

# КОДИРОВАНИЕ ВЕКТОРА ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ КОРТЕЖЕЙ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПРЕССИИ И С ТРАНСФОРМИРОВАНИЕМ КАДРОВ ВИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

ТУРЕНКО С.В.

Обосновывается интерпретация усеченного вектора двухкомпонентных кортежей в виде укрупненного позиционного числа неопределенной длины, элементами которого являются коды двухэлементных бинарических чисел, образованных для отдельных двухкомпонентных кортежей. Доказывается теорема, в результате чего получено кодообразующее соотношение, обеспечивающее формирование кода для укрупненного позиционного числа с неопределенной длиной по двухуровневой схеме, а именно на первом уровне формируется кодовое представление для отдельных двухкомпонентных кортежей, а на втором – осуществляется формирование общего кодового представления для кодов, полученных на первом уровне.

## 1. Введение

Развитие инфокоммуникационных технологий, с одной стороны, и возросшие потребности в получении видеoinформационных услуг – с другой диктуют необходимость дальнейшего совершенствования технологий компрессии оцифрованных изображений [1; 2]. Актуальность развития теоретических основ и технологий сжатия видеоданных обусловлена наличием тенденции значительно более высоких темпов роста видеоприложений по сравнению с внедрением высокоскоростных беспроводных технологий [1 – 3]. Одним из широко используемых стандартов является JPEG [2; 3]. Поэтому в статье предлагается направление дальнейшего развития такой технологии.

Для кодирования трансформант в технологиях JPEG платформы используются две базовых стратегии, различающиеся структурными подходами относительно рассмотрения трансформанты. Первая стратегия базируется на обработке трансформанты в компонентном описании. Вторая стратегия осуществляет кодирование трансформанты для битового описания.

Преимущество обработки трансформанты для компонентного описания относительно битового представления состоят в следующем:

1. Сокращается задержка на выявление закономерностей и кодирование данных.
2. Компонентная структура обладает большей интегрированностью относительно битовой структуры, а следовательно, наличием большего количества потенциально устранимой избыточности.

Стратегия кодирования квантизированной трансформанты для компонентного описания строится с учетом таких свойств как: концентрация основной энергии исходного сигнала в ограниченном количестве низкочастотных компонент трансформанты; выделение области высокочастотных компонент, оказывающих менее значимое влияние на визуальное восприятие изображений; появление компонент трансформанты с нулевыми значениями.

Такие свойства предопределили развитие базовых стратегий кодирования компонентного представления трансформанты [3; 4]. Здесь на *первом* этапе осуществляется выделение длин  $\ell_\alpha$  цепочек, состоящих из компонент трансформанты, имеющих после квантизации нулевые значения. В результате на *втором* этапе обработки формируются двухкомпонентные кортежи (ДК). Двухкомпонентный кортеж  $\{\ell_\alpha; c_\alpha\}$  содержит в себе длину  $\ell_\alpha$  предшествующей значимой компоненте  $c_\alpha$  цепочки компонент с нулевыми значениями.

Таким образом, необходимо обосновать и создать развитие теоретической базы относительно обработки ДК линеаризированных трансформант. При этом требуется, чтобы построенная технология кодирования векторов ДК обладала потенциалом для снижения битовой скорости сжатого потока видеоданных по базовым кадрам в условиях отсутствия искажений и проведения обработки в реальном времени независимо от степени насыщенности изображений. В связи с этим *цель исследований* заключается в разработке метода кодирования вектора двухкомпонентных кортежей линеаризированных трансформант.

## 2. Основная часть

Построение кодового представления вектора  $P$  двухкомпонентных кортежей необходимо осуществлять с учетом следующих особенностей:

- 1) кортеж  $\{\ell_\alpha; c_\alpha\}$  формируется из двух компонент, где первая компонента  $\ell_\alpha$  – длина цепочки нулевых компонент, а вторая  $c_\alpha$  – значение компоненты, отличное от нулевого;
- 2) в направлении строк такой массив представляет собой структурные элементы трансформанты, имеющие неоднородные свойства, а в направлении столбцов – однородные по структурному формированию количественные параметры линеаризированной трансформанты;
- 3) компоненты кортежа независимо друг от друга принимают значения соответственно в пределах следующих динамических диапазонов:

$$1 \leq \ell_\alpha \leq \lambda(\ell) = \max_{2 \leq \alpha \leq n_{\text{крт}} - 1} \{\ell_\alpha\};$$

$$1 \leq c_\alpha \leq \lambda(c) = \max_{2 \leq \alpha \leq n_{\text{крт}} - 1} \{c_\alpha\}; \quad \alpha = \overline{2, n_{\text{крт}} - 1};$$

4) обработке подвергается не весь вектор ДК, а только та его часть  $P'$ , которая не содержит первый и последний кортежи, т.е.

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

В результате этого усеченный вектор  $P'$  двухкомпонентных кортежей представляет собой массив размерностью  $2 \times (n_{\text{крт}} - 2)$ . При этом длина  $n_{\text{крт}}$  вектора двухкомпонентных кортежей не известна заранее, так как зависит от количества и длин цепочек нулевых компонент трансформанты ДКП.

Двухкомпонентный кортеж  $\Theta_\alpha^{(2)}$  в соответствии с комбинаторной интерпретацией, задаваемой первыми вторым свойствами, является перестановкой с повторениями, на элементы которой наложены ограничения на динамический диапазон, равные  $\lambda(\ell)$  и  $\lambda(c)$ . В то же время такие последовательности являются двухосновными позиционными числами, или биадическими числами.

**Определение 1.** Двухкомпонентный кортеж, компоненты которого удовлетворяют свойствам 1 и 2, называется *двухэлементным биадическим числом*.

В качестве старшего элемента  $\theta_{1,\alpha}$  рассматривается первая компонента кортежа, а именно длина  $\ell_\alpha$  цепочки нулевых компонент. Соответственно младшим элементом  $\theta_{2,\alpha}$  является вторая компонента кортежа, т.е. значимая компонента  $c_\alpha$  линеаризированной трансформанты.

Для каждого кортежа  $\Theta_\alpha^{(2)}$  как двухэлементного биадического числа можно сформировать кодовое значение  $E(\Theta_\alpha^{(2)})$ , причем согласно свойству двухосновных позиционных чисел значение кода  $E(\Theta_\alpha^{(2)})$  будет ограничено сверху величиной, равной произведению оснований  $\lambda(\ell) \cdot \lambda(c)$ , т.е.  $E(\tilde{\Theta}_\alpha^{(2)}) < \lambda(\ell) \cdot \lambda(c)$ .

При этом, поскольку величины  $\lambda(\ell)$  и  $\lambda(c)$  являются фиксированными в пределах обрабатываемого вектора ДК, такое ограничение будет соответствовать всем кодам, полученным для двухкомпонентных кортежей текущей линеаризированной трансформанты. Это задается следующим выражением:

$$E(\Theta_\alpha^{(2)}) < \lambda(\ell) \cdot \lambda(c) \text{ для } \alpha = \overline{2, n_{\text{крт}} - 1}. \quad (1)$$

Следовательно, формируется последовательность  $A$ :

$$A = \{E(\Theta_2^{(2)}); \dots; E(\Theta_\alpha^{(2)}); \dots; E(\Theta_{n_{\text{крт}}-1}^{(2)})\},$$

составленная из величин  $E(\Theta_\alpha^{(2)})$ , для которых выполняется ограничение (1). Последовательность  $A$  с такими свойствами является позиционным числом с основанием  $\lambda(\ell) \cdot \lambda(c)$ .

Поскольку элементы  $E(\Theta_\alpha^{(2)})$  в свою очередь являются кодами биадических чисел  $\Theta_\alpha^{(2)}$ , то составленные из них позиционные числа  $A$  будем называть *укрупненными позиционными числами*.

В то же время, в соответствии с четвертым свойством длина укрупненного позиционного числа заранее не известна, т.е.  $n_{\text{крт}} = \text{var}$ . В связи с этим, сформулируем следующее определение.

**Определение 2.** Позиционное число  $A$ , количество элементов которого заранее не известно, а сами элементы в свою очередь являются кодами  $E(\Theta_\alpha^{(2)})$  двухэлементных биадических чисел  $\Theta_\alpha^{(2)}$  и удовлетворяют ограничению (1), называется *укрупненным позиционным числом (УПЧ) с неопределенной длиной (НД)*.

Для учета третьего свойства предлагается понижать динамический диапазон компонент кортежа до нулевого уровня. Вводятся величины  $\ell'_\alpha$  и  $c'_\alpha$ , равные соответственно:  $\ell'_\alpha = \ell_\alpha - 1$ ;  $c'_\alpha = c_\alpha - 1$ .

В результате компоненты будут принимать значения в следующих диапазонах:

$$0 \leq \ell'_\alpha \leq \lambda(\ell) - 1, \alpha = \overline{2, n_{\text{крт}} - 1}; \quad (2)$$

$$0 \leq c'_\alpha \leq \lambda(c) - 1, \alpha = \overline{2, n_{\text{крт}} - 1}. \quad (3)$$

Для получения кода соответствующего укрупненного неопределенной длины позиционного числа, составленного из перетрансформированных ДК сформулируем и докажем следующую теорему.

**Теорема о кодировании укрупненного неопределенной длины позиционного числа.** Значение кода  $E(P')$  для усеченного вектора  $P'$  двухкомпонентных кортежей, размерностью  $2 \times (n_{\text{крт}} - 2)$ , как комбинаторного объекта, а именно в направлении строк – структурные элементы трансформанты, имеющие неоднородные свойства с основаниями  $\lambda(\ell)$  и  $\lambda(c)$ , а в направлении столбцов – однородные по структурному формированию количественные параметры линеаризированной трансформанты, определяется на основе соотношения

$$E(P') = \sum_{\alpha=2}^{n_{\text{крт}}-1} (\ell'_\alpha \lambda(c) + c'_\alpha) \cdot (\lambda(\ell) \cdot \lambda(c))^{n_{\text{крт}} - \alpha}. \quad (4)$$

Здесь  $(n_{\text{крт}} - 2)$  – длина усеченного вектора двухкомпонентных кортежей;  $\lambda(\ell)$  и  $\lambda(c)$  – соответственно основания компонент векторов длин цепочек нулевых и значимых компонент.

**Доказательство.** В соответствии с комбинаторной интерпретацией двухкомпонентный кортеж  $\Theta_\alpha^{(2)}$  является двухэлементным биадическим числом с основаниями, равными  $\lambda(\ell)$  и  $\lambda(c)$ . Старшим элементом является первая компонента  $\theta_{1,\alpha}$  кортежа (длина  $\ell_\alpha$  цепочки нулевых компонент), а младшим элементом

является вторая компонента  $\theta_{2,\alpha}$  кортежа (значимая компонента  $c_\alpha$ ). Тогда значение кода  $E(\Theta_\alpha^{(2)})$  для двухэлементного биадического числа  $\Theta_\alpha^{(2)}$  будет определяться по формуле

$$E(\Theta_\alpha^{(2)}) = (\ell_\alpha \lambda(c) + c_\alpha). \quad (5)$$

Согласно определению 2 формируемая на основе значений кодов  $E(\Theta_\alpha^{(2)})$  последовательность  $A$ ,  $A = \{E(\Theta_2^{(2)}); \dots; E(\Theta_\alpha^{(2)}); \dots; E(\Theta_{n_{\text{крт}}-1}^{(2)})\}$  является укрупненным позиционным числом с основанием, равным  $\lambda(\ell) \cdot \lambda(c)$ .

Тогда допустимое количество  $W(A^{(\alpha)})$  укрупненных позиционных чисел, соответствующее подпоследовательности  $A^{(\alpha)}$ , составленной из кодов  $E(\Theta_\gamma^{(2)})$ , младших относительно  $\alpha$ -го кода, т.е.  $\gamma = \alpha+1, n_{\text{крт}}-1$ ,  $A^{(\alpha)} = \{E(\Theta_{\alpha+1}^{(2)}); \dots; E(\Theta_{n_{\text{крт}}-1}^{(2)})\}$ , будет определяться как накопленное произведение оснований младших элементов УПЧ. Это задается следующей формулой:

$$W(A^{(\alpha)}) = (\lambda(\ell) \cdot \lambda(c))^{n_{\text{крт}} - \alpha}.$$

С учетом этого значение кода  $E(A)$  укрупненного позиционного числа  $A$ , элементы которого имеют основания, равные  $\lambda(\ell) \cdot \lambda(c)$ , будет вычисляться по следующей формуле:

$$E(A) = E(P') = \sum_{\alpha=2}^{n_{\text{крт}}-1} E(\Theta_\alpha^{(2)}) W(A^{(\alpha)}).$$

Расписав в полученном выражении значения кода  $E(\Theta_\alpha^{(2)})$  для биадического числа и весового коэффициента  $W(A^{(\alpha)})$ , получим

$$E(A) = \sum_{\alpha=2}^{n_{\text{крт}}-1} (\ell_\alpha \lambda(c) + c_\alpha) \cdot (\lambda(\ell) \cdot \lambda(c))^{n_{\text{крт}} - \alpha}. \quad (6)$$

В формуле (6) величина  $W(A^{(\alpha)})$  выступает как весовой коэффициент  $\alpha$ -го элемента укрупненного позиционного числа (рисунок).

Полученное соотношение позволяет вычислить код  $E(A)$  для укрупненного позиционного числа  $A$ . В то же время число  $A$  формируется как двухуровневое позиционное описание усеченного вектора двухкомпонентных кортежей. Поэтому значение кода для УПЧ является кодовым представлением вектора  $P'$ , т.е.  $E(A) = E(P')$ . Теорема доказана.

Из теоремы следует, что кодирование усеченного вектора двухкомпонентных кортежей осуществляется по двухуровневой схеме (см. рисунок). На первом уровне формируется кодовое представление для отдельных двухкомпонентных кортежей  $\Theta_\alpha^{(2)}$ . Соответственно на втором уровне осуществ-

ляется формирование общего кодового представления для полученных на первом уровне кодов.

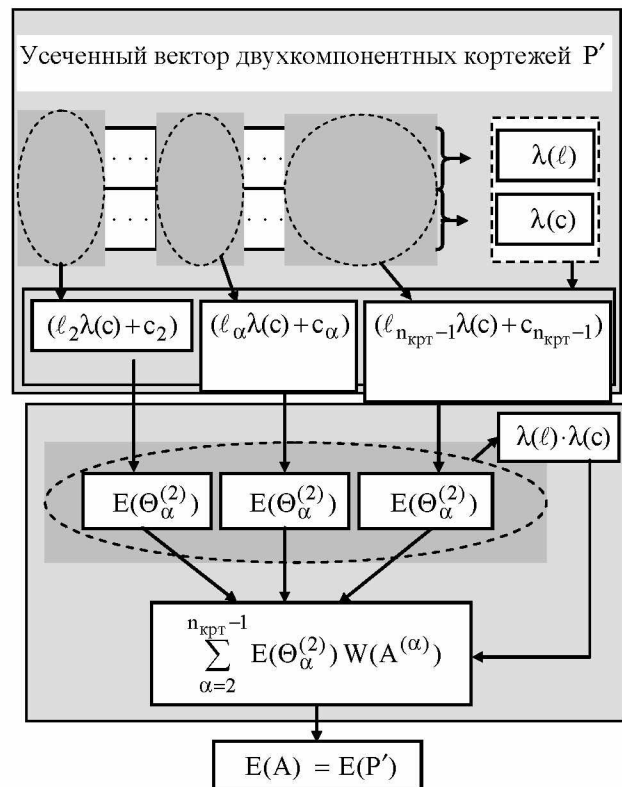


Схема двухуровневого кодирования вектора двухкомпонентных кортежей

В таком случае структура кодограммы будет состоять из двух частей, включая служебную и информационную части.

Информационная часть кодограммы включает в себя кодовое представление значения кода  $E(P')$  усеченного вектора двухкомпонентных кортежей. Служебная часть содержит основания компонент кортежа.

На основе изложенного материала можно заключить следующее:

- обоснована интерпретация усеченного вектора двухкомпонентных кортежей как укрупненных позиционных чисел, элементами которого являются кодовые значения отдельных кортежей, рассматриваемых как двухэлементное биадическое число;

- в результате доказательства теоремы получено выражение для определения кода укрупненного позиционного числа с использованием двухуровневой схемы. Кодирование проводится без потери информации, с учетом особенностей двухкомпонентных кортежей, а именно понижения динамического диапазона относительно нулевого уровня.

### 3. Выводы

1. Обоснована интерпретация усеченного вектора двухкомпонентных кортежей как укрупненного позиционного числа неопределенной длины, элементами которого являются коды двухэлементных биадических чисел, образованных для отдельных ДК.

2. В результате доказанной теоремы получено кодообразующее соотношение, обеспечивающее формирование кода для укрупненного позиционного числа с неопределенной длиной по двухуровневой схеме, а именно на первом уровне формируется кодовое представление для отдельных двухкомпонентных кортежей, а на втором – осуществляется формирование общего кодового представления для кодов, полученных на первом уровне.

*Научная новизна.* Впервые получено кодообразующее соотношение для компактного представления усеченного вектора двухкомпонентных кортежей как комбинаторного объекта. Отличие заключается в том, что кодовое значение формируется по двухуровневой схеме для укрупненного позиционного числа с неопределенной длиной, элементами которого являются коды биадических чисел, образованных для двухкомпонентных кортежей. Это позволяет сформировать без поте-

ри информации компактное представление для линеаризированной трансформанты.

**Литература:** 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. 22 – 27.

Поступила в редколлегию 05.01.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Баранник В.В.

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