

## ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТОДА КОМПЕНСАЦИИ ДВИЖЕНИЯ

*Дам Чонг Нам, аспирант Московского физико-технического института (национального исследовательского университета), e-mail: chong.dam@phystech.edu.*

### IMPLEMENTATION FEATURES OF THE MODIFIED MOTION COMPENSATION METHOD

*Dam Trong Nam*

*This work is dedicated to the research and development of the modified motion compensation method for the wavelet-based video codec Dirac. The paper briefly mentions the problem and the essence of the modified method. Then the implementation features of the modified method and the modified method processing results are described. Compared with the traditional motion compensation method, the usage of the modified method in the considered video codec can reduce bitrate up to 20 % for good reconstruction quality PSNR = 40 dB and up to 33 % for excellent quality PSNR = 42 dB for frame splitting case 16x16. In the case of block size 32x32, the proposed method can reduce bitrate from 3 % to 33 % for quality PSNR = 40 dB and from 2 % to 40 % for quality PSNR = 42 dB.*

**Key words:** video coding, approximation function, motion estimation, motion compensation.

**Ключевые слова:** видеокодирование, функция аппроксимации, анализ движения, компенсация движения.

#### Введение

Для уменьшения временной избыточности в видеокodeках используется анализ и компенсация движения. В работе [1] предложен модифицированный метод компенсации движения, основанный на применении другой функции стоимости, в которой введена так называемая функция аппроксимации. Было отмечено, что для применения модифицированного метода нужно решить проблемы, связанные с дополнительными параметрами функции аппроксимации, такие как метод их определения, требуемая точность и способ их передачи. С целью проверки практической значимости модифицированного метода разработана экспериментальная программа, написанная на C++, которая используется для исследования предложенных функций аппроксимации. По оценке энтропии данных, необходимых для кодирования, и по качеству восстановленного кадра был сделан вывод, что среди исследованных функций аппроксимации наиболее подходящей для задачи сжатия видео является линейная функция аппроксимации и модифицированный метод может уменьшить объем кодируемых данных при заданном качестве восстановления.

Данная работа посвящена внедрению модифицированного метода в конкретный видеокodeк Dirac и описанию особенностей модифицированного метода. Настоящая статья организована следующим образом. Сначала коротко приведена постановка задачи, затем описаны особенности модифицированного метода компенсации движения, и в конце статьи приведены результаты обработки по модифицированному методу.

*Работа посвящена исследованию и разработке модифицированного метода компенсации движения для вейвлет-видеокodeка Dirac. В работе коротко упомянуты постановка задачи и суть модифицированного метода. Затем описаны особенности реализации модифицированного метода и результаты обработки по модифицированному методу. По сравнению с традиционным методом компенсации движения, применение модифицированного метода в рассматриваемом видеокodeке может уменьшить выходной поток до 20 % при хорошем качестве восстановления PSNR = 40 дБ и до 33 % при отличном качестве PSNR = 42 дБ для случая разбиения кадра на блоки 16x16. А для случая размера блока 32x32, применение предложенного метода позволит уменьшить выходной поток от 3 % до 33 % для качества PSNR = 40 дБ и от 2 % до 40 % для качества PSNR = 42 дБ.*

#### Постановка задачи

Для уменьшения временной избыточности в современных видеокodeках используются процедуры анализа и компенсации движения. С целью исследования и проверки практической значимости модифицированного метода компенсации движения был выбран вейвлет-видеокodeк Dirac. При реализации предложенного метода кроме векторов движения нужно дополнительно передавать параметры функции аппроксимации для каждого блока.

#### Особенности модифицированного метода компенсации движения

В работе [1] кроме простейшей функции аппроксимации  $Y = X$ , соответствующей традиционному методу компенсации движения, для улучшения качества предсказания рассмотрены другие элементарные функции, представленные в табл. 1.

Традиционный метод служит эталоном для сравнения предложенных методов с более сложной функцией аппроксимации. Качество методов оценивается кривой

зависимости уровня искажений от скорости выходного потока (rate-distortion curve, далее RD-кривая). В модифицированном методе для каждого блока кроме вектора движения передаются еще дополнительные параметры  $(a, b)$  (см. [1]), которые определяются вместе с вектором движения условием минимизации функции стоимости:

$$SAD(V_x, V_y) = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} |Y(x+m, y+n) - F(X(x+V_x+m, y+V_y+n))| \quad (1)$$

Таблица 1. Список исследованных функций аппроксимации

Номер метода	Функции аппроксимации	Обозначение на графике
0	$F(X) = X$	ref
1	$F(X) = aX + b$	linear
2	$F(X) = bX^a$	power
3	$F(X) = be^{aX}$	exp
4	$F(X) = a \cdot \ln(X) + b$	log
5	$F(X) = (a/X) + b$	hyp1
6	$F(X) = X/(bX + a)$	hyp2
7	$F(X) = bX^{aX}$	powOfLinear
8	$F(X) = bX^{a/X}$	powOfHyp

Здесь  $Y(u, v)$  – значение яркости пикселя с координатами  $(u, v)$  в текущем кадре;  $X(u, v)$  – значение яркости пикселя с координатами  $(u, v)$  в опорном кадре;  $M \times N$  – размер блока;  $(V_x, V_y)$  – вектор движения;  $(x, y)$  – координаты верхнего левого угла рассматриваемого блока в текущем кадре.

**Определение дополнительных параметров**

Дополнительные параметры определяются на этапе поиска движения вместе с вектором движения. К примеру, для первой функции – линейной функции аппроксимации, параметры  $a, b$  можно вычислить, используя метод наименьших квадратов:

$$\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (Y(x+i, y+j) - (aX(x+i, y+j) + b))^2 \rightarrow Min. \quad (2)$$

Решение условия (2) представлено формулой (3):

$$a = \frac{\overline{XY} - \overline{X}\overline{Y}}{\overline{X^2} - (\overline{X})^2}; \quad b = \overline{Y} - a\overline{X}, \quad (3)$$

где  $\overline{X}$  обозначает среднее значение  $X$  по всем пикселям блока.

Другие функции аппроксимаций могут привести к линейной зависимости путем преобразования переменных, процесс поиска движения выполняется аналогичным образом как для первой функции аппроксимации. К

примеру, для второго режима, сделав преобразование по формуле (4) получим линейную функцию новых переменных:

$$Y = bX^a \xrightarrow{y=\ln(Y), x=\ln(X); A=a, B=\ln(b)} y = Ax + B \quad (4)$$

В этом случае под дополнительными параметрами понимаются параметры  $(A, B)$  полученной линейной зависимости которые аналогично вычисляются по формуле (3) с использованием новых переменных:

$$A = \frac{\overline{xy} - \overline{x}\overline{y}}{\overline{x^2} - (\overline{x})^2}, \quad B = \overline{y} - A\overline{x}. \quad (5)$$

Заметим, что для общности можно записать, что для первой функции аппроксимации выполняется преобразование  $x = X, y = Y, A = a, B = b$ . Таким образом для удобства обработки целесообразно ввести преобразования и новые формулы передаваемых дополнительных параметров, представленные в табл. 2.

С помощью формул преобразования, приведенных в табл. 2, для всех исследованных функций аппроксимации получаются:

– единственная функция аппроксимации в новых переменных:  
 $y = Ax + b;$  (6)

– дополнительные параметры в новых переменных, которые сохраняются/передаются и используются для предсказания кадра с помощью предложенного способа:

$$A = \frac{\overline{xy} - \overline{x}\overline{y}}{\overline{x^2} - (\overline{x})^2}, \quad B = \overline{y} - A\overline{x}. \quad (7)$$

**Точность и способ передачи дополнительных параметров**

По формуле (7) легко заметить, что в общем случае дополнительные параметры для всех исследованных функций аппроксимации принимают действительные, а не целые значения, так что нужно сохранять/передавать дополнительные параметры с необходимой точностью, иначе качество восстановленного кадра будет невысоким.

Нужно отметить, что модифицированный метод компенсации движения ориентируется на высокое качество предсказания, так что сначала необходимо определить высокие точности параметров для каждой функции аппроксимации, которые обеспечивают максимальное качество предсказания и превышение которых практически не дает улучшения в качестве предсказания, а далее исследовать точности дополнительных параметров пу-

Таблица 2. Формулы преобразования переменных и передаваемых параметров исследованных функций аппроксимации

Номер функции аппроксимации	Функции аппроксимации	Формулы преобразования	Формулы передаваемых параметров
1	$Y = aX + b$	$x = X, y = Y$	$A = a, B = b$
2	$Y = bX^a$	$x = \ln(X), y = \ln(Y)$	$A = a, B = \ln(b)$
3	$Y = be^{aX}$	$x = X, y = \ln(Y)$	$A = a, B = \ln(b)$
4	$Y = a \cdot \ln(X) + b$	$x = \ln(X), y = Y$	$A = a, B = b$
5	$Y = (a/X) + b$	$x = 1/X, y = Y$	$A = a, B = b$
6	$Y = X/(bX + a)$	$x = 1/X, y = 1/Y$	$A = a, B = b$
7	$Y = bX^{aX}$	$x = X \cdot \ln(X), y = \ln(Y)$	$A = a, B = \ln(b)$
8	$Y = bX^{a/X}$	$x = \ln(X)/X, y = \ln(Y)$	$A = a, B = \ln(b)$

тем подбора менее высоких точностей и оценивать итоговые результаты при снижении точности дополнительных параметров.

Самая высокая точность дополнительных параметров (A, B) для первой функции можно определить по формуле (8):

$$Y = Y(a, b) = aX + b = AX + B \rightarrow \Delta Y = X\Delta A + \Delta B$$

$$X \in [1, 255] \rightarrow \Delta A \approx 0,01; \Delta B \approx 1 \rightarrow \Delta Y \in [1, 4]$$

С указанной точностью параметров предсказание яркости пикселя осуществляется с ошибкой от 1 до 4, что гарантирует высокое качество предсказания.

Аналогично для второй функции аппроксимации, высокая точность дополнительных параметров (A, B) определяется по формуле 9:

$$Y = bX^a \xrightarrow{y=\ln(Y), x=\ln(X); A=a, B=\ln(b)} y = Ax + B$$

$$y = Ax + B \rightarrow \Delta y = x\Delta A + \Delta B$$

$$\xrightarrow{\Delta y = \frac{\Delta Y}{Y}; x = \ln(X)} \Delta Y = Y \ln(X)\Delta A + Y\Delta B$$

$$X, Y \in [1, 255] \rightarrow \Delta A \approx 0,001; \Delta B \approx 0,01$$

Выполнив аналогичные оценки для всех предложенных функций аппроксимации, получим самые высокие точности дополнительных параметров для исследованных функций аппроксимации, представленные в табл. 3.

#### Способ передачи дополнительных параметров

Как и вектор движения, каждый компонент A и B передается отдельно в связи с тем, что каждый компонент

принимает значения из определенного диапазона и эти значения оказываются в какой-то степени коррелированы.

#### Результаты

В работе кадр разбивается на блоки некоторых размеров, таких как, 32×32, 16×16, 8×8. В качестве примера на рис. 1-2 представлены RD-кривые исследованных функций аппроксимации для видео «1080p\_riverbed» и «1080p\_rush\_hour» [5] в случае размера блока 16×16.

Из рис. 1-2 можно сделать вывод, что среди исследованных функций аппроксимации наиболее подходящими являются функции 1, 2, 6 (см. табл. 1). При этом наилучшей является первая функция – линейная функция аппроксимации. Если сравнить с традиционным методом поиска и компенсации движения, результат которого обозначается «16×16\_ref» на рис. 1-2, то модифицированный метод с различными функциями аппроксимации выигрывает у традиционного метода. Сделанный выше вывод также подтверждается аналогичным анализом для разных размеров блока с рядом видео различных типов [5].

Если в качестве функции аппроксимации выбрана наилучшая функция – линейная и проводится сравнение модифицированного метода с традиционным для разных размеров блока, то получаются результаты, представленные на рис. 3-6 в качестве примера для видео «1080p\_riverbed» и «1080p\_rush\_hour».

Таблица 3. Оценка самых высоких точностей параметров исследованных функций аппроксимации для задачи сжатия видео

№	Формула функций аппроксимации	Оценка ошибки квантования передаваемых параметров	Самые высокие нужные точности параметров
1	$F(X) = aX + b$	$\Delta Y = X\Delta A + \Delta B$	$\Delta A \approx 0,01; \Delta B \approx 1$
2	$F(X) = bX^a$	$\Delta Y = Y \ln(X)\Delta A + Y\Delta B$	$\Delta A \approx 0,001; \Delta B \approx 0,01$
3	$F(X) = beaX$	$\Delta Y = YX\Delta A + Y\Delta B$	$\Delta A \approx 0,0001; \Delta B \approx 0,01$
4	$F(X) = a \cdot \ln(X) + b$	$\Delta Y = \ln(X)\Delta A + \Delta B$	$\Delta A \approx 0,1; \Delta B \approx 1$
5	$F(X) = (a/X) + b$	$\Delta Y = (1/X)\Delta A + \Delta B$	$\Delta A \approx 10; \Delta B \approx 1$
6	$F(X) = X/(bX + a)$	$\Delta Y = (Y^2 / X)\Delta A + Y^2\Delta B$	$\Delta A \approx 0,01; \Delta B \approx 0,0001$
7	$F(X) = bX^{aX}$	$\Delta Y = YX \ln(X)\Delta A + Y\Delta B$	$\Delta A \approx 0,00001; \Delta B \approx 0,01$
8	$F(X) = bX^{a/X}$	$\Delta Y = (Y \ln(X) / X)\Delta A + Y\Delta B$	$\Delta A \approx 0,1; \Delta B \approx 0,01$

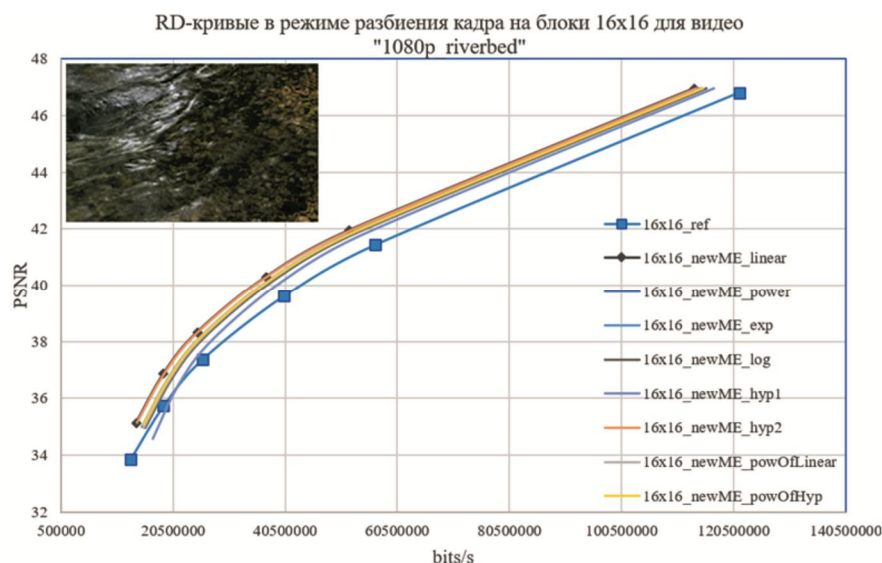


Рис. 1. RD-кривые в режиме разбиения кадра на блоки 16×16 для видео «1080p\_riverbed»

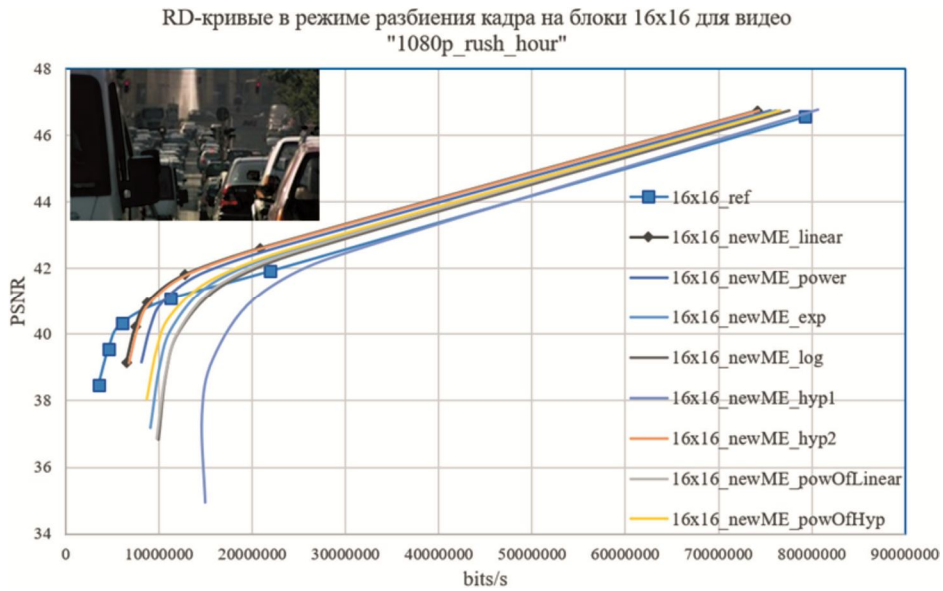


Рис. 2. RD-кривые в режиме разбиения кадра на блоки 16×16 для видео «1080p\_rush\_hour»

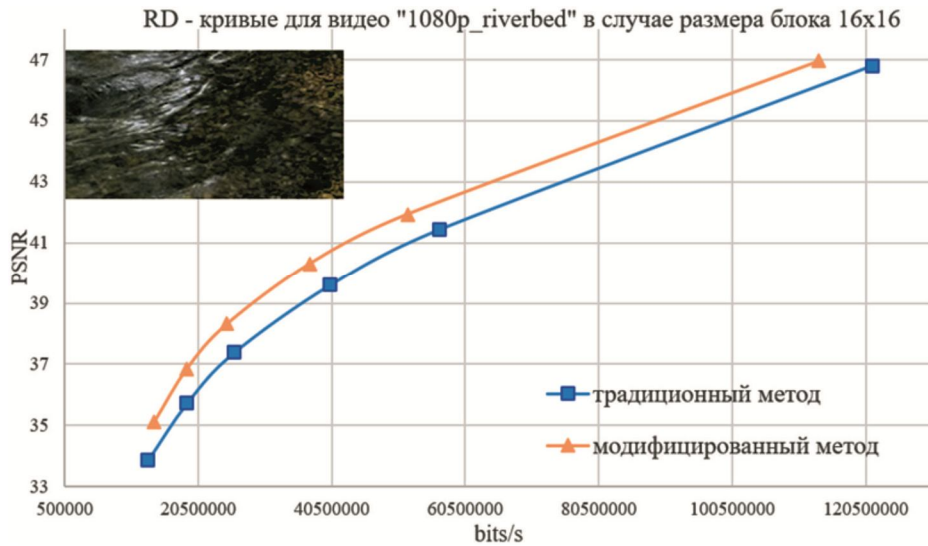


Рис. 3. Сравнение RD-кривых модифицированного и традиционного методов для видео «1080p\_riverbed» в случае размера блока 16×16

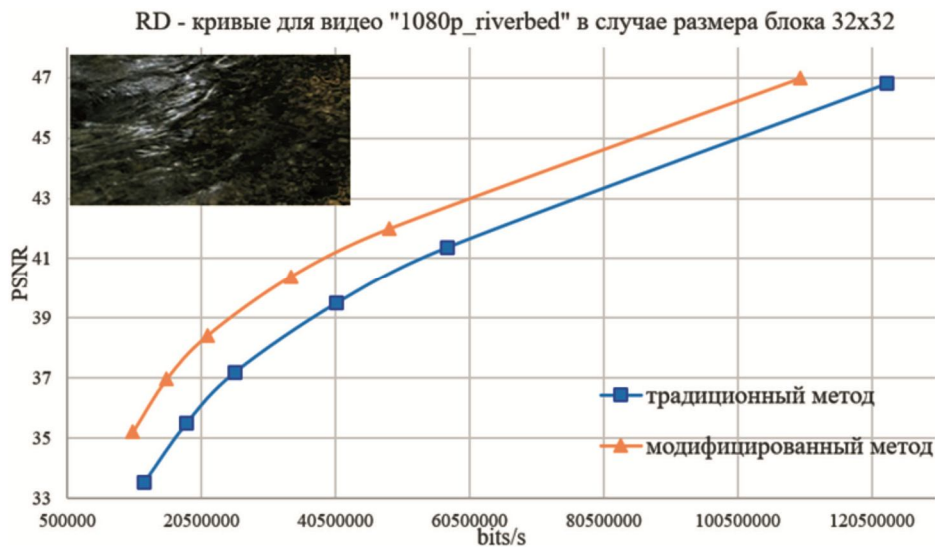


Рис. 4. Сравнение RD-кривых модифицированного и традиционного методов для видео «1080p\_riverbed» в случае размера блока 32×32

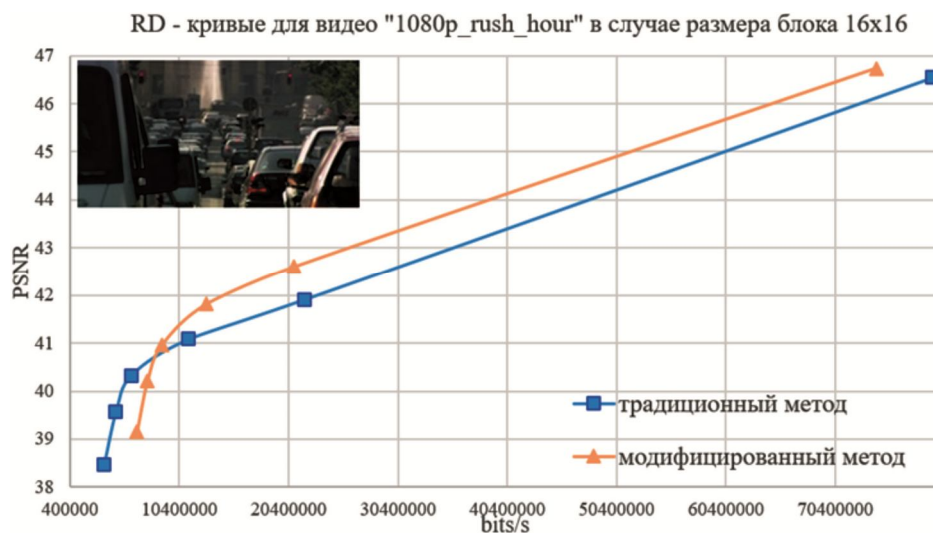


Рис. 5. Сравнение RD-кривых модифицированного и традиционного методов для видео «1080p\_rush\_hour» в случае размера блока 16×16

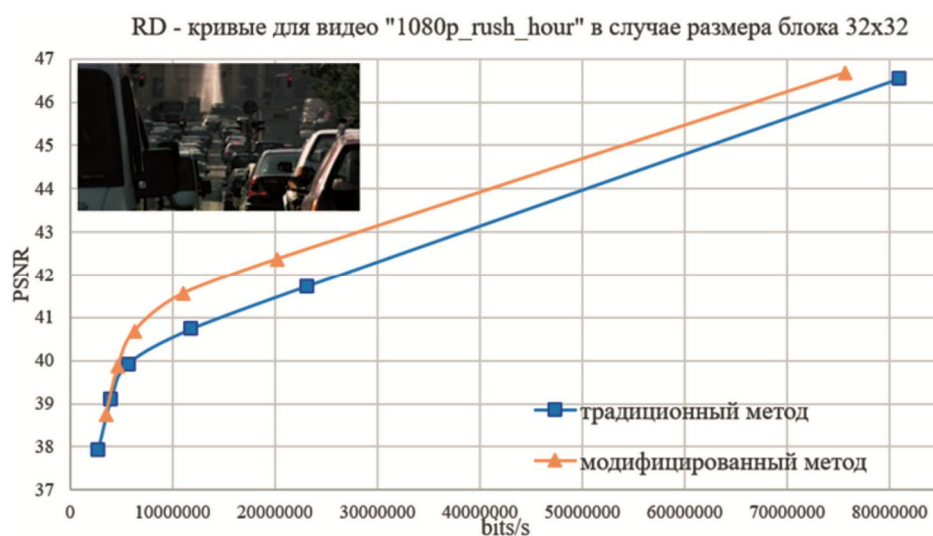


Рис. 6. Сравнение RD-кривых модифицированного и традиционного методов для видео «1080p\_rush\_hour» в случае размера блока 32×32

Таблица 4. Выигрыш модифицированного метода в сравнении с традиционным методом по скорости выходного потока при заданном качестве восстановления

видео \ PSNR	16×16		32×32	
	40	42	40	42
1080p_blue_sky	-	2 %	5,5 %	9 %
1080p_pedestrian_area	10 %	20 %	33 %	29 %
1080p_riverbed	19,5 %	17 %	30 %	25 %
1080p_rush_hour	-	33 %	20 %	40 %
1080p_station2	0	12,5 %	19 %	15 %
1080p_sunflower	-	9 %	12,5 %	12 %
1080p_tractor	3 %	7,5 %	17 %	14 %
720p_mobcal_ter	2 %	2 %	4,5%	2,5 %
720p_shields_ter	2 %	4 %	3 %	2 %
720p_stockholm	3 %	2 %	4 %	3 %
4cif_crew	17 %	14 %	22 %	17 %
4cif_soccer	4 %	4 %	8,5%	7 %

Проведение численного сравнения скорости выходного потока при заданном качестве восстановления для

ряда видео различных типов [5] в разных случаях размера блока, привело к результатам, представленные в табл. 4.

Из табл. 4 и также из графиков, построенных при проведенном анализе, можно сделать следующие выводы:

– Модифицированный метод выигрывает у традиционного метода при хорошем качестве восстановления (например, PSNR = 40) и при высоком качестве восстановления (например, PSNR = 42). В общем случае RD-кривые для предложенного метода и эталонного метода пересекаются в точке со значением PSNR в районе от 35 до 37 дБ, то есть, для участка RD-кривой с относительно низким качеством модифицированный метод проигрывает традиционному, однако этот участок не является интересующим для многих приложений сжатия видео.

– Для видео высокого разрешения 1080 p (1920x1080) модифицированный метод существенно уменьшает выходной поток при заданном качестве восстановления, что также объясняет актуальность и практическую значимость модифицированного метода в связи с тем, что требование пользователей увеличивается и часто нужно передавать видео высокого разрешения с требованием высокого качества восстановления.

– Чем сложнее тестовые видео для предсказания (изменения в сцене существенно отличаются от плоскопараллельного перемещения), тем лучше модифицированный метод по сравнению с традиционным.

– Для случая размера блока 16×16 модифицированный метод может сократить выходной поток до 20 % при хорошем качестве восстановления PSNR = 40 дБ и до 33 % при отличном качестве восстановления PSNR = 42 дБ. А для случая размера блок 32×32 применение модифицированного метода позволяет уменьшить выходной поток от 3% до 33% для качества восстановления PSNR = 40 дБ и от 2% до 40% для качества восстановления PSNR = 42 дБ.

## Заключение

В работе коротко приведена постановка задачи, состоящая в том, что нужно адаптировать в вейвлет-видеокодек Dirac модифицированный метод компенсации движения, основанный на новой функции стоимости, в которой введена функция аппроксимации. В работе также описаны особенности модифицированного метода и результаты обработки по модифицированному методу. Модифицированный метод внедрен в вейвлет-видеокодек Dirac и по результатам обработки множественных видео различных типов получены следующие выводы:

1. Применение модифицированного метода в рассматриваемом видеокодеке может уменьшить выходной поток до 33 % при хорошем качестве восстановления PSNR = 40 дБ и до 40 % при отличном качестве PSNR = 42 дБ.

2. Чем сложнее тестовые видео для предсказания (изменения в сцене отличаются от плоскопараллельного перемещения), тем лучше модифицированный метод по сравнению с традиционным.

## Литература

1. Дам Чонг Нам. Улучшение качества традиционного метода компенсации движения // Цифровая обработка сигналов. 2019. №3 (настоящий номер).
2. Dirac video codec // <https://sourceforge.net/projects/dirac/>
3. Гриценко В.А., Белосевич Е.В., Артищева Е.К. Математические методы в географии: Учебное пособие / Калинингр. ун-т. – Калининград, 1999. – 75 с. – ISBN 5-88874-151-5.
4. Фёрстер Э., Рёнц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа. Руководство для экономистов. Перевод с немецкого и предисловие В. М. Ивановой, М.: «Финансы и статистика», 1983 г. – 304 с.
5. Тестовые видео // <https://media.xiph.org/video/derf/>