

УДК 629.391

В.Н. Кривонос,  
Н.К. Гулак, кандидат технічних наук,  
М.В. Думанський

## МЕТОД КОМПАКТНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ВЕКТОРА МАСШТАБИРУЮЩИХ КОМПОНЕНТ ТРАНСФОРМАНТ

*Обосновывается модель описания вектора масштабирующих компонент, который задает масштаб значимых компонент в частотном пространстве. Разработана технология кодирования масштабирующих компонент с использованием кода Бодо и длины серий для снижения суммарных затрат на их представление.*

**Ключевые слова:** вектор масштабирующих компонент, код Бодо.

*Обґрунтовується модель опису вектора масштабуючих компонент, який задає масштаб значимих компонент у частотному просторі. Розроблена технологія кодування масштабуючих компонент з використанням кода Бодо і довжини серій для зниження сумарних витрат на їх показ.*

**Ключові слова:** вектор масштабуючих компонент, код Бодо.

*The model of the description of a vector of scaling components is considered. The technology of coding of scaling components with use of Bodo's code and lengths of series is worked out.*

**Keywords:** vector of scaling components, Bodo's code.

Для того чтобы добиться наибольшей эффективности при обработке изображений, необходимо исходное изображение предварительно преобразовать. Эта технология широко используется при сжатии изображений. В формате JPEG одним из этапов работы является дискретное косинусное преобразование (ДКП). Изображение разбивается на блоки  $8 \times 8$  пикселей [1]. Отдельно к каждому блоку применяется ДКП, в результате чего происходит перераспределение энергии, где в правом верхнем углу сосредотачивается низкочастотная компонента DC. Эта компонента является постоянной и несет основную информацию об изображении. Все остальные компоненты называются AC, переменные компоненты. Чем дальше они удалены от низкочастотной компоненты DC, тем больше вероятность, что значения их равны нулю. Компоненты AC несут незначительный процент информации об изображении. На следующем этапе работы алгоритма производим квантование компонент ДКП. По сути, это деление рабочей матрицы на матрицу квантования поэлементно. На этом шаге осуществляется управление степенью сжатия, и происходят самые большие потери. Задавая матрицу квантования с большими коэффициентами, мы получим больше нулей и, следовательно, большую степень сжатия. Затем к полученной трансформанте применяем линеаризацию. Переводим матрицу  $8 \times 8$  в 64-элементный вектор при помощи "зигзаг"-

сканирования [2]. В сформированном одномерном векторе  $Y_m$  компонент, в начале получаем низкочастотную компоненту  $y_1$ . После чего из оставшихся компонент предлагается образовать два вектора: первый  $Y_{m-1}$  – вектор значимых компонент; второй  $G_{m-1}$  – вектор масштабирующих компонент,  $Y_m = \{DC; Y_{m-1}, G_{m-1}\}$ . Это позволяет сократить количество повторяющихся коэффициентов трансформанты ДКП. Поэтому вектор  $G_{m-1}$  предлагается называть вектором масштабирующих компонент, компоненты данного вектора определяют количество повторов значений значимых компонент, т.е. задают их масштаб в частотном пространстве. В результате вектор  $Y_m$ , заменяется совокупностью пар  $\{y_i, g_i\}$ , где  $y_i$  – значение  $i$ -й значимой компоненты развернутой трансформанты,  $g_i$  – количество компонент, имеющих одинаковое значение [3]. В процессе сжатия низкочастотная, значимая компонента  $y_1$  в векторе компонент  $Y_m$ , и остальные компоненты кодируются по-разному. Это позволяет: снизить динамический диапазон компонент вектора  $Y_{m-1}$ ; учесть закономерности для DC коэффициентов соседних трансформант, а именно, их корреляцию. Мы рассмотрим метод обработки вектора масштабирующих компонент  $G_{m-1}$ .

#### Описание вектора масштабирующих компонент

Рассмотрим особенность вектора масштабирующих компонент  $G_{m-1}$  для различных классов изображений с различными факторами качества.

После вычисления всех коэффициентов ДКП их необходимо проквантовать. На этом шаге происходит отбрасывание части информации. Каждое число из матриц коэффициентов ДКП делится на специальное число из “таблицы квантования”, а результат округляется до ближайшего целого. Можно использовать два подхода:

1. Таблица квантования, принятая по умолчанию.
2. Вычисляется таблица коэффициентов квантования по формуле:

$$Q_{i,j} = 1+(i+j) \times R. \quad (1)$$

где  $Q_{i,j}$  – значения матрицы квантования;  $i, j$  – координаты элементов матрицы квантования;  $R$  – шаг квантования, задается пользователем.

Отсюда гарантируется убывание коэффициентов трансформанты из левого верхнего угла в правый нижний (потому что значения элементов матрицы квантования возрастают по диагонали из левого верхнего угла в правый нижний угол) [4].

Проанализируем данные компонент трансформанты вектора  $G_{m-1}$ , с различным шагом квантования,  $R$  по критериям:  $1_g$  – длина первой серии нулей в векторе масштабирующих компонент;  $g_1$  – первая компонента вектора  $G_{m-1}$ ;  $w_m(g)$  – динамический диапазон последней компоненты  $g_m$  трансформанты вектора  $G_{m-1}$ ;  $g_m$  – последняя компонента вектора  $G_{m-1}$ ;  $Ng$  – компоненты трансформанты, следующие после первой серии нулей  $1_g$ ;  $W_{m-1}$  – динамический диапазон вектора  $G_{m-1}$  без учета последней компоненты трансформанты

$$W_m(g) = \max\{g_\xi\}, \\ 2 \leq \xi \leq m-2$$

где  $W_m(g)$  – динамический диапазон вектора масштабирующих компонент;  $g_\xi$  – величина элемента вектора масштабирующих компонент.

Усредненные значения структурных параметров для трансформант средне-насыщенных, реалистических изображений представлены в табл. 1.

Таблиця 1

Зависимость структурных параметров вектора  $G_{m-1}$  от  $R$ 

$R = \overline{1,20}$	$w_m(g)$	$1_g$	$Ng$	$W_{m-1}(g)$
1	20	22	7	8
2	32	9	15	3
4	38	9	8	4
6	38	16	4	5
8	38	9	8	7
10	45	9	6	3
16	49	2	9	2
20	49	2	10	2

По данным табл. 1 видно, что при увеличении шага квантования, динамический диапазон последней компоненты  $w_m(g)$  вектора  $G_{m-1}$  возрастает. Это объясняется тем, что с ростом значения  $R$  длина первой серии нулевых компонент  $1_g$  уменьшается, а динамический диапазон последней компоненты  $w_m(g)$  увеличивается  $w_m(g) : \frac{1}{1_g}$  и будет увеличиваться, пока не произойдет насыщение:  $w_m(g) = \max\{g_m\}$ .

В процентном соотношении с ростом шага квантования  $R \approx 2$ , динамический диапазон  $w_m(g)$  последней компоненты вектора  $G_{m-1}$  в среднем увеличивается от 0 до 7 %.

1. Изменение длины первой серии нулей с увеличением шага квантования.

Следует, что при росте шага квантования  $R$ , длина первой серии нулевых компонент  $1_g$  уменьшается. На шаге квантования 1–2 наблюдается резкое уменьшение  $1_g$  за счет увеличения динамического диапазона последней компоненты. При шаге квантования  $R = 6$  произошел всплеск. Длина первой серии нулей  $1_g$  возросла. В связи с тем, что: динамический диапазон последней компоненты  $w_m(g)$  не увеличился, а количество компонент, следующих после  $1_g$ , уменьшилось. Потому, что при делении матрицы трансформанты на матрицу квантизации, после длины серии нулей вектора  $G_{m-1}$ , получилась длинная серия чередования нулей и единиц. Т.е. в векторе  $Y_{m-1}$  соседние значимые компоненты не равны  $1_g \rightarrow \max$ , для  $Ng \rightarrow \min$ , а  $w_m(g) = \text{const}$ . С увеличением шага квантования  $R$ ,  $1_g \rightarrow 0$ . Длина первой серии нулевых компонент  $1_g$  с увеличением  $R \approx 2$ , уменьшается в среднем от 0 до 10 %.

2. Изменение количества масштабирующих компонент после первой серии нулевых элементов от шага квантования. Количество компонент следующих после первой серии нулей может изменяться хаотично. На интервале 1–2 произошло увеличение компонент  $Ng$ , следующих после  $g_1$ , за счет уменьшения

$1_g, Ng : \frac{1}{1_g}$ . С інтервала 2–4 происходит уменьшение компонент  $Ng$  за счет увеличения динамического диапазона последней компоненты  $w_m(g)$  при том, что  $1_g$  осталась без изменения  $Ng \rightarrow \min$  для  $w_m(g) \rightarrow \max$ , а  $1_g = \text{const}$ . На интервале 4–6 происходит очередное понижение  $Ng$ , потому что динамический диапазон  $w_m(g)$  остался без изменений, а увеличилась длина первой серии нулей  $1_g, Ng \rightarrow \min$  для  $1_g \rightarrow \max, w_m(g) = \text{const}$ .

3. Рассмотрим как изменяется динамический диапазон вектора  $G_{m-1}$  от шага квантования без учета последней компоненты вектора. Общая тенденция такова, что динамический диапазон вектора  $G_{m-1}$  без учета последней компоненты  $W_{m-1}(g)$  уменьшается. Потому что с увеличением шага квантования  $R$ , происходит уменьшение начальной серии нулевых компонент  $1_g$ , уменьшение компонент  $Ng$  и увеличение количества нулевых компонент в конце вектора т.е.  $w_m(g), W_{m-1}(g) \rightarrow \min$  для  $1_g \rightarrow \min$ , а  $Ng \rightarrow \min$ , и  $w_m(g) \rightarrow \max$ . Начиная с интервала 10–22 динамический диапазон  $W_{m-1}(g)$  уменьшается, и будет стремиться к нулю, т.к. длина первой серии нулей  $1_g$  уменьшается, а динамический диапазон вектора без учета последней компоненты  $W_{m-1}(g)$  увеличивается до максимального.

#### Разработка способа кодирования вектора масштабирующих коэффициентов

Для разработки кодирования компонент масштабирующего вектора, предлагается учитывать следующие их особенности. Рассмотрим такой структурный параметр, как длина начальной серии нулей вектора  $G_{m-1}$ . Начальная серия нулевых элементов вектора масштабирующих компонент  $G_{m-1}$  соответствует начальному значению вектора значимых компонент  $Y_{m-1}$ . При этом с ростом шага квантования  $R$  значения этого параметра увеличивается. Для шага квантования, соответствующего требуемому качеству реконструкции изображения, длина первой серии нулей  $1_g$  может принимать большие значения, т.е.  $1_g > 15$  для  $R \geq 1$ .

В связи с чем предлагается данный параметр представлять с использованием кодирования длинами сериями. Суть такого метода заключается в следующем:

1. Выявление серии одинаковых элементов, имеющих нулевые значение.
2. Определяется количество элементов данной серии.
3. Выявленную серию нулевых элементов заменяем ее длиной (рис. 1).

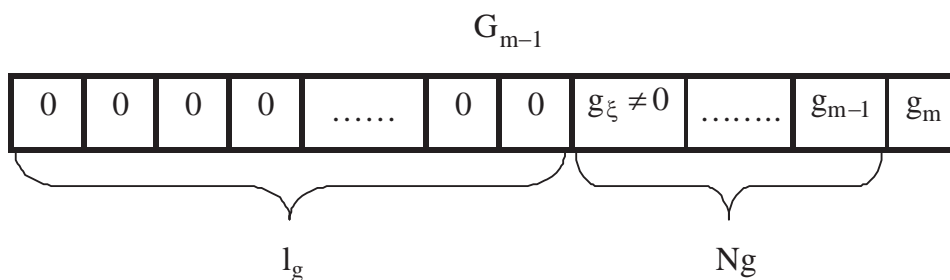


Рис. 1. Структура вектора масштабирующих компонент

В результате вектор масштабирующих компонент будет состоять из трех составляющих, т.е.  $G_{m-1} = \{ G_1^{(1_g)}; G_2; g_m \}$ , где  $G_1^{(1_g)}$  – количество первых нулевых элементов в векторе  $G_{m-1}$ , т.е.  $G_1^{(1_g)} = \{ g_1, \dots, g_{1_g} \}$ , где  $g_{\xi} = 0$ ;  $\xi = \overline{1, 1_g}$ ;

$G_2$  – елементи вектора  $G_{m-1}$ , за исключением первой и последней серии нулей, т.е.  $G_2 = \{g_1, \dots, g_{m-1}\}$ ;  $g_m$  – последняя компонента вектора  $G_{m-1}$ .

Рассмотрим обработку второго структурного параметра вектора масштабирующих коэффициентов  $G_{m-1}$ , а именно, составляющей  $G_2$ . Эта составляющая позиционируется в векторе  $G_{m-1}$  между начальной серией нулей  $G_1^{(lg)}$  и последней компонентой  $g_m$ .

Значит первая часть кода  $E_1$  вектора  $G_{m-1}$  будет определяться так:  $E_1 = 1_g$ ;  $l(E_1) = [\log_2 1_g] + 1$  (бит), где  $E_1$  – первая часть кода вектора  $G_{m-1}$ ;  $l(E_1)$  – длина первой части кода вектора  $G_{m-1}$ .

Данная составляющая характеризуется двумя показателями:

1)  $N_g$  – количество компонент трансформанты, позиционирующихся после первой серии нулей.

2)  $W_{m-1}(g)$  – динамический диапазон вектора  $G_{m-1}$  без учета последней компоненты трансформанты.

Особенностями составляющей  $G_2$  являются: сокращение величин  $N_g$  и  $W_{m-1}(g)$  с ростом шага квантования  $R$ ; величина динамического диапазона  $W_{m-1}(g)$ , соответствующая  $G_2$ , для  $R = 2$  будет иметь ограниченное значение. Например, для насыщенных реалистических изображений величина динамического диапазона не будет превышать значение 10,  $W_{m-1}(g) \leq 10$  для  $R \geq 1$ . Поэтому для компактного представления компонент подвектора  $G_2$ , предлагается использовать код Бодо.

Суть кодирования Бодо заключается в следующем:

1) для компонент подвектора  $G_2$ , определяется максимальный динамический диапазон, т.е.  $W(G_2) = \max_{lg + 1 \leq \xi \leq m-1} \{g_\xi\} + 1$ .

2) вычисление целого количества  $d_1$  бит, необходимых для представления чисел с динамическим диапазоном равным  $W(G_2)$ :  $d_1 = [\log_2 W(G_2)] + 1$ ;

3) формирование кодовой конструкции для компонент подвектора  $G_2$  так, что под каждую его компоненту будет выделяться равное количество двоичных разрядов,  $l([g_\xi]_2) = d_1$  (бит), где  $[g_\xi]_2$  – двоичная запись компоненты в подвекторе  $G_2$ ;  $l([g_\xi]_2)$  – длина двоичной записи компоненты в подвекторе  $G_2$ .

Третьей структурной составляющей вектора  $G_{m-1}$ , является компонента  $g_m$ . Значение этой компоненты представляет собой длину последней серии элементов, имеющих нулевые значения. Тогда суммарное количество компонент в трансформанте размером  $n \times n$  элементов через величину  $g_m$ , будет определяться по следующей формуле:

$$n^2 = \sum_{\xi=1}^m g_\xi = \sum_{\xi=1}^{m-1} g_\xi + g_m, \quad (2)$$

С другой стороны первое слагаемое выражения (2) определяется на основе первых двух структурных составляющих вектора  $G_{m-1}$ , т.е.  $\sum_{\xi=1}^{m-1} g_\xi = 1_g + N_g$ , где  $1_g$  – длина подвектора  $G_1$ ;  $N_g$  – длина подвектора  $G_2$ .

Поэтому предлагается величину  $g_m$  определять на приемной стороне, на основе параметров:  $n$  – линейный размер трансформанты;  $1_g$  – длина начальной

нулевой серии вектора  $G_{m-1}$ ;  $N_g$  – количество компонент в подвекторе  $G_2$ . С учетом чего величина  $g_m$  будет вычисляться по следующей формуле:  $g_m = n^2 - 1 - N_g$ .

Таким образом, вектор компонент  $G_{m-1}$  заменяется двумя кодовыми составляющими, т.е.  $G_{m-1} \rightarrow \{1(E_1); (d_1, \dots, d_g, \dots, d_{N_g})\}$ .

#### **Выводы**

1. Разработана технология кодирования вектора масштабирующих компонент, которая базируется на его разбиении на три составляющие: длина первой нулевой серии; подвектор  $G_2$ , состоящий из элементов вектора  $G_{m-1}$ , за исключением первой и последней серии нулей; последняя компонента  $g_m$ , вектора  $G_{m-1}$ .

2. Построено кодирование длинами сериями, что включает: выявление начальной серии одинаковых элементов, имеющих нулевые значение; определение количеств элементов данной серии; формирование кода длины для выявленной серии.

3. Создано кодирование подвектора  $G_2$ , с использованием кода Бодо.

#### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. *Миано Дж.* Форматы и алгоритмы сжатия изображений в действии / Дж. Миано. – М. : Издательство Триумф, 2003. – 336 с. : ил.
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.* Метод сжатия изображений на основе неравновесного позиционного кодирования битовых плоскостей / В.В. Баранник, Н.К. Гулак, Н.А. Королева // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи.* – Х. : ХНАУ "ХАІ", 2009. – Вип. 1. – С. 55–61.
4. *Сэлмон Д.* Сжатие данных, изображений и звука / Сэлмон Д. – М. : Техносфера, 2004. – 368 с. (ISBN 5-94836-027-X).

Отримано 17.08.2012