

УДК 621.327:681.5

Б.В. Остроумов,
кандидат технических наук
А.А. Леках,
Ю.П. Бойко

МЕТОД ОЦЕНКИ ИНТЕНСИВНОСТИ ПОТОКА СЖАТЫХ ВИДЕОКАДРОВ

В статье анализируются характеристики оценки эффективности метода обработки динамических изображений стационарного фона с учетом формирования дифференциально-представленного кадра на основе выявления динамической составляющей, двоичной маски и матрицы знаков. Показано, что данные характеристики зависят от объемов потоков сжатых кадров.

Ключевые слова: степень сжатия, порог фильтрации, объем сжатого кадра, пиковое отношение сигнал/шум, технология MPEG.

У статті аналізуються характеристики оцінки ефективності методу обробки динамічних зображень стаціонарного фону з урахуванням формування диференційно-представленого кадру на основі виявлення динамічної складової, двійкової маски і матриці знаків. Показано, що ці характеристики залежать від обсягів потоків стислих кадрів.

Ключові слова: ступінь стиснення, поріг фільтрації, обсяг стисненого кадру, пікове відношення сигнал/шум, технологія MPEG.

Paper examines several characteristics of the performance evaluation method of the processing of the stationary background of the dynamic images with the formation of a differential-frame, represented by the identifying of the dynamic component, a binary mask and the matrix signs. It is shown that these characteristics depend on the volume flow of compressed frames.

Keywords: compression degree, filtering threshold, amount of compressed frame, peak signal / noise ratio, MPEG technology.

Осуществление своевременной передачи видеоданных является основной задачей телекоммуникационных сетей, которые входят в состав информационных систем [1–3]. Для решения поставленных задач в системах объективного видео-контроля выдвигаются требования ко времени передачи данных и их достоверности. Однако время передачи изображений в автоматизированных системах видеонаблюдения и контроля за грузом и целостностью железнодорожных вагонов в движении ограничено. Поэтому для повышения производительности систем передачи информации необходимо применять методы обработки изображений, которые уменьшают объем данных, но при этом сохраняют информационное содержание.

С этой целью разработана технология компрессии динамических кадров стационарного фона на основе формирования дифференциально-представленного кадра с выявлением и последующей обработкой динамической составляющей, двоичной маски и матрицы знаков [4; 5]. Однако для оценки эффективности

разработанной технологии необходимо оценить интенсивность потока сжатых видеокадров и усредненного по кадрам коэффициента сжатия при различных значениях порога фильтрации.

Отсюда *цель научно-прикладных исследований* состоит в построении метода оценки интенсивности потока сжатых видеокадров и усредненного по кадрам коэффициента сжатия при различных значениях порога фильтрации в телекоммуникационной сети для разработанной технологии компактного представления данных.

Оценка интенсивности потока сжатых видеокадров проводится для разработанной технологии сжатия динамических изображений стационарного фона с учетом формирования дифференциально-представленного кадра. Данная технология базируется на обработке динамической составляющей за счет одномерного позиционного кодирования с адаптивным выбором основания, на обработке двоичной маски стационарного фона за счет кодирования по мощности двух алфавитов длин двоичных серий и на обработке матрицы знаков за счет кодирования по мощности алфавита с учетом структурного подобия с матрицей двоичной маски.

Основной характеристикой эффективности метода обработки видеопотока является степень сжатия кадра. Расчетные значения по степени сжатия $\bar{k}_{сж}$ для усредненного кадра находятся по формуле:

$$\bar{k}_{сж} = \frac{V_{исх}}{\bar{V}_к}, \quad (1)$$

где $\bar{k}_{сж}$ – коэффициент сжатия для усредненного кадра; $V_{исх}$ – количество бит для представления исходного кадра, равное $V_{исх} = M \cdot N \cdot 24(\text{бит})$.

Средний объем $\bar{V}_к$ для одного кадра сжатого представления в потоке задается выражением

$$\bar{V}_к = \frac{\sum_{i=1}^{f_k} V_{к,i}}{f_k}, \quad (2)$$

где $V_{к,i}$ – количество бит на один кадр сжатого представления; f_k – частота кадров в секунду; $\sum_{i=1}^{f_k} V_{к,i}$ – сжатое представление потока из f_k кадров.

Подставив в соотношение (1) выражение (2) для величины $\bar{V}_к$, получим следующую формулу $k_{сж} = f_k V_{исх} / \sum_{i=1}^{f_k} V_{к,i}$.

Объем сжатого кадра $V_к$ определяется по объему трех составляющих: яркостной компоненты Y, цветоразностных компонент Cb и Cr. Откуда величина $V_к$ будет равна

$$V_k = V_k^{(Y)} + V_k^{(Cb)} + V_k^{(Cr)},$$

где $V_k^{(Y)}$ – объем в битах для компактного представления яркостной компоненты Y ; $V_k^{(Cb)}$ – объем в битах для компактного представления цветоразностной компоненты Cb ; $V_k^{(Cr)}$ – объем в битах для компактного представления цветоразностной компоненты Cr .

Объем базовых компонент цветоразностной модели сжатого представления определяется следующими составляющими: объемом $L(r)_\Sigma$ компактного представления матрицы двоичной маски Q , объемом $L(r(h))_\Sigma$ компактного представления вектора знаков W и объемом $L(u)_\Sigma$ компактного представления динамической составляющей $I_{\text{дин}}$.

Следовательно, объемы $V_k^{(Y)}$, $V_k^{(Cb)}$ и $V_k^{(Cr)}$ будут соответственно оцениваться по выражениям:

$$V_k^{(Y)} = L(r)_{\Sigma,1} + L(r(h))_{\Sigma,1} + L(u)_{\Sigma,1};$$

$$V_k^{(Cb)} = L(r)_{\Sigma,2} + L(r(h))_{\Sigma,2} + L(u)_{\Sigma,2};$$

$$V_k^{(Cr)} = L(r)_{\Sigma,3} + L(r(h))_{\Sigma,3} + L(u)_{\Sigma,3},$$

где $L(r)_{\Sigma,\xi}$ – объем компактного представления матрицы двоичной маски Q ; $L(r(h))_{\Sigma,\xi}$ – объем компактного представления вектора знаков W ; $L(u)_{\Sigma,\xi}$ – объем компактного представления динамической составляющей $I_{\text{дин}}$.

Объем $L(r)_\Sigma$ матрицы двоичной маски Q зависит от количества длин серий нулей и единиц двоичной маски, а также от максимальных значений длин серий нулей и единиц двоичной маски, и задается формулой

$$L(r)_\Sigma = \Phi_0 \log_2 r(0)_{\max} + \Phi_1 \log_2 r(1)_{\max},$$

где Φ_0 – количество длин серий нулей двоичной маски сжатого кадра; Φ_1 – количество длин серий единиц двоичной маски сжатого кадра; $r(0)_{\max}$ – максимальная длина серии нулей двоичной маски сжатого кадра; $r(1)_{\max}$ – максимальная длина серии единиц двоичной маски сжатого кадра.

Объем $L(r(h))_\Sigma$ вектора знаков W зависит от количества длин серий вектора знаков, а также от максимального значения длины серии вектора знаков, и находится по соотношению $L(r(h))_\Sigma = \Phi_h \log_2 r(h)_{\max}$, где Φ_h – количество длин серий для двоичного вектора указателей знаков динамической составляющей сжатого кадра; $r(h)_{\max}$ – максимальная длина серии двоичного вектора указателей знаков динамической составляющей сжатого кадра.

Объем $L(u)_\Sigma$ динамической составляющей $I_{\text{дин}}$ зависит от накопленного произведения оснований u -го массива динамической составляющей D_u , а также от

количества разрядов на представление значения кода позиционного числа, формируемого адаптивно для каждого столбца массива динамической составляющей D_u , и вычисляется по следующим выражениям:

$$L(u)_{\Sigma} = \sum_{j=1}^{n_{\text{дин}}} L(u)_j; \quad L(u)_j = [\log_2 \lambda_u^{n_{\text{дин}}} - 1] + 1,$$

где $L(u)_j$ – количество разрядов на представление значения кода позиционного числа, формируемое адаптивно для каждого столбца массива динамической составляющей D_u ; $\lambda_u^{n_{\text{дин}}}$ – накопленное произведение оснований u -го массива динамической составляющей D_u . Тогда величина $\bar{k}_{\text{сж}}$ равна

$$\bar{k}_{\text{сж}} = \frac{f_k \cdot M \cdot N \cdot 24}{\sum_{i=1}^{f_k} \sum_{\xi=1}^3 (L(r)_{\Sigma, \xi, i} + L(r(h))_{\Sigma, \xi, i} + L(u)_{\Sigma, \xi, i})}.$$

Здесь ξ – индекс, указывающий на тип плоскости цветоразностной модели: $\xi=1 \rightarrow Y$; $\xi=2 \rightarrow Cb$; $\xi=3 \rightarrow Cr$.

Объемы сжатого представления зависят от количества вносимых в процессе обработки искажений. Характеристики степени вносимых искажений оцениваются с помощью среднеквадратических показателей, а именно среднеквадратического отклонения $\delta(\Delta P)$, которое задается выражением

$$\delta(\Delta P) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (a_{ij}^{(\xi)} - a'_{ij}^{(\xi)})^2}{M \cdot N}}$$

и пикового отношения сигнал/шум $\rho(\Delta P)$, которое вычисляется по формуле

$$\rho(\Delta P) = 20 \lg \frac{256}{\delta(\Delta P)}.$$

Здесь $a_{ij}^{(\xi)}$ – i,j -й элемент исходного ξ -го кадра; $a'_{ij}^{(\xi)}$ – i,j -й элемент восстановленного ξ -го кадра; M – длина столбца исходного кадра; N – длина строки исходного кадра.

Для предложенного метода величина пикового отношения сигнал/шум $\rho(\Delta P)$ зависит от величины порогового значения ΔP , с увеличением порогового значения ΔP пиковое отношение сигнал/шум $\rho(\Delta P)$ уменьшается.

Проведем оценку эффективности разработанной технологии сжатия на основе экспериментальной программно-аппаратной реализации для динамических изображений стационарного фона. Видеосъемка динамических изображений в потоке

проводиться в умовах стаціонарності відеокамери. Величина вносимих искажень регулюється порогом фільтрації ΔP при формуванні двоичної маски. При виборі порога учитувались неравнозначні навантаження кольорових складових на зрительне сприйняття декодованих зображень, а саме переважання яркостної компоненти над кольоровими компонентами. Оцінка ефективності проводилась для наступних типів режиму (порогових значень), які наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Типи режимів для базових компонентів кольорової моделі

Тип режиму	Яркостная компонента Y	Цветоразностная компонента Cb	Цветоразностная компонента Cr
Режим № 1 (без потери информации)	0:0:0	0:0:0	0:0:0
Режим № 2 (уровень качества хороший)	0:5:5	0:5:5	0:5:5
Режим № 3 (уровень качества допустимый)	5:5:5	5:5:5	5:5:5
Режим № 4 (уровень качества допустимый)	5:10:10	5:10:10	5:10:10
Режим № 5 (уровень качества удовлетворительный)	8:10:10	8:10:10	8:10:10

Діаграма залежності ступеня стиснення $k_{сж,i}^{(\Delta P)}$ кадрів від різних порогових значень ΔP показана на рис. 1.

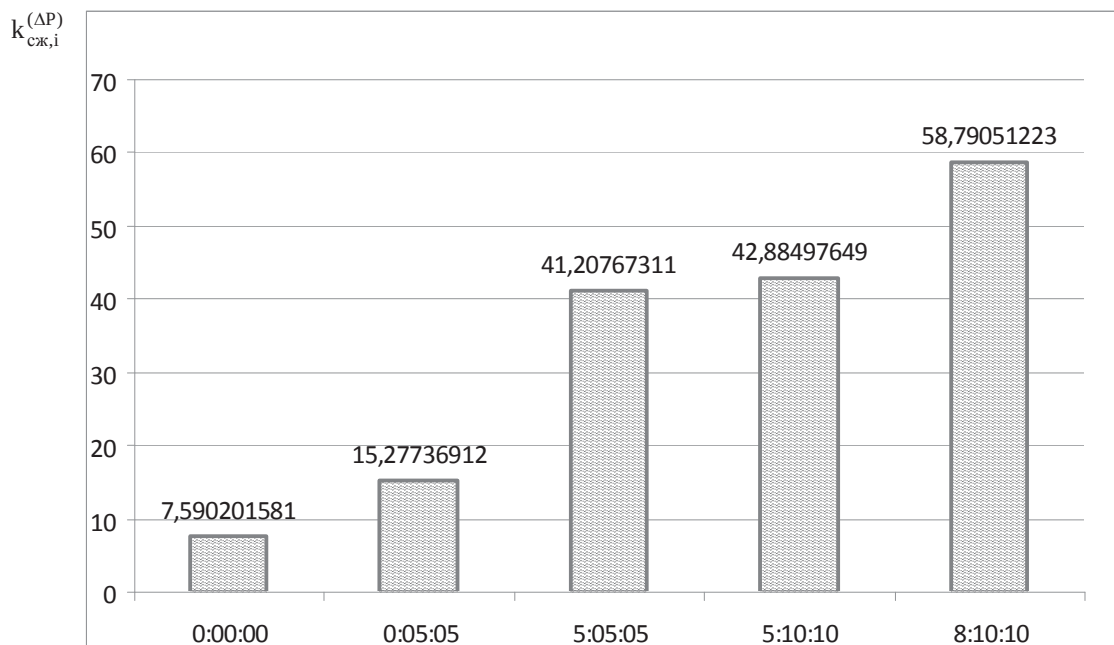


Рис. 1. Діаграма залежності ступеня стиснення $k_{сж,i}^{(\Delta P)}$ перших кадрів від різних порогових значень ΔP

Із аналізу діаграми на рис. 1 можна зробити висновок, що в залежності від порога фільтрації двоичної маски ступінь стиснення змінюється в межах від 7,6

до 58,8 раз. С ростом пороговых значений и ухудшением уровня качества степень сжатия увеличивается в среднем на 36 %.

Диаграмма зависимости степени сжатия $k_{сж,i}^{(\xi)}$ кадров видеопотока (кадры № 1, 3, 7, 11) при пороговом значении $\Delta P: \{5:5:5\}$ показана на рис. 2.

Из анализа диаграммы на рис. 2 можно сделать вывод, что степень сжатия кадров незначимо отличается друг от друга (в пределах 5 %), и составляет в среднем 40,8 раз.

Диаграмма зависимости степени сжатия $k_{сж,i}^{(\rho, \Delta P)}$ кадров для пикового отношения сигнал/шум $\rho(\Delta P)$ от пороговых значений ΔP представлена на рис. 3.

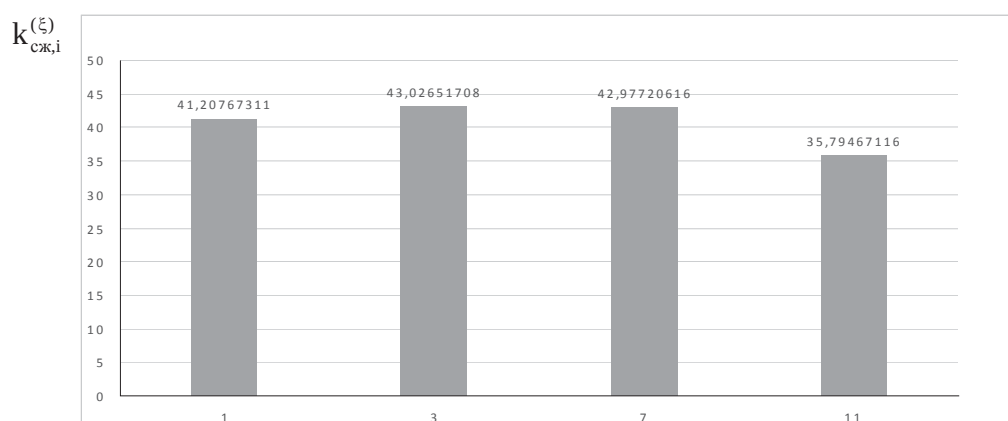


Рис. 2. Диаграмма зависимости степени сжатия $k_{сж,i}^{(\xi)}$ кадров видеопотока (кадры № 1, 3, 7, 11) при пороговом значении $\Delta P: \{5:5:5\}$

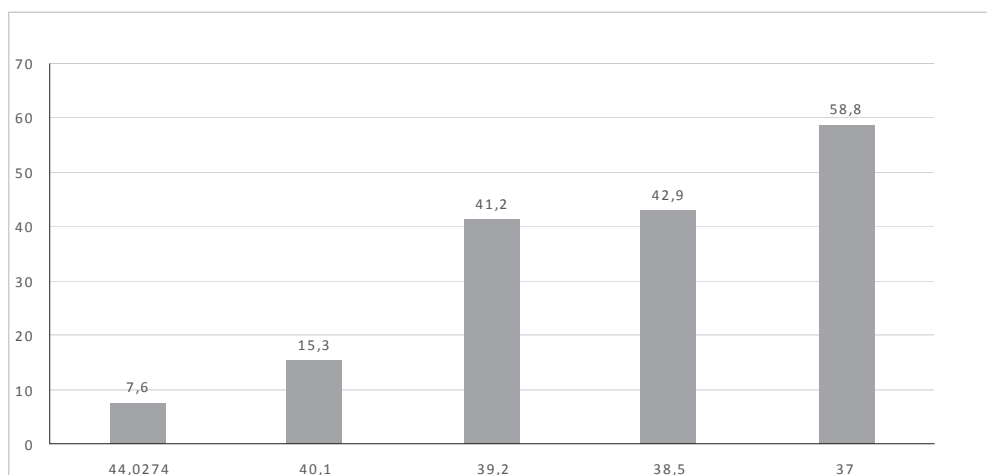


Рис. 3. Диаграмма зависимости степени сжатия $k_{сж,i}^{(\rho, \Delta P)}$ первых кадров для пикового отношения сигнал/шум $\rho(\Delta P)$ от пороговых значений

Из анализа диаграммы на рис. 3 можно сделать следующие выводы:

1. В зависимости от пороговых значений ΔP пиковое отношение сигнал/шум кадра изменяется от 44 до 37 дБ, а степень сжатия данного кадра изменяется от 7,6 до 58,8 раз.

2. С ростом порога фильтрации ΔP пиковое отношение сигнал/шум для кадров уменьшается в среднем на 4 %, а степень сжатия данных кадров увеличивается в среднем на 36 %.

Диаграмма сравнения степени сжатия $k_{сж,i}^{(p,\Delta P)}$ для пикового отношения сигнал/шум $\rho(\Delta P)$ от пороговых значений ΔP на основе разработанной технологии и на основе технологии MPEG представлена на рис. 4.

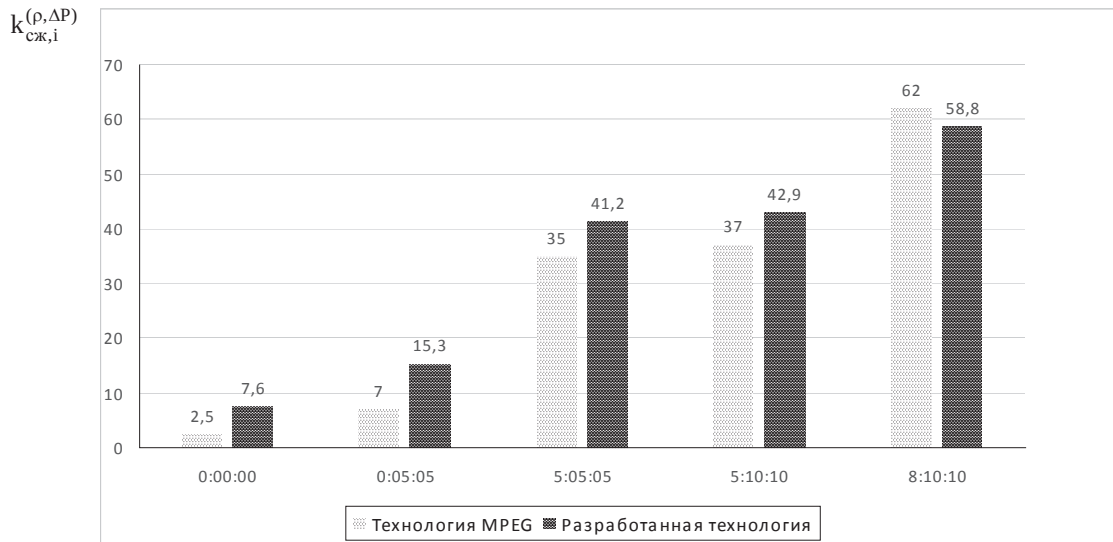


Рис. 4. Диаграмма сравнения степени сжатия $k_{сж,i}^{(p,\Delta P)}$ на основе разработанной технологии и MPEG

Из анализа диаграммы на рис. 4 можно сделать следующие выводы:

1. При пиковом отношении сигнал/шум от 44 до 38,5 дБ в зависимости от пороговых значений (режимы №№ 1, 2, 3, 4) степень сжатия для разработанной технологии в среднем на 38 % больше, чем степень сжатия для технологии JPEG.

2. При пороговом значении с удовлетворительным уровнем качества (режим № 5) от пикового отношения сигнал/шум 37 дБ степень сжатия для разработанной технологии на 5 % меньше, чем степень сжатия для технологии MPEG.

Выводы. Разработан метод оценки интенсивности потока сжатых видеок кадров с учетом затрат количества разрядов на представление двоичной маски, вектора указателей знаков и динамической составляющей в результате чего получены следующие оценки:

1) степень сжатия кадров видеопотока для разработанной технологии изменяется от 7,6 до 58,8 раз. В зависимости от порога фильтрации степень сжатия в среднем увеличивается на 36 % при уменьшении пикового отношения сигнал/шум в среднем на 4 %. Зависимость степени сжатия от номера кадра незначимо отличается друг от друга (в пределах 5 %).

2) на степень сжатия влияют: весомо – объем яркостной компоненты Y , который составляет в среднем 89 %, и объем динамической составляющей $I_{дин}$, который в среднем составляет 56 %; незначимо – объемы цветоразностных компонент S_b и S_r , которые в среднем составляют соответственно 5 % и 6 %, а также объемы составляющих двоичной маски Q и вектора знаков W , которые в среднем составляют соответственно 32 % и 12 %.

4) при изменении значений пикового отношения сигнал/шум от 44 до 38,5 дБ степень сжатия для разработанной технологии в среднем на 38 % больше, чем степень сжатия для технологии MPEG. При пиковом отношении сигнал/шум 37 дБ степень сжатия для разработанной технологии на 5 % меньше, чем степень сжатия для технологии MPEG.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аудиовизуальные системы связи и вещания: новые технологии третьего тысячелетия, задачи и проблемы внедрения в Украине / О.В. Гофайзен, А.И. Ляхов, Н.К. Михалов и др. // Праці УНДІРТ. – 2000. – № 3. – С. 3–40.
2. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : учеб. для вузов / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб. : Питер, 2006. – 958 с.
3. Баранник В.В. Кодирование трансформированных изображений в инфокоммуникационных системах / В.В. Баранник, В.П. Поляков. – Х. : ХУПС, 2010. – 212 с.
4. Леках А.А. Анализ информационных технологий обеспечения контроля за грузом и перевозками / А.А. Леках // Сучасна спеціальна техніка. – 2012. – № 3. – С. 34–40.
5. Баранник В.В. Метод кодирования служебных данных видеопотока для снижения нагрузки в инфокоммуникационных системах / В.В. Баранник, А.А. Леках, А.О. Демедский // Радио-электронные компьютерные системы. – 2013. – № 2. – С. 19–23.

Отримано 09.10.2013