

УДК 621.327:681.5

В.В. Баранник,

доктор технических наук, профессор,

А.Н. Додух,**А.В. Власов**

ТЕХНОЛОГИЯ ДВУХКОМПОНЕНТНОГО КОДИРОВАНИЯ ВИДОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ СРЕДСТВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

В статье изложены основные этапы построения технологии формирования компактного представления фрагмента изображения на основе двухкомпонентного кодирования с использованием координатно-структурной и построчно-масштабирующей составляющих. Рассматривается разработка кодового представления на основе интегрального принципа, базирующегося на операторах кодирования для составляющих фрагмента изображения. Формируется обобщенное описание для последовательностей данных в результате построения обобщенного кода.

Ключевые слова: технология компрессии, двухкомпонентный код.

У статті викладено основні етапи побудови технології формування компактного представлення фрагмента зображення на основі двокомпонентного кодування з використанням координатно-структурної і рядково-масштабуючої складових. Розглядається розробка кодового представлення на основі інтегрального принципу, що базується на операторах кодування для складових фрагмента зображення. Формується узагальнений опис для послідовностей даних в результаті побудови узагальненого коду.

Ключові слова: технологія компресії, двокомпонентний код.

Basic stages of the construction of the technology of forming of compact presentation of an image fragment on the basis of two-competent encoding with use of coordinate structural and string scaling constituents are stated. The development of code presentation, being based on the operators of encoding for the constituents of an image fragment is examined on the basis of integral principle. Generalized description is formed for the sequences of an information as a result of construction of the generalized code.

Keywords: technology of compression, two-competently code.

В последнее десятилетие повышается значение средств телекоммуникаций, базирующихся на бортовых комплексах. Здесь важными направлениями являются вопросы, связанные с обработкой и передачей видеоинформации. Это ведет к повышению нагрузки на бортовые вычислительные комплексы, и комплексы передачи данных [1; 2]. Решение такой проблемы связано с повышением эффективности технологий компрессии видовых изображений. Отсюда главной составляющей является обеспечение повышения степени сжатия с заданной достоверностью реконструируемых изображений, что и составляет *актуальность научно-прикладной тематики исследований*.

Базовий складовою технології сжатия является предварительное преобразование фрагментов изображений. На данном этапе достигается формирование такого промежуточного представления исходных видеоданных, для которого существует потенциальная возможность сократить количество избыточности. Для сокращения структурной избыточности эффективной технологией является предварительное выявление апертурных последовательностей [2–5]. Фрагмент изображения заменяется двумя компонентами, включая:

1) координатно-структурную, компонентами которой являются длины апертур, выявляемых вдоль строк изображения;

2) построчно-масштабирующую, компонентами которой являются аппроксимирующие яркостные величины апертур.

Такое представление позволяет выявить структурные закономерности для изображений [3–5]. С учетом чего компактное представление структурных компонент предлагается строить как кодовое представление на основе их совместной обработки. Эффективный вариант организации совместной обработки состоит в построении кодовой комбинации на основе двухкомпонентного интегрированного принципа, базирующегося на взвешенном добавлении элементов апертурно-яркостного описания фрагмента изображения. Данный подход обладает возможностями относительно повышения оперативности обработки видовых изображений средствами телекоммуникаций. Следовательно, цель исследований заключается в разработке технологии двухкомпонентного кодирования для средств телекоммуникаций.

Построение технологии двухкомпонентного кодирования фрагментов изображений в системах компрессии для бортовых средств телекоммуникаций

Рассмотрим причины наличия избыточности в структурно преобразованной форме изображения. Избыточное количество разрядов, т.е. $\Delta D > 0$, в процессе формирования двухкомпонентного кода (ДК) для элементов массивов аппроксимирующих величин обусловлено не кратностью величины динамических диапазонов $w(h)_i - 1$ элементов массива аппроксимирующих величин степени двойки, в случае представления кодового описания машинным словом.

Начальное значение ДК $E(h)_{i,j}^{(i,\gamma)}$ формируется на базе элементов строки массива $\Delta H_{m,n}^{(v)}$, рассматриваемых как адаптивное одномерное позиционное число с неравными соседними элементами. В общем случае значение $E(h)_{i,j}^{(i,\gamma)}$ определяется по формуле [5]

$$E(h)_{i,j}^{(i,\gamma)} = \sum_{\phi=\gamma}^j (h_{i,\phi} - \text{sign}(1 - \text{sign}(h_{i,\phi-1} - h_{i,\phi}))) (w(h)_i - 1)^{j-\gamma+1-\phi},$$

где $(i;\gamma)$, $(i;j)$ – координаты соответственно начального и конечного элементов i -й строки, на базе которых формируется ДК.

Отсюда получаем количество $v(h,i)_\xi$ элементов i -й строки для которых формируется ξ -й код, где $v(h,i) = j - \gamma + 1$. Величина динамического диапазона для элементов строки фиксирована, и равна $w(h)_i - 1$. Тогда количество элементов $v(h)_\xi$ определяется из условия

$$\log_2 E(h)_{i,j}^{(i,\gamma)} \leq D(h)_{i,j}^{(i,\gamma)} = v(h,i)_\xi \log_2 (w(h)_i - 1) \leq D_{\text{нec}},$$

что позволяет исключить возможность переполнения кодового слова, имеющего заранее заданную длину D_{nec} . Откуда величина $v(h, i)_\xi$ равна

$$v(h, i)_\xi = [D_{nec} / \log_2(w(h)_i - 1)].$$

Строчная обработка массивов аппроксимирующих величин апертур позволяет сократить вычислительные затраты для определения количества $v(h, i)_\xi$ элементов, и проводить процесс кодирования за один проход.

В случае наличия избыточных разрядов, т.е. $\Delta D \neq 0$, формирование второй компоненты ДК проводится на базе элементов текущей α -й строки массива $\Delta L_{m,n}^{(v)}$ длин апертур.

Для этого требуется выполнить следующие действия:

1. Требуется определить избыточное количество разрядов ΔD в кодограмме. Для этого используется следующая формула:

$$\Delta D = D_{nec} - v(h, i)_\xi [\log_2(w(h)_i - 1)] - 1.$$

После чего можно вычислить количество элементов $v(\ell)_\xi$ для элементов массива $\Delta L_{m,n}^{(v)}$, на базе которых формируется *добавочный* код $\Delta E(\ell)_{\phi,j}^{(\alpha,\gamma)}$ второй компоненты. Здесь первый и последний элементы массива $\Delta L_{m,n}^{(v)}$, входящие в код $\Delta E(\ell)_{\phi,j}^{(\alpha,\gamma)}$, имеют соответственно позиции $(\alpha; \gamma)$ и $(\phi; j)$.

2. Количество добавляемых элементов $v(\ell)_\xi$ определяется из условия необходимости обеспечить исключение возможности переполнения длины ΔD последовательности избыточных разрядов кодового слова, т.е.

$$[\log_2 \Delta E(\ell)_{\phi,j}^{(\alpha,\gamma)}] + 1 \leq \Delta D, \quad (1)$$

где $(\alpha; \gamma)$, $(\phi; j)$ – координаты соответственно начального и конечного элементов второй составляющей на базе массива длин апертур.

Величина добавочного кода $\Delta E(\ell)_{\phi,j}^{(\alpha,\gamma)}$ формируется на базе элементов массива длин апертур, которые рассматриваются как одномерное позиционное число в дифференциальном пространстве. Величина основания ПЧДП $w(\ell)_{ij} = \ell_{\max} - \ell_{\min} + 1$ является константой в пределах массива. Отсюда для условия выполняется неравенство

$$\Delta E(\ell)_{\phi,j}^{(\alpha,\gamma)} \leq w(\ell)^{n-\gamma+1} w(\ell)^{n(\phi-\alpha-1)} w(\ell)^j = w(\ell)^{n-\gamma+1+n(\phi-\alpha-1)+j}. \quad (2)$$

В частном случае, если рассматриваются элементы, принадлежащие одной строке, т.е. $\alpha = \phi$, то $\Delta E(\ell)_{\alpha,j}^{(\alpha,\gamma)} \leq w(\ell)^{j-\gamma+1}$.

На основе соотношения (2) для выполнения условия (1) требуется обеспечить выполнение следующего неравенства

$$[\log_2 (w(\ell)^{n-\gamma+1+n(\phi-\alpha-1)+j})] + 1 \leq \Delta D.$$

В случае известного значения величины ΔD и выбора длин апертур в пределах α -й строки, получим упрощенное выражение для вычисления количества $v(\ell)_\xi$ добавочных элементов $\Delta E(\ell)_{\alpha,j}^{(\alpha,\gamma)} \leq w(\ell)^{j-\gamma+1}$.

Поскольку величина ΔD является переменной, и зависящей от составляющей кода для построчно-масштабирующей составляющей, то количество элементов $v(\ell)_\xi$ второй составляющей будет переменным.

Схема отбора элементов строк массивов $\Delta H_{m,n}^{(v)}$ и $\Delta L_{m,n}^{(v)}$ для построения двухкомпонентного кода приведена на рис. 1. На рис. 1 рассматривается вариант построения ДК в случае неравномерного вклада по количеству компонент из различных массивов в двухкомпонентный код (ДК). Элементы строки массива длин апертур будут участвовать в образовании ДК совместно для различных строк массива аппроксимирующих величин.

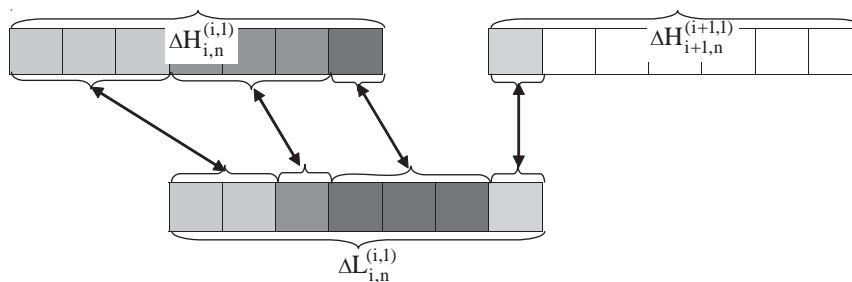


Рис. 1. Схема формирования двухкомпонентного кодового представления фрагмента изображения

Рассмотрим основные этапы построения обобщенного двухкомпонентного кода.

Первый этап заключается в формировании координатно-структурной и построчно-масштабирующей составляющих фрагмента изображения. Для этого осуществляется выявление апертур и построение массивов $\Delta H_{m,n}^{(v)}$ аппроксимирующих величин и $\Delta L_{m,n}^{(v)}$ длин апертур.

Выявление апертур проводится по строкам кадра в направлении строчной развертки. Используется условие $x_{\xi,\gamma+r} \in [b(\min)_\xi; b(\max)_\xi]$, $r=0, \ell_\xi - 1$, где ℓ_ξ – длина текущей апертуры, $b(\min)_\xi$, $b(\max)_\xi$ – значения соответственно нижней и верхней границ (ξ) -й апертуры, которые зависят от высоты b апертуры. В противном случае, когда $x_{\xi,\ell_\xi} \notin [b(\min)_\xi; b(\max)_\xi]$, то начинается строиться следующая апертура. Выявление апертур заканчивается тогда, когда обработан последний элемент $x_{Z_{lin}, Z_{col}}$ кадра изображения.

Образование массивов $\Delta H_{m,n}^{(v)}$ и $\Delta L_{m,n}^{(v)}$ проводится в направлении строк, что позволяет выявить дополнительные структурные закономерности, и обеспечить потенциальные возможности для устранения избыточности.

Целостность реконструкции фрагмента изображения на основе структурной и масштабирующих составляющих достигается равенством размеров массивов $\Delta H_{m,n}^{(v)}$ и $\Delta L_{m,n}^{(v)}$, и однозначным порядком их образования. Это позволит исключить необходимость использования дополнительных служебных данных и временной задержки для позиционирования апертур и фрагментов изображений. Формирование массивов величинами $\ell'_{\phi,\xi}$ и $h_{\phi,\xi}$ (ϕ – номер строки кадра, $\phi=1, Z_{lin}$) на $(i; j)$ -м шаге реализуется на основе следующих правил:

1) если $j \leq n$ и выполняется неравенство $(i-1)n + j \leq v_\phi$, где $((i-1)n + j)$ – количество апертур ϕ -й строки, на базе компонент которых сформировано текущее количество элементов массивов $\Delta H_{m,n}^{(v)}$ и $\Delta L_{m,n}^{(v)}$; v_ϕ – количество апертур в строке кадра изображения, то $\ell_{i,j} = \ell'_{\phi, (in+j)}$ и $h_{i,j} = h_{\phi, (in+j)}$;

2) если $j \leq n$, но $(i-1)n + j > v_\phi$, то не отобранные апертуры ϕ -й строки отсутствуют, и отбор компонент апертур проводится для $(\phi+1)$ -й строки кадра, т.е. $\ell_{i,j} = \ell'_{\phi+1,1}$ и $h_{i,j} = h_{\phi+1,1}$;

3) если $j > n$, $(i+1) \leq m$, то для $(i-1)n + j \leq v_\phi$ получим $\ell_{i+1,1} = \ell'_{\phi, (in+1)}$ и $h_{i+1,1} = h_{\phi, (in+1)}$, и наоборот для $(i-1)n + j > v_\phi$ – $\ell_{i+1,1} = \ell'_{\phi+1,1}$ и $h_{i+1,1} = h_{\phi+1,1}$;

4) если $(i+1) > m$, то построение массивов $\Delta H_{m,n}^{(v)}$ и $\Delta L_{m,n}^{(v)}$ завершено.

Второй этап. Определение оснований элементов массивов $\Delta H_{m,n}^{(v)}$ и $\Delta L_{m,n}^{(v)}$, рассматриваемых соответственно как адаптивное позиционное число с неравными соседними элементами и позиционное число. Выполняются следующие действия:

1) для формирования системы оснований $W(h)$, $W(h) = \{w'(h)_i\}$, $i = \overline{1, m}$ элементов АПЧ с неравными соседними элементами

$$w'(h)_i = w(h)_i - \text{sign}(j-1) = h_{i,\max} - h_{i,\min} + 1 - \text{sign}(j-1),$$

$$h_{i,\max} = \max_{1 \leq j \leq n} \{h_{i,j}\} + 1; \quad h_{i,\min} = \min_{1 \leq j \leq n} \{h_{i,j}\};$$

2) для системы оснований $W(\ell)$, $W(\ell) = \{w(\ell)_i\}$, $i = \overline{1, m}$ элементов ПЧДП

$$w(\ell)_{ij} = \ell_{\max} - \ell_{\min} + 1 = w(\ell),$$

$$\ell_{\max} = \max_{\substack{1 \leq j \leq n \\ 1 \leq i \leq m}} \{\ell_{i,j}\} + 1; \quad \ell_{\min} = \min_{\substack{1 \leq j \leq n \\ 1 \leq i \leq m}} \{\ell_{i,j}\}.$$

Третий этап. Организуется оценка количества элементов $v(h,i)_\xi$ и $v(\ell)_\xi$ двухкомпонентных составляющих для построения обобщенного кода (ДК). Длина $D_{\text{нec}}$ кодового слова для построения текущего двухкомпонентного кода считается заданной. По условию формирования ДК выбор первой составляющей на основе построения кода проводится для элементов одной строки массива $\Delta H_{m,n}^{(v)}$. Отсюда $v(h,i)_\xi = [D_{\text{нec}} / \log_2(w(h)_i - 1)]$.

Вторая составляющая формируется на основе кодового описания элементов массива $\Delta L_{m,n}^{(v)}$, расположенных в общем случае на разных строках. Поэтому величина $v(\ell)_\xi$ определяется по следующей технологии:

1. Находится общее количество элементов массива апертурно-координатной составляющей. Для этого используется следующая формула:

$$v(\ell)_\xi = [\Delta D / ([\log_2 w(\ell)] + 1)].$$

2. Найденное количество элементов $v(\ell)_\xi$ распределяется по строкам массива длин апертур. При этом учитывается, что длина строки равна n , а позиция первого элемента – $(\alpha; \gamma)$. Тогда такое распределение заключается в получении количества β полных строк и количества j элементов в последней включаемой

строке массива длин апертур, на которые распространяется количество $v(\ell)_\xi$. Для этого выполняются следующие этапы:

1) если $v(\ell)_\xi > n - \gamma + 1$, то величина $v(\ell)_\xi$ превышает количество свободных элементов в текущей α -й строке, и требуется оценить количество полных строк. В противном случае количество необходимых добавляемых элементов будет принадлежать текущей α -й строки, и последняя позиция будет определяться как $(\alpha; \gamma + v(\ell)_\xi + 1)$;

2) определяем количество β полных строк по формуле $\beta = \left\lfloor \frac{v(\ell)_\xi - n + \gamma - 1}{n} \right\rfloor$;

3) если $\beta n < v(\ell)_\xi - n + \gamma - 1$, то вычисляем количество j элементов в $(\beta + 1)$ -й строке, т.е. $j = \beta n - \left\lfloor \frac{v(\ell)_\xi - n + \gamma - 1}{n} \right\rfloor n$.

В результате получаем распределение общего количества $v(\ell)_\xi$ добавляемых элементов массива длин апертур по строкам, а именно: $v(\ell)_\xi = (n - \gamma + 1) + \beta n + j$.

В итоге получаем количество $v(h, i)_\xi$ элементов массива аппроксимирующих величин апертур и количество $v(\ell)_\xi$ элементов массивов длин апертур, участвующих в образовании двухкомпонентного кода. Причем выполняется обобщенное неравенство $\left\lceil \log_2 \left((w(h)_i - 1)^{v(h, i)_\xi} w(\ell)^{(n - \gamma + 1) + \beta n + j} \right) \right\rceil + 1 \leq D_{\text{нec}}$.

Четвертый этап. Осуществляется построение ДК. Первая кодовая составляющая $E(h)_{i, \gamma + v(h, i)_\xi - 1}^{(i, \gamma)}$, формируемая на основе $v(h, i)_\xi$ элементов строки массива аппроксимирующих величин, будет равна

$$E(h)_{i, \gamma + v(h, i)_\xi - 1}^{(i, \gamma)} = \sum_{j=\gamma}^{\gamma + v(h, i)_\xi - 1} (h_{i, j} - \text{sign}(1 - \text{sign}(h_{i, j-1} - h_{i, j}))) (w(h)_i - 1)^{v(h, i)_\xi + \gamma - 1 - j}.$$

Рекуррентное выражение для формирования $E(h)_{i, \gamma + v(h, i)_\xi}^{(i, \gamma)}$ принимает вид $E(h)_{i, \gamma}^{(i, \gamma)} = h_{i, \gamma}$; $E(h)_{i, \gamma + j}^{(i, \gamma)} = E(h)_{i, \gamma + j - 1}^{(i, \gamma)} (w(h)_i - 1) + h_{i, \gamma + j}$, $j = 1, v(h, i)_\xi - 1$, где $(i; \gamma)$, $(i; \gamma + v(h, i)_\xi - 1)$ – координаты соответственно начального и конечного элементов первой составляющей ДК на основе i -й строки массива аппроксимирующих величин апертур; $E(h)_{i, \gamma + j}^{(i, \gamma)}$, $E(h)_{i, \gamma + j - 1}^{(i, \gamma)}$ – значение кода первой составляющей соответственно на $(\gamma + j)$ -м и на $(\gamma + j - 1)$ -м шагах обработки.

Структура кода для формирования ДК на основе первой компоненты задается таким выражением

$$E(h; \ell)_\xi = E(h)_{i, \gamma + v(h, i)_\xi - 1}^{(i, \gamma)} w(\ell)^{(n - \gamma + 1) + \beta n + j} + \Delta E(\ell)_{\alpha + \beta + 1, \tau}^{(\alpha, \gamma)}$$

где $V(\ell)_{\alpha + \beta + 1, \tau}^{(\alpha, \gamma)} = w(\ell)^{(n - \gamma + 1) + \beta n + \tau}$ – весовой коэффициент первой компоненты $E(h)_{i, \gamma + v(h, i)_\xi - 1}^{(i, \gamma)}$ двухкомпонентного кода.

Здесь величина $V(\ell)_{\alpha + \beta + 1, \tau}^{(\alpha, \gamma)}$ – определяется как накопленное произведение оснований элементов массива длин апертур, начиная с основания элемента на позиции $(\alpha; \gamma)$ и заканчивая основанием элементом на позиции $(\alpha + \beta + 1; \tau)$.

При этом обеспечивается выполнение следующих неравенств:

$$\Delta E(\ell)_{\alpha+\beta+1,\tau}^{(\alpha,\gamma)} < V(\ell)_{\alpha+\beta+1,\tau}^{(\alpha,\gamma)};$$

$$[\log_2((w(h)_i - 1)^{v(h,i)_\xi} w(\ell)^{(n-\gamma+1)+\beta n+j})] + 1 \leq D_{nec}.$$

Граф-схема метода сжатия изображений в цветоразностном виде на базе формирования апертурно-координатного описания и последующего построения обобщенного кода рассматривается на рис. 2.

Таким образом, разработана организация выполнения кодирующих действий, позволяющая дополнительно сократить время на сжатие изображения за счет:



Рис. 2. Граф-схема технологии компрессии изображений

– сокращения количества обращений к ВЗУ, так как по мере получения массивов длин апертур и аппроксимирующих величин апертур для них сразу вычисляются ДК;

– вычисления добавочного значения ДК, осуществляемого одновременно с формированием его начальных значений;

– отсутствия необходимости осуществлять поиск и выбор зон соответствия массивов длин апертур и массивов аппроксимирующих величин апертур.

Кроме того, дополнительно снижается объем ВЗУ, требуемый для хранения промежуточных результатов сжатия изображений. Это обусловлено тем, что ДК занимают меньший объем, чем массивы длин апертур и массивы аппроксимирующих величин.

Выводы

1. Разработана технология формирования компактного представления фрагмента изображения на основе двухкомпонентного кодирования с использованием координатно-структурной и построчно-масштабирующей составляющих. Осуществлено формирование кодового представления на основе интегрального принципа, базирующегося на операторах кодирования для составляющих фрагмента изображения. Формируется обобщенное описание для последовательностей данных в результате построения кода.

Данный метод основан на:

1) рекуррентном кодировании массивов аппроксимирующих величин. Это позволяет снизить количество операций на обработку (сжатие и восстановление видеоданных) в случае программной и аппаратно-программной реализации разработанных кодеров;

2) построении двухкомпонентного кодового представления на базе совместного использования элементов координатно-структурного и построчно-масштабного представления фрагмента изображения. Это обеспечивает обработку целостной информации о фрагменте изображения. Обобщенное формирование кодовой комбинации *предлагается* осуществлять на основе *двухкомпонентного интегрированного принципа*. В этом случае в отличие от бит-ориентированного принципа добавочная группа разрядов формируется на основе взвешенного добавления компонент фрагмента изображения;

3) организации *построчной* обработки массивов аппроксимирующих величин и массивов длин апертур.

2. Это позволяет:

– дополнительно повысить степень сжатия за счет сокращения количества незначимых старших разрядов в кодовых комбинациях. Это достигается в результате добавления элементов массивов длин апертур, имеющих меньшие значения динамических диапазонов, в процессе формирования обобщенного двухкомпонентного кода (ДК);

– достичь наибольшей степени сжатия в результате устранения избыточных разрядов, обусловленных не кратностью степени двойки значений весовых составляющих кодовых компонент ДК;

– повысить оперативность обработки фрагментов изображений с использованием средств телекоммуникаций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Кашкин В.Б.* Цифровая обработка аэрокосмических изображений : Конспект лекций / В.Б. Кашкин. – Красноярск : ИПК СФУ, 2008. – 121 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. *Сэломон Д.* Сжатие данных, изображений и звука / Д. Сэломон. – М. : Техносфера, 2004. – 368 с.
4. *Баранник В.В.* Способ кодирования построчно-масштабирующей составляющей фрагмента изображения / В.В. Баранник, А.Ю. Школьник, А.Н. Додух // Сучасна спеціальна техніка. – 2012. – № 2. – С. 32–38.
5. *Баранник В.В.* Технология сжатия цифровых изображений на основе двухкомпонентного кодирования / В.В. Баранник, А.Н. Додух // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – 2012. – № 157. – С. 14–24.

Отримано 29.11.2012