

МЕТОД ВЕРИФИКАЦИИ КОДЕКА ВЕКТОРА КОРТЕЖЕЙ В СИСТЕМУ КОМПРЕССИИ БАЗОВЫХ КАДРОВ ВИДЕОПОТОКА В ИНФОКОММУНИКАЦИЯХ

Излагаются этапы разработки метода формирования компактного представления сегментированных изображений на основе выявления вектора двухкомпонентных кортежей для линеаризованных трансформант. Сравниваются зависимости для битовых скоростей в случае обработки базовых кадров потока насыщенных изображений различными методами компрессии. Выявляются режимы, для которых достигается доставка видеопотока в реальном времени. **Ключевые слова:** видеоинформационный сервис, кодирование векторов кортежей.

Введение

В современных условиях развития рынка видеоинформационных услуг набирают популярности для доставки видеоинформации беспроводные технологии [1]. Необходимо решать проблемные вопросы, связанные с превышением интенсивности видеопотока относительно пропускной способности сети. Поэтому для снижения битовой скорости используются технологии компрессии потока кадров. Одной из ключевых составляющих для развития таких технологий является повышение степени сжатия базовых кадров с заданным уровнем внесения искажений, позволяющим проводить реконструкцию всей группы кадров с заданным визуальным восприятием [2 – 4]. Для этого требуется развивать подходы, базирующиеся на кодировании трансформированных изображений с выявлением векторов двухкомпонентных кортежей. Одним из эффективных подходов является технология кодирования векторов двухкомпонентных кортежей на основе укрупненного позиционного кодирования [5; 6]. В связи с этим *цель исследований* заключается в создании метода верификация такого кодека в комплексную систему сжатия трансформированных изображений.

Основной материал

Рассмотрим особенности интеграции разработанного кодового представления усеченного вектора двухкомпонентных кортежей (ДК) линеаризованной трансформанты (ЛТ) в стандарт сжатия на JPEG платформе. Здесь, с одной стороны, необходимо учитывать следующие особенности формирования сжатого представления усеченного вектора ДК, а именно:

1) усеченный вектор P' формируется путем исключения первого кортежа, содержащего значение низкочастотной ДС-компоненты, и последнего кортежа, включающего в себя длину последней цепочки нулевых компонент, т.е.

$$P' = \{(\ell_2; c_2), \dots, (\ell_\alpha; c_\alpha), \dots, (\ell_{n_{\text{крт}}-1}; c_{n_{\text{крт}}-1})\};$$

2) количество $n_{\text{крт}}$ двухкомпонентных кортежей является переменной величиной, значение которой заранее неизвестно, и зависит от содержания сегмента изображения и фактора f потери качества в процессе квантизации компонент трансформанты. Это задается зависимостью $\varphi(f): n_{\text{крт}} = \varphi(f) = \text{var}$;

3) значение кода и длина кодограммы усеченного вектора ДК зависит от: статистических, структурных свойств сегментов изображения, режима коррекции компонент трансформант в процессе квантизации;

4) в процессе кодирования двухкомпонентных кортежей учитываются закономерности структурно-комбинаторной природы, которые выявляются для конкретно обрабатываемого фрагмента, т.е. обработка проводится адаптивно к структурным свойствам линеаризи-

рованной трансформанты. Значение кода формируется на основе лексикографии позиционных чисел. В этом случае:

– для вычисления кодового значения не требуется осуществлять предварительную оценку вероятностно-статистических характеристик трансформанты и использовать таблицы статистических кодов;

– кодовые слова не применяют принцип префиксности, который свойственен для неравномерных статистических кодов;

5) отличительной служебной информацией для разработанного кодового представления усеченного вектора ДК является двухкомпонентная система оснований, формирующаяся для длин цепочек нулевых и значимых компонент.

С другой стороны, в процессе такой интеграции необходимо учитывать требования, предъявляемые к системам компрессии изображений, а именно обеспечить снижение битовой скорости сжатого видеопотока в условиях ограниченной сложности процесса обработки и коррекций частотных составляющих. Для этого требуется обеспечить следующее:

- 1) сжатие в режиме ограниченных значений фактора потери качества;
- 2) исключение использования дополнительных служебных данных;
- 3) исключение необходимости значительного увеличения количества операций, затрачиваемых на выполнение условий интеграции кодового представления усеченного вектора ДК в систему компрессии потока видеокадров;
- 4) устойчивость кодовых комбинаций компактно представленного потока видеокадров к ошибкам в канале связи.

Интеграция кодового представления усеченного вектора ДК в технологию сжатия изображена на рис. 1.

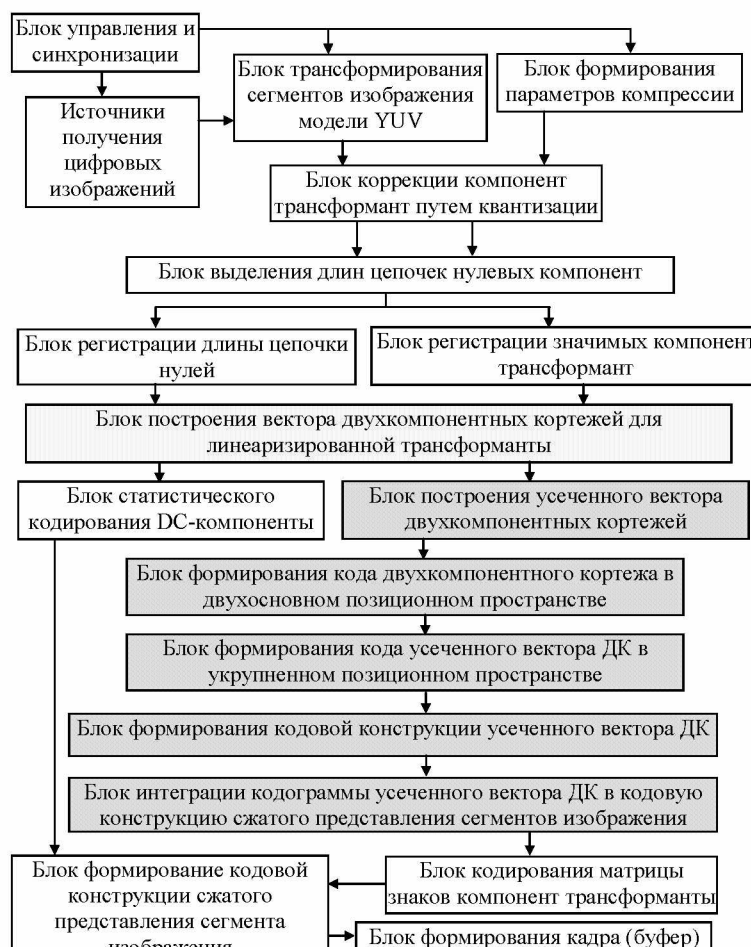


Рис. 1. Схема интеграции кодового представления усеченного вектора двухкомпонентных кортежей в технологию сжатия на платформе JPEG

Согласно схеме интеграции кодека для платформы JPEG выполняются следующие базовые этапы.

Первый этап. Перевод изображения трехцветной модели RGB в цветоразностное пространство YUV без потери информации.

В этом случае в качестве формата цветового представления используется режим обеспечения высокого качества видеосцен. Это предполагает использование формата 4:2:2 - горизонтальные размеры матриц U и V вдвое меньше размера матрицы Y, а вертикальные размеры одинаковы. Тогда структура макроблока будет неоднородной и состоять из восьми блоков, включая: четыре блока яркости и четыре блока цветности (по два блока U и V) в следующем порядке: Y1; Y2; Y3; Y4; U1; V1; U2; V2.

Второй этап связан с переводом из пространственно-временного представления сегментов в частотно-спектральное. Для этого выполняется дискретное косинусное преобразование сегментов изображения.

Третий этап заключается в проведении коррекции компонент трансформант в соответствии с фактором потери качества.

Суть четвертого базового этапа состоит в получении линеаризованного представления трансформанты с последующим выделением вектора двухкомпонентных кортежей. Кодирование низкочастотной DC-компоненты проводится на пятом этапе процесса обработки.

Низкочастотная компонента обрабатывается отдельно от остальных AC-компонент трансформанты. Данная обработка проводится с учетом незначительного изменения когерентности между соседними сегментами изображения.

Рассмотрим теперь блок этапов, связанных с интеграцией кодека для усеченного вектора двухкомпонентных кортежей. Данный блок является основным для кодирования трансформированных сегментов в частотно-спектральной области на основе устранения психо-визуальной, структурной и статистической избыточностей.

Для исключения случаев, когда формируется кодовая избыточность и длина кодограммы усеченного вектора ДК превышает длину машинного слова, *предлагается* вводить ограничения на максимальную длину кодограммы. В результате этого могут образовываться несколько Ψ кодограмм, включая одну или несколько кодограмм заданной длины V_{\max} и одну кодограмму переменной длины $V(P')_{\Psi}$. Здесь Ψ – количество кодограмм, которые образуются для усеченного вектора ДК. Такой принцип построения кодограмм будем называть формированием неравномерных кодограмм с ограничением на максимальное значение в условиях неопределенности длины последней цепочки нулевых компонент ЛТ и переменной длины вектора двухкомпонентных кортежей.

Такой принцип кодообразования предусматривает использование служебной информации, обеспечивающей в процессе декодирования определение количества Ψ кодограмм и длину неравномерной кодограммы. Здесь необходимой информацией является значение количества $n_{\text{крт}}$ кортежей.

Рассмотрим процесс вычисления кодовой составляющей $E(A)_{V_{\Psi}}$ для отобранного переменного количества двухкомпонентных кортежей. В процессе кодирования укрупненных позиционных чисел учитывается двухуровневый принцип обработки.

На первом уровне кодирования усеченных векторов ДК проводится формирование биадических кодов для отдельных двухкомпонентных кортежей $\Theta_{\alpha}^{(2)}$, т.е. $E(\Theta_{\alpha}^{(2)}) = (\ell_{\alpha} \lambda(c) + c_{\alpha})$. После этого проводится распределение количества кодов биадических чисел (двухкомпонентных кортежей) для формирования кодовых составляющих $E(A)_{V_{\Psi}}$ и формирование соответствующих кодограмм $G(P')_{\Psi}$. В этом случае если на α -м шаге выполняется неравенство

$$[\log_2 \lambda(\ell) \cdot \lambda(c) \cdot W^{(\alpha-1)}] + 1 < V_{\max}, \quad (1)$$

то текущее значение $E(A)_{\alpha}$ для Ψ -й кодовой составляющей определяется по следующей формуле:

$$E(A)_\alpha = E(\Theta_\alpha^{(2)}) \cdot W(A^{(\alpha)}) + \sum_{\gamma=2}^{\alpha-1} E(\Theta_\gamma^{(2)}) W(A^{(\gamma)}). \quad (2)$$

Здесь $\sum_{\gamma=2}^{\alpha-1} E(\Theta_\gamma^{(2)}) W(A^{(\gamma)})$ – значение кодовой составляющей, полученной для $(\alpha-1)$ кортежей; $E(A)_\alpha$ – значение кодовой составляющей с учетом добавления α -го кода $E(\Theta_\alpha^{(2)})$ биадического числа.

Если на α -м шаге неравенство (1) не выполняется, то процесс отбора количества кортежей и вычисления кодовой составляющей считается законченным. В результате этого количество кортежей для Ψ -й кодовой составляющей будет равно $v_\Psi = \alpha - 1$, а соответствующее значение $E(A)_{v_\Psi}$ определяется как:

$$E(A)_{v_\Psi} = E(A)_{\alpha-1} = \sum_{\gamma=2}^{\alpha-1} E(\Theta_\gamma^{(2)}) W(A^{(\gamma)}). \quad (3)$$

Если выполняется неравенство $(\alpha + \sum_{\xi=1}^{\Psi} v_\xi) > (n_{\text{крт}} - 2)$, то количество необработанных кортежей отсутствует, а значение кодовой составляющей определяется по формуле (3) для $\Psi = \Psi$.

Для варианта, когда одновременно выполняются неравенства $[\ell \log_2 \lambda(\ell) \cdot \lambda(c) \cdot W^{(\alpha-1)}] + 1 > V_{\text{max}}$ и $\sum_{\xi=1}^{\Psi} v_\xi < (n_{\text{крт}} - 2)$, то α -й кортеж (код биадического числа) является первым элементов $(\Psi+1)$ -го кодового значения. Соответственно здесь строится новая кодограмма $G(P')_{\Psi+1}$.

Кодирование, заданное выражениями (1) - (3), обеспечивает без потери информации и без внесения кодовой избыточности формирование кодовых составляющих для усеченных векторов ДК в условиях двухуровневой обработки и построение кодограмм по комбинированному принципу.

В результате рекуррентной обработки формируется последовательность кодов для УПЧ в режиме построения кодограмм по комбинированному принципу с ограничением на максимальное значение, равное V_{max} , т.е. $\{E(A)_{v_1}, \dots, E(A)_{v_\Psi}, \dots, E(A)_{v_{\Psi-1}}, E(A)_{v_\Psi}\}$.

Здесь $E(A)_{v_\Psi}$ – значение кода для Ψ -й составляющей УПЧ, имеющей длину, равную v_Ψ .

Длина V_c кодовой конструкции сжатого представления сегмента определяется по следующему соотношению:

$$V_c = V(\tilde{P}')_{\text{comp}} + V(n_{\text{крт}}) + V(\lambda) + V(f) + V_{\text{DC}} + V_{\text{мз}}, \quad (4)$$

где $V(\tilde{P}')_{\text{comp}}$ – длина информационной части кодограммы сжатого представления усеченного вектора двухкомпонентных кортежей; $V(n_{\text{крт}})$ – длина кода, содержащего информацию о количестве кортежей, образованных для линеаризированной трансформанты; $V(\lambda)$ – количество бит на представление оснований $\lambda(\ell)$ и $\lambda(c)$ компонент кортежа; $V(f)$ – количество бит на представление значения фактора f потери качества; V_{DC} – длина статистического кода низкочастотной DC-компоненты; $V_{\text{мз}}$ – сжатое представление матрицы знаков.

Соответственно длина $V(P')_{\text{comp}}$ информационной части кодовой конструкции сжатого представления усеченного вектора двухкомпонентных кортежей определяется как $V(P')_{\text{comp}} = (\Psi - 1) \cdot V_{\text{max}} + V(P')_{\Psi}$ (бит).

На рис. 2 строятся зависимости величины V_c от степени насыщенности изображений и режима обеспечения ПОСШ, а именно $25 \leq \delta \leq 55$ дБ.

Оценка битовой скорости V_c проводится для разработанного метода компрессии (КВДК) и метода сжатия на основе JPEG технологии. Используются усредненные оценки на один базовый кадр потока насыщенных деталями изображений таких форматов, как: HD-качества с пространственным разрешением 1280·720, и SD-качества с пространственным разрешением 640·480.

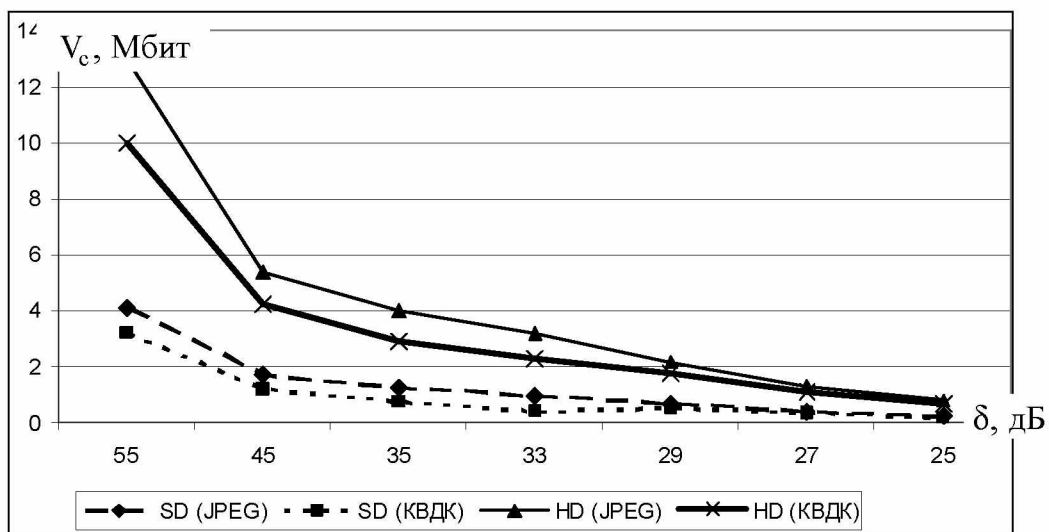


Рис. 2. Графики зависимости битовой скорости V_c кадра от ПОСШ для разного пространственного разрешения

Представленный на рис. 2 сравнительный анализ битовой скорости в случае обработки базовых кадров потока насыщенных изображений позволяет заключить, что для разработанного метода обеспечивается выигрыш для уровня ПОСШ от 25 до 55 дБ в среднем от 18 % - для высоких значений ПОСШ (55 дБ) и 23 % - для средних уровней ПОСШ (33 дБ). Для низких уровней ПОСШ (25 дБ) наблюдается выравнивание битовых скоростей сжатых потоков для сравниваемых технологий.

Выводы

1. Разработан метод формирования компактного представления сегментированных изображений на основе выявления вектора двухкомпонентных кортежей для линеаризированных трансформант в условиях, когда: количество двухкомпонентных кортежей является переменной, заранее не известной величиной и зависящей в общем случае от содержания сегмента изображения и фактора потери качества в процессе квантизации компонент трансформанты; кодовое значение и длина кодограммы для усеченного вектора двухкомпонентных кортежей зависит от: статистических, структурных свойств сегментов изображения и режима коррекции компонент трансформант в процессе квантизации.

2. При наличии телекоммуникационной сети с пропускной способностью на уровне 10 Мбит/с допускается с использованием разработанного метода КВДК передача в реальном времени видеопотока HD с высоким качеством (ПОСШ на уровне 55 дБ), а для пропускной способности на уровне 2 Мбит/с – с достаточным качеством (ПОСШ на уровне 33 дБ). В случае телекоммуникационной сети с пропускной способностью на

уровне 2 Мбит/с допускается с использованием разработанного метода КВДК передача в реальном времени видеопотока SD с хорошим качеством визуального восприятия (ПОСШ на уровне 50 – 45 дБ), а для пропускной способности на уровне 512 Кбит/с – с достаточным качеством (ПОСШ на уровне 33 дБ).

Список литературы: 1. *Олифер В.Г.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. СПб.: Питер, 2006. 958 с. 2. *Gonzales R.C.* Digital image processing / R.C. Gonzales, R.E. Woods. Prentice Inc. Upper Saddle River, New Jersey 2002. 779 p. 3. *Баранник В.В.* Кодирование трансформированных изображений в инфокоммуникационных системах / В.В. Баранник, В.П. Поляков. Х.: ХУПС, 2010. 212 с. 4. *Баранник В.В.* Обоснование проблемных недостатков технологии компонентного кодирования трансформированных изображений для средств телекоммуникаций / В.В. Баранник, Ю.В. Стасев, С.В. Туренко // Сучасна спеціальна техніка. 2013. № 4. С. 17 – 26. 5. *Баранник В.В.* Комбинаторная модель вектора двухкомпонентных кортежей для оценки информативности усеченной линиаризированной трансформанты / В.В. Баранник, С.В. Туренко // АСУ и приборы автоматики. 2013. №163. С. 17 – 26.

Поступила в редколлегию 28.11.2013

Баранник Владимир Викторович, д-р техн. наук, профессор, начальник кафедры боевого применения и эксплуатации АСУ Харьковского университета Воздушных Сил. Научные интересы: обработка и передача информации. Адрес: Украина, 61023, Харьков, ул. Сумская, 77/79.

Туренко Сергей Викторович, аспирант ХНУРЭ. Научные интересы: обработка и передача информации. Адрес: Украина, 61023, Харьков, пр. Ленина, 14.