

УДК 629.391

**В.Н. Кривонос,  
А.Э. Бекиров,  
М.В. Думанский**

## МЕТОД ОЦЕНКИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЛОЖНОСТИ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ВЫЯВЛЕНИЕМ ЗНАЧИМЫХ КОМПОНЕНТ ТРАНСФОРМАНТ

*Излагается разработка метода оценки количества операций, необходимых для обработки трансформированных изображений с учетом выявления вектора значимых и масштабирующих компонент. Определяется зависимость суммарного количества операций от количества типовых операций.*

**Ключевые слова:** вектор значимых компонент, вектор масштабирующих компонент, количество операций.

*Викладається розробка методу оцінки кількості операцій, необхідних для обробки трансформованих зображень з урахуванням виявлення вектора значущих і масштабуючих компонент. Визначається залежність сумарної кількості операцій від кількості типових операцій.*

**Ключові слова:** вектор значущих компонент, вектор масштабуючих компонент, кількість операцій.

*Development of the method of an estimation of the number of operations, required to the transformed image processing, taking into account an identification of significant and scaling vector components. It is determined the dependence of the total number of operations on the number of the typical operations.*

**Keywords:** vector of significant components, vector of scaling components, number of transactions.

С развитием современных цифровых технологий растут объёмы видеоданных, хранимых и передаваемых в телекоммуникационных системах [1]. Передача больших объёмов данных приводит к загрузке каналов связи. Вариант решения этой проблемы состоит в интеграции новых методов компрессии в телекоммуникационные системы.

Один из эффективных методов сжатия базируется на кодировании трансформированных изображений [2; 3]. В рамках этого был предложен метод сжатия изображений [4] суть которого заключается в формировании для линеаризованной трансформанты двух векторов. Первый – это вектор  $Y_{m-1}$ , включающий в себя значимые компоненты трансформанты [5]. В основе обработки вектора значимых компонент лежит позиционное кодирование компонент трансформанты с неравными соседними элементами. Второй вектор  $G_{m-1}$  содержит масштабирующие компоненты трансформанты. Обработка вектора масштабирующих компонент проводится на базе кодирования длин серий и методом кодирования Бодо [6]. Это дает возможность распараллелить обработку и учесть характерные особенности каждого вектора.

Таким образом, в результате позиционного кодирования значимых компонент трансформанты сокращается структурная избыточность и достигается дополнительное увеличение степени сжатия. Однако представляет интерес возможность применения предложенного метода сжатия в энергоэффективных инфокоммуникационных системах [7]. Такие системы характеризуются ограниченной вычислительной производительностью. Поэтому требуется провести оценку вычислительной сложности предложенного метода. Таким образом, *цель статьи* заключается в разработке метода оценки вычислительной сложности для обработки трансформированных изображений в телекоммуникационных системах.

### Оценка количества операций, необходимых для определения времени обработки

Обработка изображений на основании предложенного метода сжатия связана с выполнением количества операций, затрачиваемых на:

- выполнение дискретно-косинусного преобразования ДКП;
- квантование компонент трансформанты;
- линейаризацию, т.е. перевод трансформанты размером  $z_1 \times z_2$  в вектор  $Y_m$  при помощи “зигзаг”-сканирования;
- кодирование компонент вектора  $Y_m$ , состоящего из:
- вектора значимых компонент  $Y_{m-1}$  трансформанты;
- вектора масштабирующих компонент  $G_{m-1}$  трансформанты;
- низкочастотной компоненты ДС.

Затраты количества операций, необходимых на выполнение преобразования ДКП, составят  $z^2 \log z^2$  операций сложения и  $z^2 \log z^2$  операций умножения, где  $z^2$  – размер трансформанты.

Квантование компонент трансформанты связано с затратами  $z^2$  операций деления.

*На обработку вектора  $Y_{m-1}$  значимых компонент, длина которого равна  $m-1$ , требуется выполнить следующие основные действия:*

- 1) определение динамического диапазона  $w(y)$  вектора  $Y_{m-1}$ , для чего требуется выполнить  $(m-1)$  операцию сравнения;
- 2) вычисление весовых коэффициентов  $w(y)^{v-j-1}$  компонент вектора  $Y_{m-1}$ , связано с затратами  $(m-2)$  операции умножения;
- 3) определение вспомогательной величины  $\mu_j$  для каждой компоненты вектора  $Y_{m-1}$ , на что необходимо затратить  $(m-1)$  операцию сравнения, а при условии, что  $Y_j > Y_{j-1}$ , выполнить одну операцию вычитания;
- 4) формирование значения кода вектора  $E(y)_u$  связано с затратами  $(m-2)$  операции умножения;
- 5) получение кода позиционного числа с неравными соседними элементами  $E(y)_u$ , на что требуется выполнить  $(m-1)$  операций сложения.

Итоговые затраты на выполнения целочисленных операций, необходимых на обработку вектора  $Y_{m-1}$  значимых компонент, приведены в табл. 1.

**Количество операций в зависимости от вида обработки необходимых для вектора значимых компонент**

Вид операции	Сравнения	Произведение	Сложение/вычитание
Определение динамического диапазона	$(m - 1)$	–	–
Кодирование	$(m - 1)$	$2(m - 2)$	$(m - 1) + 1$
Всего	$2(m - 1)$	$2(m - 2)$	$m$

где  $m$  – длина вектора  $Y_m$ , линейризованной трансформанты.

*Определение количества операций, необходимых для обработки вектора  $G_{m-1}$  масштабирующих компонент, длина которого составляет  $(m-1)$ .* Формирование кодового описания вектора  $G_{m-1}$  связано с выполнением следующих видов операций:

1) выявление серии  $l_g$  одинаковых компонент, имеющих нулевые значения, и определение компонент составляющей  $G_2$ , вектора  $G_{m-1}$ , на что необходимо затратить  $(m-1)$  операций сравнения;

2) определение максимального динамического диапазона  $W(G_2)$  составляющей вектора, требуется выполнить операций сравнения.

Количество операций  $v_{к.о.}^{(G_{m-1})}$ , необходимых для представления вектора  $G_{m-1}$  масштабирующих компонент, равно:

$$v_{к.о.}^{(G_{m-1})} = (m - 1)_{(оп.сравн.)} + (m - 2)_{(оп.сравн.)}.$$

*Определение количества операций, необходимых на обработку низкочастотной компоненты ДС трансформанты.* Формирование кодового описания для ДС компоненты связано с затратами на выполнение основных типовых операций:

1) для определения значения разности  $(\Delta DC(t))$  необходимо затратить одну операцию вычитания;

2) для определения основного кода  $[l_i]_2$  необходимо выполнить одну операцию сравнения со стандартными кодами для низкочастотных компонент, хранящихся в специальных таблицах;

3) для определения дополнительного кода  $[d_i]_2$ , при условии отрицательного значения  $(\Delta DC(t))$ , необходимо затратить одну операцию вычитания.

Количество типовых операций  $v_{к.о.}^{(G_{m-1})}$ , которые необходимо затратить на обработку низкочастотной компоненты ДС, равно:

$$v_{к.о.}^{(DC)} = 2_{(оп.вычит)} + 1_{(оп.сравн.)}.$$

Суммарные количества типовых операций, необходимых на обработку трёх составляющих трансформанты, приведены в табл. 2.

Таблиця 2

## Суммарное распределение количества операций для обработки трансформанты разработанным методом сжатия

Распределение количества операций	Вид операции			
	Сравнения	Деления	Произведения	Сложения/вычитания
ДКП	–	–	$z^2 \log_2 z^2$	$z^2 \log_2 z^2$
Квантование компонент трансформанты	–	$z^2$	–	–
Обработка вектора $Y_{m-1}$	$2(m-1)$	–	$2(m-2)$	$m$
Обработка вектора $G_{m-1}$	$2m-3$	–	–	–
Обработка DC компоненты	1	–	–	2
Всего	$4m-4$	$z^2$	$2(m-2) + z^2 \log_2 z^2$	$z^2 \log_2 z^2 + m + 2$

Теперь можно определить суммарное количество операций, необходимых для сжатия всего изображения разработанным методом. Для этого определим количество трансформант, как  $M \times N / z^2$ . Итоговое суммарное количество операций, которые отводится для сжатия всего изображения размером  $M \times N$ , приведено в табл. 3.

Таблиця 3

## Распределение количества операций для сжатия изображения разработанным методом

Вид операции	Сравнения	Произведения	Деления	Сложения/вычитания
Количество операций	$\frac{M \times N}{z^2} \times (4m-4)$	$M \times N \times \left( \frac{2(m-2)}{z^2} + \log_2 z^2 \right)$	$z^2$	$M \times N \times \left( \log_2 z^2 + \frac{m+2}{z^2} \right)$

Количество основных операций для сжатия изображения на основании существующих методов в форматах JPEG и JPEG2000 приведено в табл. 4 и табл. 5.

Для случая JPEG размер блока равен  $z^2$ .

Таблиця 4

## Количество операций для метода JPEG2000

Вид операции	Сдвиг	Сложение/вычитания	Произведение	Деление
Смена цветовой модели	$M \times N$	$4M \times N$	$M \times N$	–
Вейвлет преобразование	$M \times N$	$4M \times N$	–	$M \times N$
Арифметическое кодирование	–	$12M \times N$	$6M \times N$	$12M \times N$
Всего	$M \times N$	$20M \times N$	$7M \times N$	$13M \times N$

Кількість операцій для метода JPEG

Метод сжатия	Кількість операцій сложения/вычитания	Тип операцій	Кількість операцій произведения/деления	Тип операцій
Блок M×N	$2M \times N \log_2 z^2$	Вещественный	$2M \times N \log_2 z^2$	Вещественный
	$12M \times N$	Целочисленный	–	–
Всего	$2M \times N \log_2 z^2 + 12M \times N$	Смешанный	$2M \times N \log_2 z^2$	Вещественный

Проведен сравнительный анализ затрат количества операций, для разработанного и существующих методов сжатия по данным табл. 3–5, из чего следует, что:

- 1) в разработанном методе нужно в среднем на 92 % меньше операций деления, чем в существующем методе;
- 2) требуется в среднем от 10 до 50 % меньше количества операций умножения и от 70 до 75 % меньше количества операций сложения/вычитания;
- 3) все операции при кодировании в разработанном методе целочисленные.

#### Выводы

1. Разработан метод оценки количества операций для технологии сжатия, основанной на выявлении и обработке векторов значимых и масштабирующих компонент трансформант. Этот метод обеспечивает возможность оценить вычислительную сложность процесса обработки изображений.

2. В результате, можно утверждать, что количество операций, необходимых на обработку изображения предложенным методом в среднем от 3 до 4 раз меньше, чем количество операций, необходимых на обработку сжатого изображения существующими методами, разработанными на JPEG платформе. Это связано с тем, что:

– количество операций сложения/вычитания для предложенного метода обработки изображений требуется в среднем в 3 раза меньше, чем для существующих методов;

– количество операций умножения/деления для предложенного метода обработки изображений требуется в среднем от 1,1 до 2 раз меньше, чем для существующих методов.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : учеб. для вузов / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб. : Питер, 2006. – 958 с.
2. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М. : Техносфера, 2005. – 1072 с.
3. Сэломон Д. Сжатие данных, изображений и звука / Д. Сэломон. – М. : Техносфера, 2004. – 368 с.
4. Баранник В.В. Кодирование значимых компонент трансформант / В.В. Баранник, В.Н. Кривонос, А.В. Хаханова // Радиоэлектроника и информатика. 2012. № 2 (57). С. 32–35.
5. Баранник В.В. Структурная модель информативности значимых компонент трансформант / В.В. Баранник, В.Н. Кривонос, А.В. Хаханова // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2013. – № 2. – С. 26–29.
6. Кривонос В.Н. Метод компактного представления вектора масштабирующих компонент трансформант / В.Н. Кривонос, Н.К. Гулак, М.В. Думанский // Сучасна спеціальна техніка. 2012. – № 3 (30). – С. 28–33.
7. Баранник В.В. Технология кодирования видеоданных в инфокоммуникационных системах / В.В. Баранник, В.Н. Кривонос // IV Міжнародна науково-практична конференція: “Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації”, (Вінниця 23–25 квітня 2013 р.) ; Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2013. – С. 231–233.

Отримано 10.10.2013