTVC-D283*. Daegu, KR, 2011.
 17. Shen L., Liu Z., Zhang X., Zhao W., Zhang Z. An effective CU size decision method for HEVC encoders. *IEEE Transactions on Multimedia*, 2013, vol. 15, no. 2, pp. 465–470. doi: 10.1109/TCSVT.2010.2045802
 18. Zhang H., Ma Z. Early termination schemes for fast intra prediction in high-efficiency video coding. *Proc. IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, 2013, pp. 45–48. doi: 10.1109/ISCAS.2013.6571778
 19. Tseng C.-F., Lai Y.-T. Fast coding unit decision and mode selection for intra-frame coding in high-efficiency video coding. *IET Image Processing*, 2016, vol. 10, no. 3, pp. 215–221. doi: 10.1049/iet-ipr.2015.0154
 20. Xin L., Xiao N., Martin G., Hu Y., Jin X. Fast intra coding implementation for high efficiency video coding (HEVC). *Proc. Data Compression Conference*. Snowbird, USA, 2017, pp. 201–210. doi: 10.1109/DCC.2017.4
 21. Tian G., Goto S. Content adaptive prediction unit size decision algorithm for HEVC intra coding. *Proc. Picture Coding Symposium*. Krakow, Poland, 2012, pp. 405–408. doi: 10.1109/PCS.2012.6213317
 22. Siast J., Stankowski J., Domanski M. Hierarchical fast selection of intraframe prediction mode in HEVC. *International Journal of Electronics and Telecommunications*, 2016, vol. 62, no. 2, pp. 147–151. doi: 10.1515/eletel-2016-0020

Авторы

Нгуен Ван Чьонг – аспирант, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, Scopus ID: 57197823235, ORCID ID: 0000-0002-3718-0274, thientruong.mars@gmail.com

Тропченко Андрей Александрович – кандидат технических наук, доцент, доцент, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, Scopus ID: 57197815120, ORCID ID: 0000-0001-9812-7947, zayka_98rus@mail.ru

Доан Бан Тиен – аспирант, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, ORCID ID: 0000-0003-0900-6284, bandoan@mail.ru

Authors

Nguyen Van Truong – postgraduate, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, Scopus ID: 57197823235, ORCID ID: 0000-0002-3718-0274, thientruong.mars@gmail.com

Andrey A. Tropchenko – PhD, Associate Professor, Associate Professor, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, Scopus ID: 57197815120, ORCID ID: 0000-0001-9812-7947, zayka_98rus@mail.ru

Doan Tien Ban – postgraduate, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, ORCID ID: 0000-0003-0900-6284, bandoan@mail.ru