

УДК 004.627

БЫСТРЫЙ АЛГОРИТМ ПОИСКА ПО ТЕСТОВОЙ ЗОНЕ ДЛЯ МЕЖКАДРОВОГО КОДИРОВАНИЯ

Нгуен Ван Чьонг^a, А.А. Тропченко^a

^a Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация
Адрес для переписки: thientruong.mars@gmail.com

Информация о статье

Поступила в редакцию 01.03.17, принята к печати 13.04.17
doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-3-483-489
Язык статьи – русский

Ссылка для цитирования: Нгуен Ван Чьонг, Тропченко А.А. Быстрый алгоритм поиска по тестовой зоне для межкадрового кодирования // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2017. Т. 17. № 3. С. 483–489. doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-3-483-489

Аннотация

Рассмотрены быстродействующие алгоритмы оценки движения для межкадрового кодирования видеоданных в современном стандарте H.265/HEVC. При выявлении достоинств и недостатков рассмотренных алгоритмов предложен новый адаптивный алгоритм. Алгоритм под названием «быстрый алгоритм поиска по тестовой зоне» включает в себя традиционный алгоритм поиска по тестовой зоне TZS (Test Zone Search) и иерархический поиск MP (Hierarchical Search or Mean Pyramid). Существующие и предложенный алгоритмы оценки движения протестированы на нескольких видеопоследовательностях путем моделирования в среде Microsoft Visual Studio. Для оценки алгоритмов использованы критерий качества видеопоследовательности (по PSNR), битрейт и время кодирования. Показано, что предложенный алгоритм работает примерно в 4 раза быстрее. Средняя потеря значения RD-кривой (зависимость PSNR от битрейта) достигает всего 4%. Применение предложенного алгоритма вместо традиционного кодирования в современном кодеке H.265/HEVC позволяет значительно снизить время кодирования, он может быть рекомендован для дальнейшего исследования Объединенной команде по видеокодированию JCT-VC (Joint Collaborative Team on Video Coding).

Ключевые слова

HEVC, гибридный подход, TZS, MP, растровый поиск, оценка движения, программное обеспечение HM (HEVC Test Model)

FAST TEST ZONE SEARCH ALGORITHM FOR INTERFRAME ENCODING

Nguyen Van Truong^a, A.A. Tropchenko^a

^a ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation
Corresponding author: thientruong.mars@gmail.com

Article info

Received 01.03.17, accepted 13.04.17
doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-3-483-489
Article in Russian

For citation: Nguyen Van Truong, Tropchenko A.A. Fast test zone search algorithm for interframe encoding. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2017, vol. 17, no. 3, pp. 483–489 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-3-483-489

Abstract

The paper deals with the fast motion estimation algorithms for interframe encoding in the video data H.265 / HEVC standard. A new adaptive algorithm has been offered based on the analysis of the advantages and disadvantages of existing algorithms. The algorithm is called fast test zone search algorithm and includes the traditional test zone search algorithm (TZS) and the hierarchical search MP (Hierarchical Search or Mean Pyramid). The considered and proposed motion estimation algorithms have been tested in several video sequences using Microsoft Visual Studio software. The terms for algorithms evaluating were: the video sequence quality criterion (by PSNR), bitrate and encoding time. The proposed method showed that it works about 4 times faster. The average loss of the RD curve value (PSNR versus bitrate) is up to 4% in all. Application of this algorithm in modern codec H.265/HEVC instead of the standard one can significantly reduce compression time, and can be recommended for further study of the JCT-VC (Joint Collaborative Team on Video Coding).

Keywords

HEVC, hybrid approach, TZS, MP, raster search, motion estimation, HM software (HEVC Test Model)

Введение

Кодирование видео на базе блоков широко используется в современных стандартах видеокодирования благодаря своей эффективности. H.264/AVC и H.265/HEVC – это примеры, использующие кодирование на основе блоков [1, 2]. Оценка движения ME (Motion Estimation) и компенсация – два основных процесса в кодировании на основе блоков. Алгоритмы ME находят наилучшее положение блока соответствия (вектор движения) в предыдущих (или будущих) кадрах для каждого блока в текущем кадре видео, в то время как компенсация движения генерирует компенсированные кадры с помощью этих векторов движения. Из них ME является самой сложной и трудоемкой стадией. Отчасти это связано с размером блока ME и множеством опорных кадров. В работе [3] доказано, что ME требует более 80% объема вычислений при кодировании.

Эффективные алгоритмы могут смягчить часть этой проблемы. Несколько алгоритмов ME описано в работах [4–10]. В распределенном видеокодировании вычислительная сложность ME может быть перенесена на сторону декодера, но общая сложность практически остается неизменной [11]. Кроме того, ME также используется в методах интерполяции кадров для преобразования с повышением частоты кадров [12, 13].

Алгоритм TZS принимается как алгоритм оценки быстрого движения в справочнике программного обеспечения НМ. Он наилучшим образом выполняется путем объединения ромбического (Diamond Search, DS) или квадратичного (Square Search, SS) поиска с методом растрового поиска (Raster Search, RS). Однако из-за сложности реализации алгоритма TZS по-прежнему требуется снижение вычислительных затрат и уменьшение времени его выполнения. В работе [14] для метода TZS используются шаблоны гексагонального поиска (Hexagon Search, HS). Это ускоряет процесс по сравнению с шаблонами DS почти в три раза. Однако даже при гексагональной схеме поиска потеря оказывается достаточно ощутимой.

Для того чтобы использовать преимущества метода TZS и HS, в работе [15] предлагается новый контекстно-адаптивный алгоритм оценки движения быстрого действия. Он переключает схему поиска локально между методами TZS и HS в зависимости от контекста движения соседнего блока. При этом алгоритм дает лучшее качество видеопоследовательности (коэффициент PSNR почти не уменьшается), однако и время выполнения процесса кодирования уменьшится только незначительно.

В настоящей работе предлагается новый адаптивный алгоритм на основе традиционного алгоритма TZS с применением алгоритма MP, что обеспечивает значительное уменьшение времени оценки движения при анализе видеопотоков (примерно в 4 раза). Это достигается за счет уменьшения количества поисковых пикселей на блоках и количества кодированных блоков на кадре.

Алгоритм TZS

Алгоритм TZS в справочнике программного обеспечения НМ определяется как быстрый гибридный алгоритм поиска. Блок-схема алгоритма TZS представлена на рис. 1.

Алгоритм состоит из следующих этапов [14, 15].

Этап 1. Запуск центра поиска. Устанавливается набор предсказанных векторов движения (Motion Vector, MV), в том числе вектор движения, полученный от среднего прогноза (медианный вектор); левый, верхний и правый верхний вектора в соответствующем блоке опорного кадра; вектор движения в точке (0,0) положения. Выбирается точка, которая имеет наименьшую погрешность соответствия (MBD), в качестве центра поиска следующей стадии.

Этап 2. Ромбический (DS) или квадратичный поиск (SS). Выполняется поиск с шаблоном размерности от 1 до 64 двукратно, если длина поиска равна 64.

Этап 3. Растровый поиск (RS). Если расстояние (L) между оптимальной точкой, полученной на этапе 2, и текущим центром поиска является оптимальным (равно 0), то остановить поиск. Если $L > R$ (предопределенное пороговое значение [16]), которое устанавливается соответствующим образом, то выполнить RS (рис. 4), причем значение R используется в качестве его длины шага; в противном случае перейти к этапу 4.

Этап 4. Растровое/Звездовидное рафинирование). Устанавливается оптимальная точка из этапа 3 в качестве начальной точки. Повторяется восьмиточечный поиск DS или SS с длиной поиска, равной $L_3/2$ (L_3 – расстояние L , полученное на этапе 3), до тех пор, пока L не станет оптимальным.

Алгоритм TZS использует медианный предсказатель, левый предсказатель, верхний предсказатель и правый верхний предсказатель. Кроме того, также выбирается предсказатель, соответствующий предыдущему прогнозируемому вектору движения (рис. 2). Минимум этих предсказателей выбирается в качестве исходного центра для поиска.

На этапе 2 находится окно поиска с использованием шаблона DS или HS (рис. 3) размерности от 1 до 64 (если длина поиска равна 64), значения размерности кратны двум.

Растровый поиск RS представляет собой полный поиск (Full Search, FS) со значением выборок R (рис. 4).

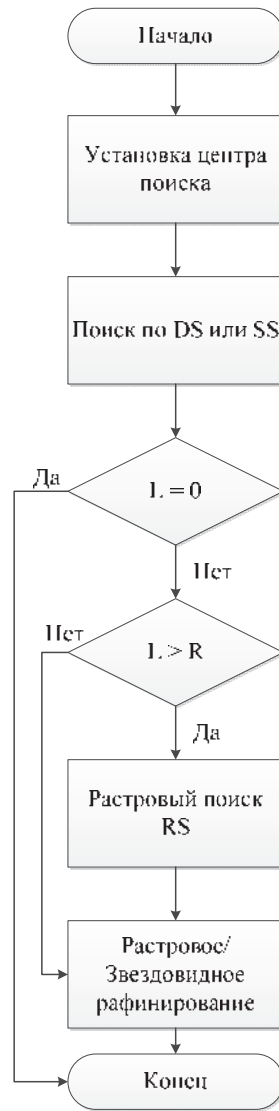


Рис. 1. Блок-схема алгоритма TZS

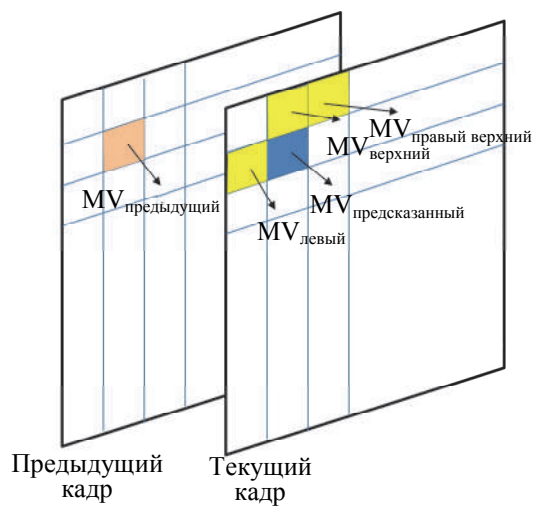


Рис. 2. Векторы движения, используемые в установке центра поиска

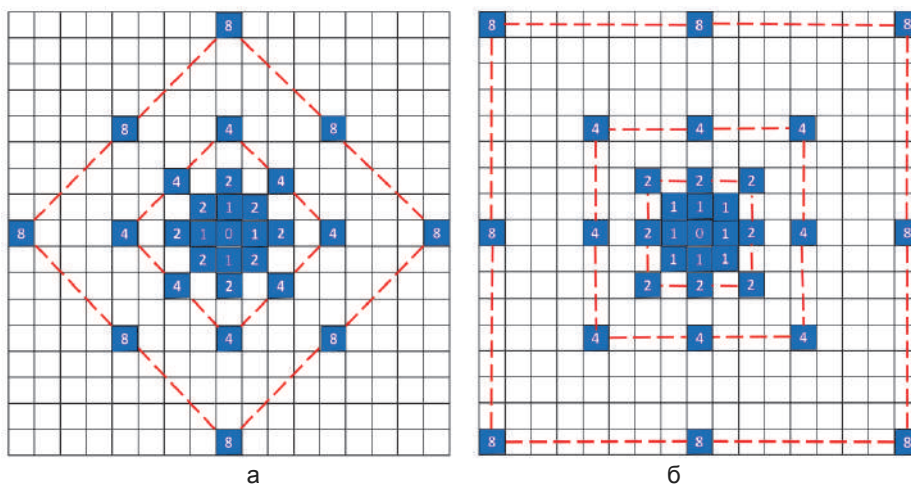


Рис. 3. Ромбический шаблон (а) и квадратичный шаблон (б) размерности 8

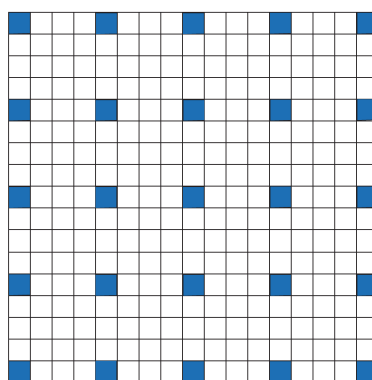


Рис. 4. Растровый поиск со значением выборки $R = 5$

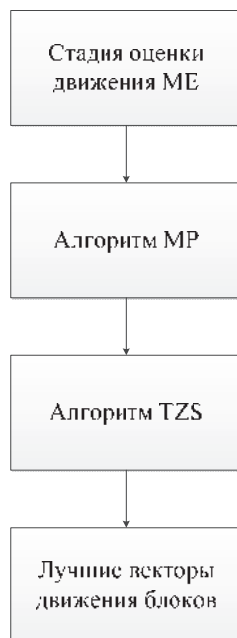


Рис. 5. Блок-схема предложенного алгоритма

Обобщенное представление порогового значения R для каждого блока с глубиной блока кодирования d и размерностью p задается следующим образом [16]:

$$R(d, p) = 2^{d+p} \sum_{i=1}^{N(d,p)} \frac{SAD(i)}{N(d,p)}$$

где $N(d, p)$ представляет собой количество блоков кодирования с глубиной d и размерностью p , а $SAD(i)$ – сумма абсолютных отклонений i -го блока.

Предлагаемый алгоритм

Алгоритм TZS имеет ряд достоинств, в том числе избегает высокой степени сжатия. Но он тоже содержит недостатки, самый главный из которых – это огромный объем вычислений из-за большой размерности шаблона поиска DS (или SS) и последующего растрового поиска.

Для устранения указанных недостатков предлагается алгоритм, который включает в себя процедуры TZS и иерархического поиска MP [9, 10].

Блок-схема предложенного алгоритма представлена на рис. 5. Суть алгоритма MP заключается в уменьшении разрешения кадров видеоданных путем проведения иерархии, что достигается усреднением пикселей кадра предыдущего уровня по следующему принципу:

$$g_L(p, q) = \left[\frac{1}{4} \left(\sum_{u=0}^1 \sum_{w=0}^1 g_{L-1}(2p+u, 2q+w) \right) \right],$$

где $g_L(p, q)$ – значение пикселя уровня L в позиции (p, q) . Таким образом, если использовать три уровня иерархии, один пиксель 2-го уровня соответствует блоку 4×4 0-го уровня и блоку 2×2 – 1-го уровня соответственно. В то же время блок размером 16×16 0-го уровня будет соответствовать блоку $(16/2L) \times (16/2L)$ уровня L .

Экспериментальные результаты

Предложенный выше алгоритм был реализован с помощью Microsoft Visual Studio и протестирован с видеопоследовательностями разных размерностей¹.

В проведенном эксперименте будем сравнивать предложенный алгоритм с традиционным алгоритмом TZS, использованным в НМ, по следующим критериям: время кодирования и качество видеопоследовательности (по PSNR- и RD-кривой).

Время кодирования оценивается путем сравнения среднего необходимого времени для кодирования каждого видеопотока, показанного в табл. 1. Видно, что предложенный алгоритм уменьшает время кодирования примерно в 4 раза по сравнению с традиционным алгоритмом.

Видеопоследовательность	Среднее время кодирования, с		Относительное уменьшение времени предложенного алгоритма
	Алгоритм TZS	Предложенный алгоритм	
BUS 352x288 15 avc 384,yuv	187,248	46,112	4,06
CITY 704x576 30 avc 1024,yuv	734,037	215,577	3,40
CREW 704x576 30 avc 1500,yuv	813,807	164,690	4,94
FOOTBALL 352x288 15 avc 384,yuv	186,344	46,584	4,00
FOREMAN 352x288 30 avc 256,yuv	166,927	42,947	3,89
HARBOUR 704x576 30 avc 1500,yuv	778,687	198,847	3,92
MOBILE 352x288 30 avc 384,yuv	218,001	58,774	3,71
SOCCER 704x576 60 avc 3000,yuv	749,495	190,025	3,94

Таблица 1. Среднее время кодирования для разных видеопоследовательностей

Качество видеопоследовательности оценивается путем сравнения среднего покадрового коэффициента PSNR видео (табл. 2) и значениям RD-кривой (рис. 6). Результаты исследования показывают, что предложенный алгоритм теряет не более 1–4% коэффициента PSNR по сравнению с TZS.

На рис. 6 показаны кривые зависимости скорости искажения RD алгоритма TZS и предложенного алгоритма для видеопоследовательностей BUS, CITY, CREW и FOOTBALL при QP (параметр квантования), равном 37, 32, 27, 22. Вертикальные оси представляют собой PSNR (дБ), горизонтальные оси соответствуют битрейту (кбит/с), и каждая точка на кривых представляет параметр QP. Из рис. 6 видно, что RD-кривые для рассмотренных алгоритмов (как стандартный TZS, так и предложенный) близки для каждого подэтапа. Это может объяснить тот факт, что предлагаемое изменение оказывает незначительное влияние как на PSNR, так и на битрейт.

¹ Тестовые видеопоследовательности [Электронный ресурс] <<ftp://ftp.tnt.uni-hannover.de/pub/svc/testsequences/>>

Видеопоследовательность	Средний покадровый коэффициент PSNR, дБ	
	Алгоритм TZS	Предложенный алгоритм
BUS 352x288 15 avc 384.yuv	35,6402	35,1618
CITY 704x576 30 avc 1024.yuv	37,1382	36,1379
CREW 704x576 30 avc 1500.yuv	41,2675	39,7981
FOOTBALL 352x288 15 avc 384.yuv	37,4621	36,6076
FOREMAN 352x288 30 avc 256.yuv	38,6286	37,1322
HARBOUR 704x576 30 avc 1500.yuv	37,5441	35,7324
MOBILE 352x288 30 avc 384.yuv	34,2910	33,4984
SOCCER 704x576 60 avc 3000.yuv	36,9731	36,2800

Таблица 2. Средний покадровый коэффициент PSNR для разных видеопоследовательностей

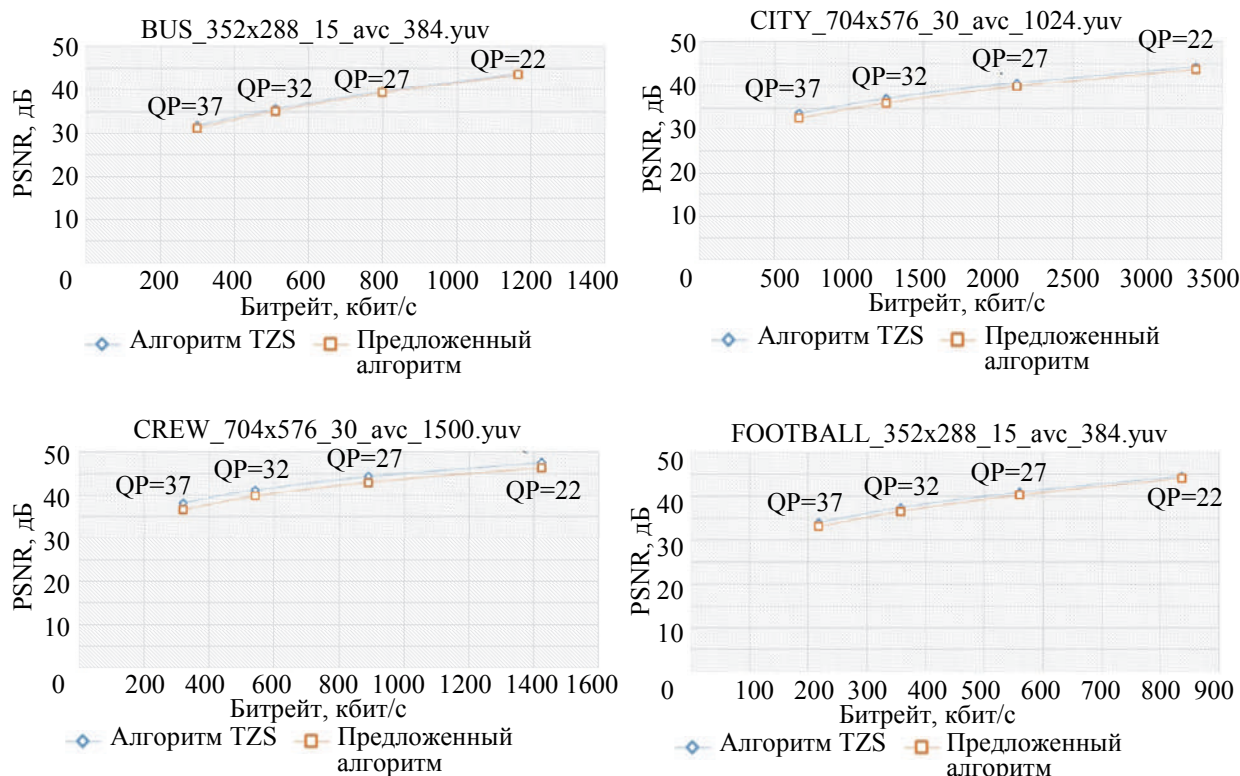


Рис. 6. RD-кривые с QP = 37, 32, 27, 22 для видеопоследовательностей: BUS_352x288_15_avc_384 (а); CITY_704x576_30_avc_1024 (б); CREW_704x576_30_avc_1500 (в); FOOTBALL_352x288_15_avc_384 (г)

Заключение

В работе предложен новый алгоритм межкадрового кодирования HEVC кодека, включающий в себя широко известные алгоритмы TZS и MP. Алгоритм протестирован с несколькими видеопоследовательностями. Экспериментальные результаты показали, что предлагаемый алгоритм работает быстрее в 4 раза, при этом коэффициент PSNR всего на 1–4% уступает традиционному TZS.

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. Grellet M., Shafique M., Khan M.U.K. et. al. An adaptive workload management scheme for HEVC encoding // *Proc. 20th IEEE Int. Conf. on Image Processing*. Melbourne, Australia, 2013.

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. Grellet M., Shafique M., Khan M.U.K. et. al. An adaptive workload management scheme for HEVC encoding. *Proc. 20th IEEE Int. Conf. on Image Processing*. Melbourne, Australia,

- P. 1850–1854. doi: 10.1109/ICIP.2013.6738381
4. Jain J., Jain A. Displacement measurement and its application in interframe image coding // *IEEE Transaction on Communications*. 1981. V. 29. N 12. P. 1799–1808. doi: 10.1109/TCOM.1981.1094950
 5. Zhu C., Lin X., Chau L.-P. Hexagon-based search pattern for fast block motion estimation // *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*. 2002. V. 12. N 5. P. 349–355. doi: 10.1109/TCSVT.2002.1003474
 6. Zhu S., Ma K. -K. A new diamond search algorithm for fast block matching motion estimation // *Proc. Int. Conf. on Information, Communications and Signal Processing*. Singapore, 1997. V. 1. P. 292–296. doi: 10.1109/ICICS.1997.647106
 7. Yin P., Tourapis H.-Y.C., Tourapis A.M., Boyce J. Fast mode decision and motion estimation for JVT/H,264 // *Proc. Int. Conf. on Image Processing*. Barcelona, Spain, 2003. V. 3. P. 853–856. doi: 10.1109/ICIP.2003.1247379
 8. Joint Video Team (JVT) of ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG. Comments on Motion Estimation Algorithms in Current JM Software (JVT-Q089) // Joint Video Team Document. 17th Meeting: Nice, France, 2005.
 9. Нгуен Ван Чьонг, Тропченко А.А. Иерархический адаптивный алгоритм шаблонного поиска для оценки движения при анализе видеопоследовательности // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2016. Т. 16. № 3. С. 474–481. doi: 10.17586/2226-1494-2016-16-3-474-481
 10. Нгуен В.Ч., Тропченко А.А. Методы и алгоритмы сокращения временной избыточности видеоданных // *Сборник статей II Международной мультидисциплинарной научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки XXI века»*. Москва, 2015. Часть 2. С. 36–41.
 11. Dufaux F., Gao W., Tubaro S., Vetro A. Distributed video coding: trends and perspectives // *Eurasip Journal on Image and Video Processing*. 2009. P. 1–13. doi: 10.1155/2009/508167
 12. Ascenso J., Brites C., Pereira F. Improving frame interpolation with spatial motion smoothing for pixel domain distributed video coding // *Proc. EURASIP Conference on Speech and Image Processing. Multimedia Comm and Services*. Slovak Republic, 2005.
 13. Hong W. Coherent block-based motion estimation for motion compensated frame rate up-conversion // *Proc. Int. Conf. on Consumer Electronics (ICCE)*. Las Vegas, USA, 2010. P. 165–166. doi: 10.1109/ICCE.2010.5418935
 14. Li X., Wang R., Wang W., Wang Z., Ding S. Fast motion estimation methods for HEVC // *Proc. IEEE Int. Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting*. Beijing, China, 2014. P. 1–4. doi: 10.1109/BMSB.2014.6873547
 15. Li X., Wang R., Cui X., Wang W. Context-adaptive fast motion estimation of HEVC // *Proc. IEEE Int. Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*. Lisbon, Portugal, 2015. P. 2784–2787. doi: 10.1109/ISCAS.2015.7169264
 16. Purnachand N., Alves L.N., Navarro A. Fast motion estimation algorithm for HEVC // *Proc. IEEE Int. Conf. on Consumer Electronics*. Berlin, 2012. P. 34–37. doi: 10.1109/ICCE-Berlin.2012.6336494
 - 2013, pp. 1850–1854. doi: 10.1109/ICIP.2013.6738381
 4. Jain J., Jain A. Displacement measurement and its application in interframe image coding. *IEEE Transaction on Communications*, 1981, vol. 29, no. 12, pp. 1799–1808. doi: 10.1109/TCOM.1981.1094950
 5. Zhu C., Lin X., Chau L.-P. Hexagon-based search pattern for fast block motion estimation. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2002, vol. 12, no. 5, pp. 349–355. doi: 10.1109/TCSVT.2002.1003474
 6. Zhu S., Ma K. -K. A new diamond search algorithm for fast block matching motion estimation. *Proc. Int. Conf. on Information, Communications and Signal Processing*. Singapore, 1997, vol. 1, pp. 292–296. doi: 10.1109/ICICS.1997.647106
 7. Yin P., Tourapis H.-Y.C., Tourapis A.M., Boyce J. Fast mode decision and motion estimation for JVT/H,264. *Proc. Int. Conf. on Image Processing*. Barcelona, Spain, 2003, vol. 3, pp. 853–856. doi: 10.1109/ICIP.2003.1247379
 8. Joint Video Team (JVT) of ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG. Comments on Motion Estimation Algorithms in Current JM Software (JVT-Q089). *Joint Video Team Document*. 17th Meeting: Nice, France, 2005.
 9. Nguyen Van Truong, Tropchenko A.A. Hierarchical adaptive rood pattern search for motion estimation at video sequence analysis. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2016, vol. 16, no. 3, pp. 474–481. (In Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2016-16-3-474-481
 10. Nguen V.T., Tropchenko A.A. Methods and algorithms for reducing temporal redundancy of video data. *Proc. II Int. Conf. on Actual Problems of Science in XXI Century*. Moscow, 2015, part 2, pp. 36–41. (In Russian)
 11. Dufaux F., Gao W., Tubaro S., Vetro A. Distributed video coding: trends and perspectives. *Eurasip Journal on Image and Video Processing*, 2009, pp. 1–13. doi: 10.1155/2009/508167
 12. Ascenso J., Brites C., Pereira F. Improving frame interpolation with spatial motion smoothing for pixel domain distributed video coding. *Proc. EURASIP Conference on Speech and Image Processing. Multimedia Comm and Services*. Slovak Republic, 2005.
 13. Hong W. Coherent block-based motion estimation for motion compensated frame rate up-conversion. *Proc. Int. Conf. on Consumer Electronics, ICCE*. Las Vegas, USA, 2010, pp. 165–166. doi: 10.1109/ICCE.2010.5418935
 14. Li X., Wang R., Wang W., Wang Z., Ding S. Fast motion estimation methods for HEVC. *Proc. IEEE Int. Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting*. Beijing, China, 2014, pp. 1–4. doi: 10.1109/BMSB.2014.6873547
 15. Li X., Wang R., Cui X., Wang W. Context-adaptive fast motion estimation of HEVC. *Proc. IEEE Int. Symposium on Circuits and Systems, ISCAS*. Lisbon, Portugal, 2015, pp. 2784–2787. doi: 10.1109/ISCAS.2015.7169264
 16. Purnachand N., Alves L.N., Navarro A. Fast motion estimation algorithm for HEVC. *Proc. IEEE Int. Conf. on Consumer Electronics*. Berlin, 2012, pp. 34–37. doi: 10.1109/ICCE-Berlin.2012.6336494

Авторы

Нгуен Ван Чьонг – аспирант, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, thientruong.mars@gmail.com

Тропченко Андрей Александрович – кандидат технических наук, доцент, доцент, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, zayka_98rus@mail.ru

Authors

Nguyen Van Truong – postgraduate, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, thientruong.mars@gmail.com

Andrey A. Tropchenko – PhD, Associate professor, Associate professor, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, zayka_98rus@mail.ru