

МЕТОД СЖАТИЯ ВИДЕОПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ВНУТРИКАДРОВОГО ПРЕДСКАЗАНИЯ ЯРКОСТИ ПИКСЕЛОВ

И. С. РУБИНА

*Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: rubren@mail.ru*

Представлен анализ используемых в стандартах сжатия видеоданных H.265 и VP9 алгоритмов внутрикадрового предсказания яркости пикселей, исследованы особенности алгоритмов и выработаны рекомендации по их применению. Устранение информационной избыточности опорных кадров — одна из главных задач процесса видеокompрессии, а основой кодирования опорных кадров является построение прогноза для отдельных пикселей или их групп. Показано, что эффективность алгоритмов устранения информационной избыточности обеспечивается путем повышения эффективности алгоритмов внутрикадрового предсказания. Особое внимание уделено изучению таких показателей, как качество и степень сжатия видеоданных и вычислительная сложность процесса сжатия. Установлено, что повышение гибкости механизма выбора процедуры прогнозирования позволяет существенно уменьшить вычислительные затраты при сохранении качества работы алгоритма предсказания. Предложен адаптивный метод внутрикадрового предсказания, базирующийся на алгоритме предсказания, введенном стандартом H.265, и инвариантный к изменению свойств видеосцены за счет относительного снижения качества получаемого видеоряда. Для оценки разработанного метода использован ряд видеопоследовательностей из тестового набора JCT-VC для стандарта H.265.

Ключевые слова: сжатие видеоданных, HEVC, VP9, внутрикадровое предсказание, адаптивный режим.

Введение. Современный этап развития информационно-вычислительных систем характеризуется широким внедрением технологий мультимедиа, что обуславливает необходимость разработки методов и алгоритмов сжатия цифровых видеоизображений и видеопотоков. Такие алгоритмы основаны на обработке групп изображений, имеющих информационную избыточность [1, 2].

Первый кодек согласно стандарту нового поколения HEVC (High Efficiency VideoCoding) высокопроизводительного кодирования видеоданных [3] был представлен в феврале 2012 г. Тем не менее для широкого круга специалистов представляет интерес разработка эффективных алгоритмов в рамках различных этапов кодирования.

Существующие системы обработки видеоданных используют методы сжатия с потерями за счет передачи опорных (I) кадров, сжатых по пространственным координатам, а также ссылочных (P и B) кадров, сжатых по пространственно-временным координатам [4]. При этом учитываются особенности восприятия подобного типа данных человеком [5]. На сегодняшний день устранение информационной избыточности опорных кадров — одна из главных задач процесса видеокompрессии.

Основой кодирования опорных кадров является построение прогноза яркости для отдельных пикселей или их групп [6]. Проблеме обеспечения качества работы алгоритмов устранения информационной избыточности путем повышения эффективности алгоритмов внутрикадрового предсказания и посвящена настоящая статья.

Схемы алгоритмов. Схематичное представление существующих алгоритмов [7] внутрикадрового предсказания яркости пикселей приведено на рис. 1.

В частности, на рис. 1, а, б представлены режимы V_PRED и H_PRED, при реализации которых прогнозирование осуществляется дублированием значения соответствующей строки или столбца, а на рис. 1, в, г — режимы DC_PRED и TM_PRED кодека VP8 [8].

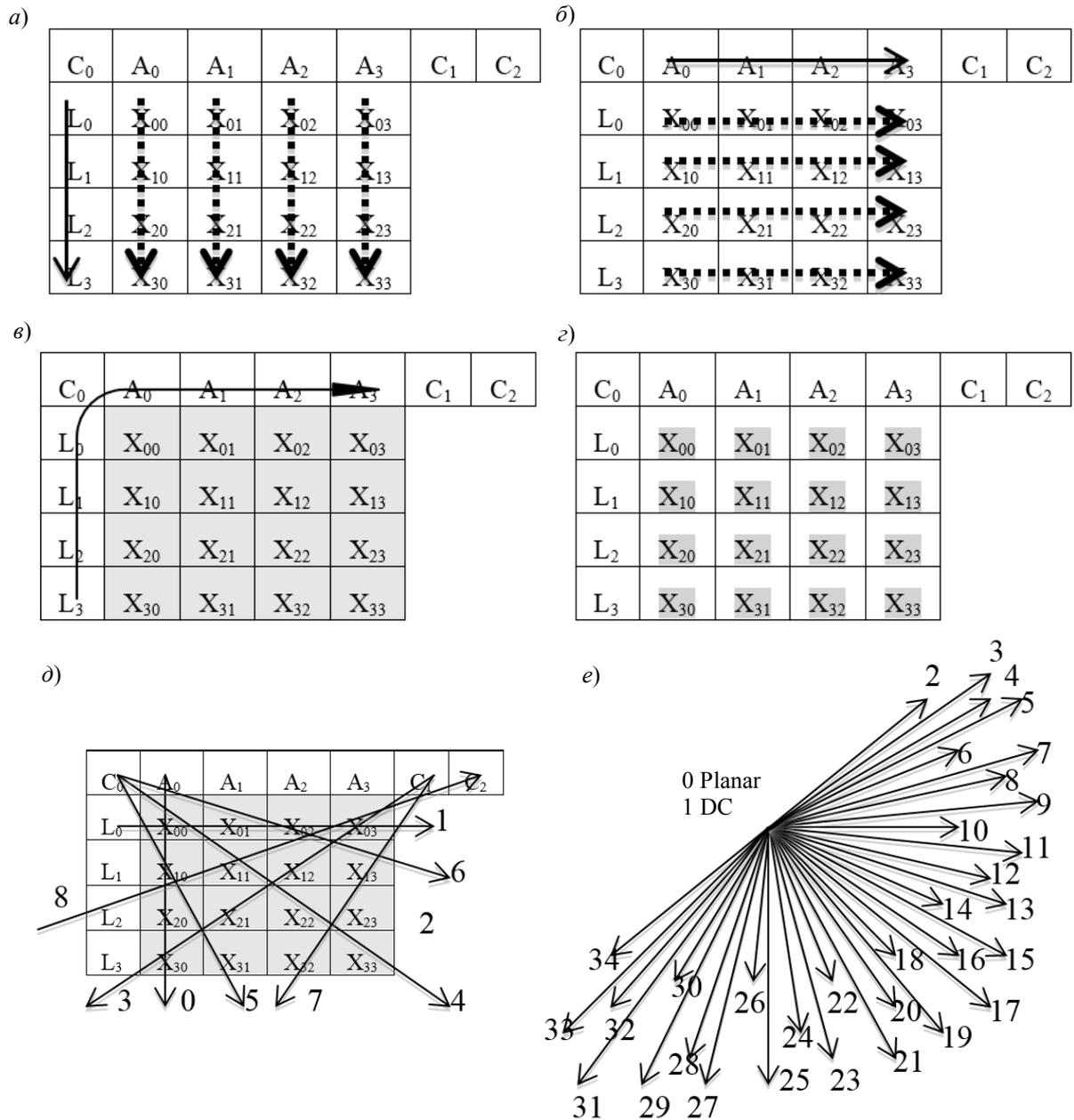


Рис. 1

В ходе предсказания по алгоритму DC_PRED прогнозируемое значение яркости каждого пикселя блока вычисляется как среднее арифметическое яркости пикселей, находящихся на границе (выше и левее) прогнозируемых семплов. В ходе обработки по алгоритму TM_PRED прогнозируемое значение яркости каждого из семплов вычисляется по формуле [1]

$$X_{i,j} = L_i + A_j - C, \tag{1}$$

где L_i , A_j и C — яркости семплов, расположенных по горизонтали и вертикали относительно текущего семпла и диагонали для блока, $i, j = 0, 1, \dots, 3$.

Как показали исследования, эти алгоритмы не могут быть эффективно применены для кадров с однородной текстурой и малым градиентом яркости. Однако благодаря малой вычислительной сложности данные алгоритмы нашли свое применение при кодировании видеокадров с предельной эффективностью.

Для улучшения показателя качества сжатия в рамках алгоритма H.264 был предложен алгоритм внутрикадрового предсказания с 9 возможными режимами [9], представленный на рис. 1, д. Благодаря учету градиента яркости по 9 направлениям эффективность предсказания повышена на 10 % за счет более высоких вычислительных затрат [10]. Малая значимость полученных результатов связана с тем, что при высоких степенях сжатия, на которые ориентирован алгоритм H.264, наиболее вероятными, несмотря на более широкий диапазон режимов, оказались основные 4 режима кодека VP8.

В этой связи в рамках стандарта HEVC подлагается использовать 35 режимов предсказания INTRA_ANGULAR (рис. 1, е), а именно 2 режима, „унаследованные“ из алгоритма H.264, которые являются наиболее вероятными при высоких степенях сжатия, и 33 новых режима, основанные на выборе градиента яркости. При этом стандарт HEVC предусматривает выбор трех наиболее вероятных прогнозов для блока в зависимости от прогнозов для соседних блоков [11] путем подсчета RD-характеристики для всех режимов. Следует отметить, что использование RD-характеристики позволяет выбрать оптимальный режим внутрикадрового предсказания, однако расчет значения имеет высокую вычислительную сложность. Поэтому разработка менее вычислительно сложного подхода к выбору режимов внутрикадрового предсказания является оправданной.

Разработанный метод. В ходе исследования было сделано предположение, что повышение гибкости механизма выбора процедуры прогнозирования позволит существенно уменьшить вычислительные затраты при сохранении качества работы алгоритма предсказания.

Выбор режима предсказания предлагается осуществлять следующим образом.

1. Осуществляется проход по всем семплам кадра. Если определенный семпл не последний, то осуществляется переход к шагу 2.

2. Первые два наиболее подходящих режима предсказания, обозначенные как A и B , выбираются способом, описанным в тестовой модели кодека HEVC [12].

3. Если $A \neq B$, то среди всех режимов, отличающихся от A и B , выбирается режим C , для которого используется критерий F : $F(C) \geq \max(F(A), F(B))$. Если $A=B$ и $A \neq \text{Intra_Angular}[x]$, то поиск осуществляется только среди режимов $\text{Intra_Angular}[x]$.

4. Выбор среди угловых режимов предсказания осуществляется методом последовательного перебора в направлениях 1—8 и 17—33 одновременно (см. рис. 1, е). В качестве критерия F в настоящем исследовании используется оценка среднеквадратического отклонения яркости пикселей исходного изображения от предсказанного [2]:

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

где m, n — размеры кадра; $I(i, j)$ и $K(i, j)$ — яркости соответствующих пикселей прогнозируемого и ссылочного кадров.

5. В случае увеличения MSE в течение двух шагов выбирается режим предсказания, наиболее близкий по критерию F .

Эксперимент. Для тестирования разработанного метода был использован ряд видео-последовательностей из тестового набора JCT-VC для стандарта H.265 [13—15]:

- 1) PeopleOnStreet, разрешение 2560×1600, 50 кадров/с;
- 2) BQTerrace, разрешение 1920×1080, 50 кадров/с;
- 3) PartyScene, разрешение 832×480, 60 кадров/с.

На рис. 2 приведена диаграмма, отражающая вероятность (P) выбора конкретных режимов предсказания при сжатии указанных тестовых видеопоследовательностей. Как видно, наиболее вероятными для всех видеопоследовательностей являются режимы предсказания Intra_DC и Intra_Planar. Однако для каждой видеопоследовательности существуют несколько угловых режимов предсказания с вероятностью $P > 4\%$, что в целом оправдывает использование такого количества угловых режимов предсказания в стандарте H.265.

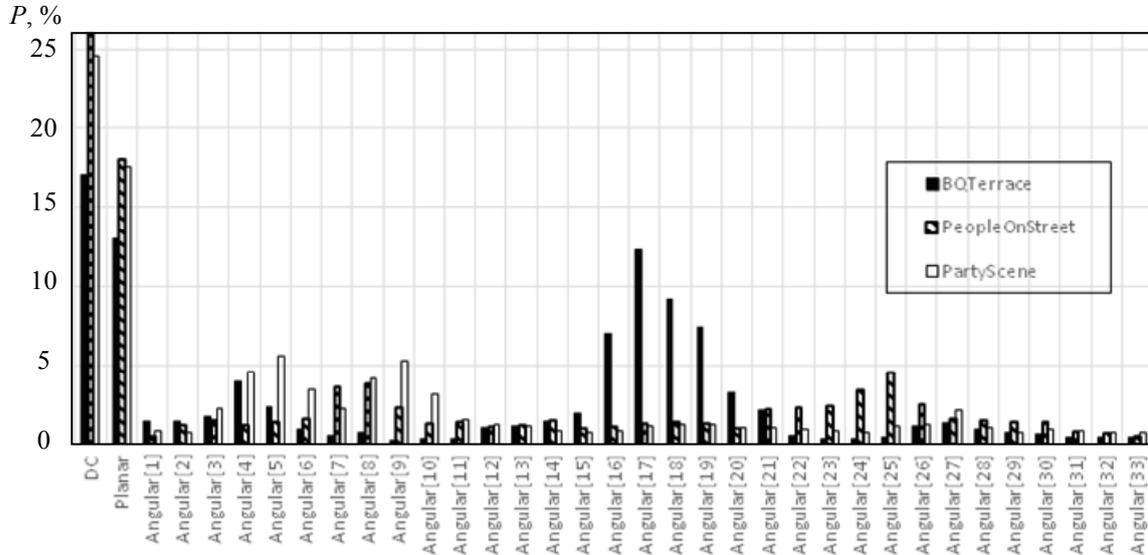


Рис. 2

На рис. 3 показано количество (в процентах) проанализированных режимов предсказания от общего числа просчитанных в тестовой модели HM 13.0 режимов для видеопоследовательностей с различной степенью сжатия. При использовании разработанного метода в среднем приходится просчитывать на 35 % режимов меньше, чем по тестовой модели HM 13.0, что является существенным снижением вычислительной сложности этапа внутрикадрового сжатия изображения.

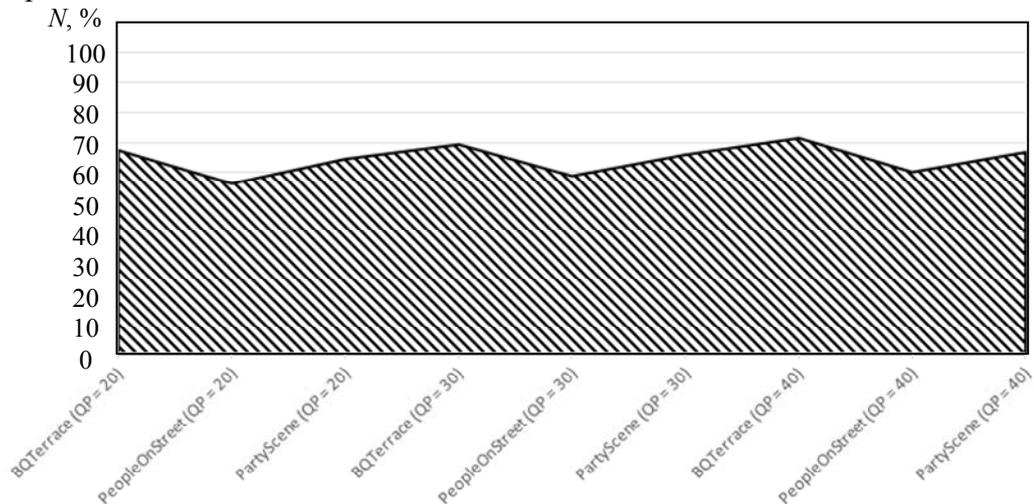


Рис. 3

RD-зависимости для рассматриваемых тестовых видеопоследовательностей представлены на рис. 4, а—в: наибольшие потери в 1,05 % по качеству сжатия (пиковому отношению сигнал/шум — PSNR) были выявлены на видеопоследовательности PeopleOnStreet, а в среднем такие потери составили 0,77 % от качества сжатия с использованием тестовой модели HM 13.0; наибольший выигрыш в 2,07 % по скорости сжатия (битрейт) был также получен на

видеопоследовательности PeopleOnStreet, а в среднем выигрыш составил 1,89 % от скорости сжатия с использованием тестовой модели HM 13.0.

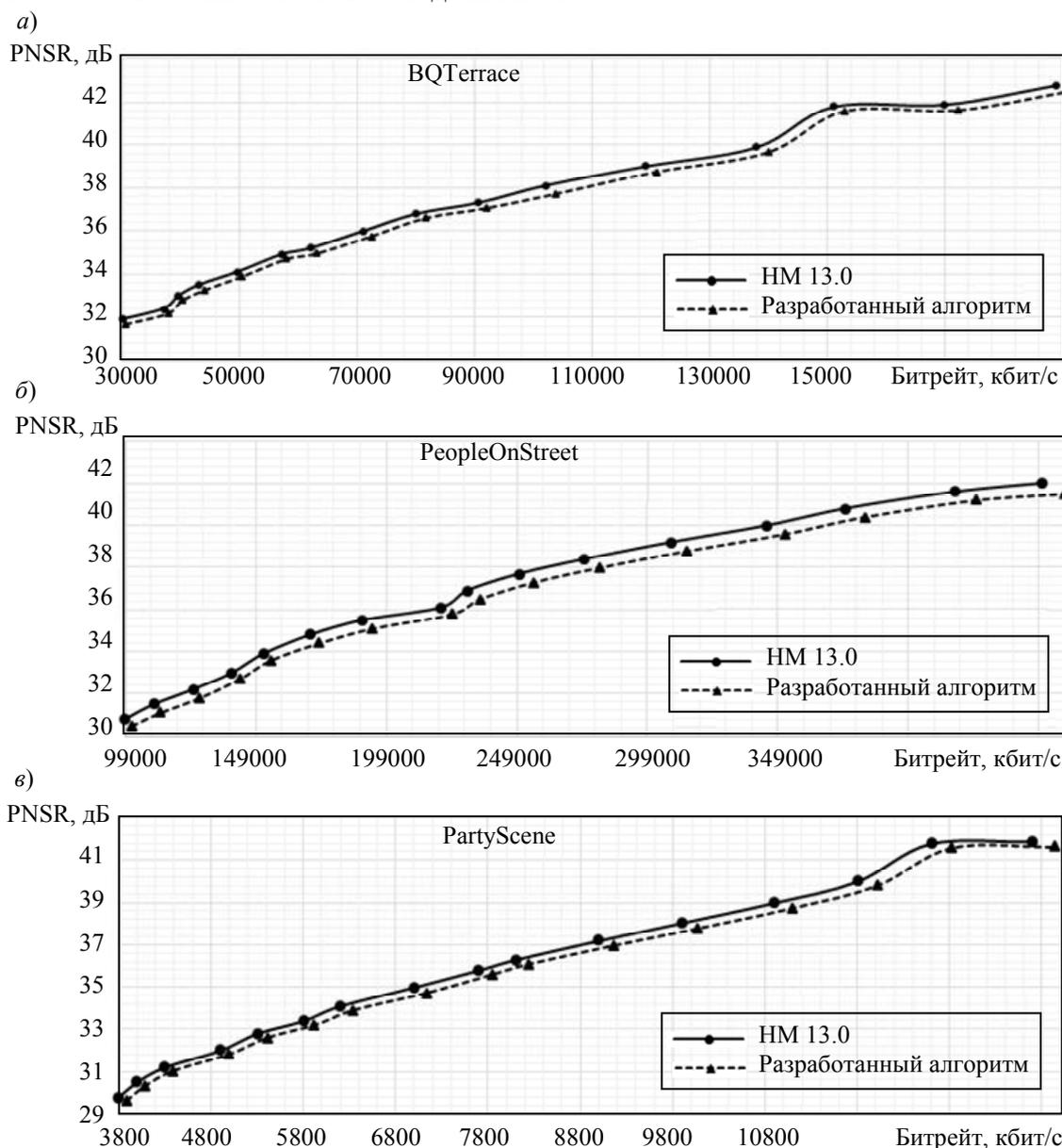


Рис. 4

Заключение. Представленный метод выбора режима внутрикадрового предсказания яркости пикселей для сжатия видеопоследовательностей позволяет значительно снизить вычислительные затраты. На основе полученных результатов можно утверждать, что путем дальнейшей оптимизации процедуры поиска может быть улучшено соотношение скорости сжатия к его качеству.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio Information: Video: MPEG-2 ISO/IEC 13818-2. Intr. 1998.04.28. ITU, 1998. 202 p.
2. Тропченко А. Ю., Тропченко А. А. Методы сжатия изображений, аудиосигналов и видео: Учеб. пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. 108 с.
3. *Bross B.* High Efficiency VideoCoding (HEVC) — Text Specification Draft 10 [Электронный ресурс]: <<http://phenix.int-evry.fr/jct/>>, 24.12.2014.

4. Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. 384 с.
5. Сэломон Д. Сжатие данных, изображений и звука. М.: Техносфера, 2004. 368 с.
6. Ричардсон Я. Видеокодирование. H.264 и MPEG-4 — стандарты нового поколения. М.: Техносфера, 2005. 368 с.
7. Grois D., Marpe D., Mulyoff A., Hadar O. Performance comparison of H.265/MPEG-HEVC, VP9, and H.264/MPEG-AVC encoders // Proc. of the 30th Picture Coding Symp. 2013. Vol. 6, N 4. P. 122—143.
8. Bankoski J., Wilkins P., Xu Ya. Technical overview of VP8, an open source videocodec for the Web // Proc. of the IEEE Intern. Conf. on ICME. 2011. Vol. 14, N 4. P. 343—358.
9. Richardson I. White Paper: H.264/AVC Intra Prediction [Электронный ресурс]: <http://www.vcodex.com/files/H264_intrapred_wp.pdf>, 16.12.2014.
10. H.264: Advanced Videocoding for Generic Audiovisual Services: Recommendation ITU-T. Intr. 2011.03.14. ITU, 2011. 686 p.
11. Recommendation ITU-T H.265: High Efficiency Videocoding [Электронный ресурс]: <http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-t/rec/h/T-REC-H.265-201304-S!!SUM-HTML-E.htm>, 01.02.2015.
12. Тестовая модель кодека HM 13.0 стандарта H.265/HEVC [Электронный ресурс]: <https://hevc.hhi.fraunhofer.de/svn/svn_HEVCSoftware/>, 11.01.2015.
13. Тестовые видеопоследовательности исследовательской группы JCT-VC [Электронный ресурс]: <<ftp://ftp.tnt.uni-hannover.de/testsequences>>, 15.12.2014.
14. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2012. 1104 с.
15. Bossen F. Common Test Conditions and Software Reference Configurations [Электронный ресурс]: <http://phenix.it-sudparis.eu/jct/doc_end_user/documents/6_Torino/wg11/JCTVC-F900-v1.zip>, 16.12.2014.

Сведения об авторе

Ирина Семеновна Рубина

— канд. техн. наук; Университет ИТМО; кафедра вычислительной техники; E-mail: rubren@mail.ru

Рекомендована кафедрой
вычислительной техники

Поступила в редакцию
24.02.15 г.

Ссылка для цитирования: Рубина И. С. Метод сжатия видеопоследовательностей на основе внутрикадрового предсказания яркости пикселей // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 7. С. 520—526.

ALGORITHM OF VIDEO SERIES COMPRESSION BASED ON INTRA-FRAME PREDICTION OF PIXEL BRIGHTNESS

I. S. Rubina

ITMO University, 197101, Saint Petersburg, Russia
E-mail: rubren@mail.ru

Existing algorithms of intra-frame pixel brightness prediction are considered. The algorithms used in video compression standards H.265 and VP9 are analyzed, characteristics of the algorithms are studied, and recommendations on their application are formulated. It is shown that a fundamental problem in video compression is the referent frame redundancy, and reduction in spatial redundancy may be improved by increasing the efficiency of intra-frame prediction algorithms. Particular attention is paid to indicators such as quality, compression ratio and computational complexity of compression process. Improving the flexibility of the mechanism of prediction procedure selection is found to reduce significantly the computational expenses while retaining the prediction algorithm performance. An adaptive method of intra-frame prediction based on the algorithm introduced by H.265 standard is proposed. The method is invariant to variations in video scene properties and reduces significantly the computational cost at the expense of a slight decrease in the video series quality. Results of testing the developed method with the use of a number of video sequences from JCT-VC test set for the H.265 standard are presented.

Keywords: video series compression, HEVC, VP9, intra-frame prediction, adaptive mode.

Data on author

Irina S. Rubina — PhD; ITMO University, Department of Computation Technologies;
E-mail: rubren@mail.ru

Reference for citation: *Rubina I. S.* Algorithm of video series compression based on intra-frame prediction of pixel brightness // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Priborostroenie*. 2015. Vol. 58, N 7. P. 520—526 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-7-520-526