

## СЖАТИЕ МАТРИЦЫ ЗНАКОВ ДВУМЕРНОГО ЦЕЛОЧИСЛЕННОГО ВОЛНОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

к.т.н. Ал. Ю. Стрюк, Ал - р Ю. Стрюк  
(представил проф. А.В. Королёв)

*Рассматриваются способы компактного представления информации о знаке трансформант двумерного целочисленного волнового преобразования. Предлагаются аналитические выражения для оценки объёма данных необходимого для хранения знаков трансформант.*

Резкое увеличение объёмов информации передаваемой по линиям связи, необходимость хранения больших массивов данных, а также развитие цифровой техники (цифровые фотоаппараты, видеокамеры, студии цифрового монтажа и т.п.) требуют использования новых более эффективных методов сжатия данных, особенно для оцифрованной аудио-визуальной информации [1, 5].

Наиболее эффективные алгоритмы сжатия видеоданных строятся на основе применения аппарата математических преобразований. В результате математического преобразования исходному набору данных, представленному последовательностью во временном пространстве, ставится в однозначное соответствие набор данных в ином пространстве (частотном, частотно-временном). Причём свойства полученного набора таковы, что обеспечивают более компактное представление его в цифровом виде [3, 4].

В течение последних 20 лет развивается теория волнового преобразования (wavelet). Благодаря свойствам целочисленности, невысокой вычислительной сложности, сохранению разрядности обрабатываемых данных волновое преобразование является привлекательной основой для построения алгоритмов сжатия видеоданных [5, 6].

Двумерное целочисленное волновое преобразование позволяет представить двумерную матрицу цифрового описания изображения  $N$  размерности  $n \times n$  в виде матриц  $LL$ ,  $HL$ ,  $LH$ ,  $HH$  размерности  $n/2 \times n/2$  каждая. При этом низкочастотная матрица  $LL$  концентрирует в себе большую часть энергии исходного сигнала, а в высокочастотных матрицах  $HL$ ,  $LH$ ,  $HH$  сосредоточена небольшая часть энергии сигнала (т.е. большая часть значений в высокочастотных матрицах близка к нулю). Для полноцветных изображений приведенная процедура выполняется для каждой из матриц цветовых компонент  $R$ ,  $G$ ,  $B$  (рис. 1).

Значения матриц **LL** являются целыми положительными числами. Значения высокочастотных матриц **HL**, **LH**, **HH** могут быть как положительными, так и отрицательными целыми числами.

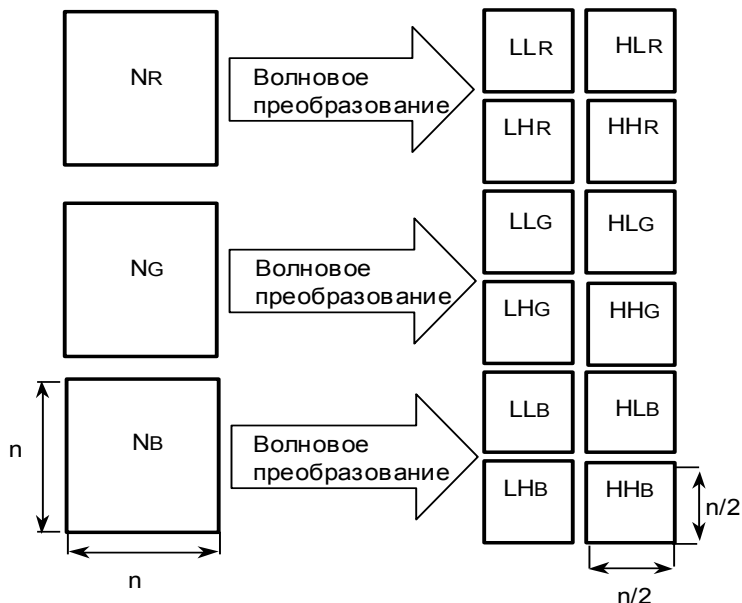


Рис. 1. Матрицы трансформант волнового преобразования

Для хранения знака высокочастотной трансформанты необходим один бит. Для большинства прикладных алгоритмов, в частности для алгоритмов сжатия видеоданных, удобным является хранение знаков трансформант в отдельном массиве однобитных чисел – матрице знаков **MZ**. В общем случае значения матрицы знаков формируются по следующему правилу:

$$MZ^{(XX)}_{i,j} = \begin{cases} 0, & \text{если } XX_{i,j} \geq 0; \\ 1, & \text{если } XX_{i,j} < 0, \end{cases} \quad (1)$$

где  $MZ^{(XX)}$  - матрица знаков, соответствующая высокочастотной области **XX**;  
**i** – число строк в матрице высокочастотной области **XX**;  
**j** – число столбцов в матрице высокочастотной области **XX**.

Объём данных, необходимый для хранения информации о знаке высокочастотных трансформант одной области, равен

$$V_{MZ} = \frac{N_{исх}}{4}, \text{ бит}$$

где  $N_{исх}$  – число значений в матрице цифрового представления исходного изображения.

Объём данных, необходимый для хранения информации о знаке высокочастотных трансформант полноцветного изображения, составит

$$V_Z = V_{MZ(HL_R)} + V_{MZ(LH_R)} + V_{MZ(HH_R)} + V_{MZ(HL_G)} + V_{MZ(LH_G)} + V_{MZ(HH_G)} + \\ + V_{MZ(HL_R)} + V_{MZ(LH_R)} + V_{MZ(HH_R)} = \frac{9N_{исх}}{4} = 2,25N_{исх}, \text{ бит.}$$

Объём данных, необходимый для хранения информации о знаке высокочастотных трансформант, может быть уменьшен, за счёт отказа от хранения информации о знаке трансформант, значение которых равно нулю. Выражение (1) при этом принимает вид

$$MZ'_{i,j}(XX) = \begin{cases} 0, & \text{если } XX_{i,j} > 0; \\ 1, & \text{если } XX_{i,j} < 0. \end{cases} \quad (2)$$

Объём данных, необходимый для хранения информации о знаке высокочастотных трансформант полноцветного изображения, составит

$$V'_Z = V_Z - 9N_0 = \frac{9N_{исх}}{4} - 9N_0, \text{ бит}$$

где  $N_0$  – число нулевых значений трансформант.

Распределения минимальных значений трансформант волнового преобразования (в процентах от общего числа высокочастотных трансформант) для волновых преобразований  $W(2,2)$  и  $W(5,3)$  [3] приведены в табл. 1. Распределения получены экспериментально с использованием набора из 500 полноцветных (24 битных) фотореалистичных изображений (вероятность цветового перепада 0,7 – 1).

Таблица 1

Процентное распределение минимальных значений трансформант волнового преобразования (стандартное отклонение)

Вид преобразования	Значение трансформант				
	0	±1	±2	±3	±4
W(2,2)	15,07 % (3,42 %)	19,62 % (3,59 %)	11,26 % (1,66 %)	6,32 % (1,08 %)	4,07 % (0,83 %)
W(5,3)	18,72 % (3,70 %)	22,86 % (3,76 %)	11,28 % (1,71 %)	5,78 % (1,14 %)	3,36 % (0,95 %)

Объём данных, необходимый для хранения информации о знаке трансформант изображения, подвергнутого волновому преобразованию  $W(2,2)$ , составит

$$V'_{Z(W(2,2))} = \frac{9N_{\text{исх}}}{4} - \left( \frac{0,15 \times 9N_{\text{исх}}}{4} \right) \approx 1,91N_{\text{исх}}, \text{ бит}.$$

Объём данных, необходимый для хранения информации о знаке трансформант изображения, подвергнутого волновому преобразованию  $W(5,3)$ , составит

$$V'_{Z(W(5,3))} = \frac{9N_{\text{исх}}}{4} - \left( \frac{0,19 \times 9N_{\text{исх}}}{4} \right) \approx 1,83N_{\text{исх}}, \text{ бит}.$$

Дальнейшее уменьшение объёма данных, необходимого для хранения информации о знаке трансформант волнового преобразования, возможно за счёт использования корреляции между матрицами знаков различных цветовых компонент. Под корреляцией, в данном случае, понимается одинаковый знак у трансформант, занимающих определённую позицию в высокочастотных матрицах (**HL**, **LH**, **HH**) различных цветовых компонент (**R**, **G**, **B**). Проведённые исследования показывают, что для фотореалистичных изображений процент корреляции составляет для преобразования  $W(2,2)$  - 66 %, для преобразования  $W(5,3)$  - 68 %. Кодирование информации о знаке трансформант может быть осуществлено следующим образом.

1. Формируются матрицы знаков высокочастотных матриц красной (**R**) компоненты. Информация о знаке значения красной компоненты не сохраняется в том случае, если в данной позиции высокочастотных матриц всех цветовых компонент находятся нули (для фотореалистичных изображений 3 – 4 % от общего числа значений трансформант):

$$MZ^{(XX_R)}_{i,j} = \begin{cases} 0, & \text{если } XX_{R_{i,j}} > 0; \\ 0, & \text{если } XX_{R_{i,j}} = 0, XX_{G_{i,j}} \neq 0, XX_{B_{i,j}} \neq 0; \\ 1, & \text{если } XX_{R_{i,j}} < 0. \end{cases}$$

2. Формируется массив признаков соответствия знаков трансформант

$$MP^{(XX)}_{i,j} = \begin{cases} 0, & \text{если } XX_{R_{i,j}} > 0, XX_{G_{i,j}} > 0, XX_{B_{i,j}} > 0 \text{ или} \\ & \text{если } XX_{R_{i,j}} < 0, XX_{G_{i,j}} < 0, XX_{B_{i,j}} < 0; \\ 1, & \text{при любых других комбинация х знаков трансформант.} \end{cases}$$

3. Формируются массивы знаков высокочастотных трансформант цветовых компонент **G** и **B**, знак которых отличается от знака высокочастотных трансформант цветовой компоненты **R**, информация о знаке нулевых значений не сохраняется:

$$MZ^{m(XX)}_{i,j} = \begin{cases} 0, & \text{если } XX_{i,j} > 0 \text{ и } MP^{(XX)}_{i,j} = 1; \\ 1, & \text{если } XX_{i,j} < 0 \text{ и } MP^{(XX)}_{i,j} = 1. \end{cases}$$

Объём данных, необходимый для хранения информации о знаке, для данного способа кодирования информации о знаке составит

$$V_Z^m = V_{MZ^m(HL_R)} + V_{MZ^m(LH_R)} + V_{MZ^m(HH_R)} + V_{MZ^m(HL_G)} + V_{MZ^m(LH_G)} + V_{MZ^m(HH_G)} + \\ + V_{MZ^m(HL_R)} + V_{MZ^m(LH_R)} + V_{MZ^m(HH_R)} + V_{MP(HL)} + V_{MP(LH)} + V_{MP(HH)}, \text{ бит.}$$

Объём данных, необходимый для хранения информации о знаке трансформант изображения, подвергнутого волновому преобразованию  $W(2,2)$ , составит

$$V_Z^{m(W(2,2))} = \frac{6N_{исх}}{4} - \frac{0,04 \times 6N_{исх}}{4} + \frac{0,34 \times 6N_{исх}}{4} - \frac{0,15 \times 0,34 \times 6N_{исх}}{4} \approx 1,87N_{исх}.$$

Объём данных, необходимый для хранения информации о знаке трансформант изображения, подвергнутого волновому преобразованию  $W(5,3)$ , составит

$$V_Z^{m(W(5,3))} = \frac{6N_{исх}}{4} - \frac{0,04 \times 6N_{исх}}{4} + \frac{0,32 \times 6N_{исх}}{4} - \frac{0,19 \times 0,32 \times 6N_{исх}}{4} \approx 1,82N_{исх}.$$

Предложенные способы кодирования информации о знаке трансформант двумерного целочисленного волнового преобразования позволяют уменьшить объём данных, необходимых для хранения информации о знаке трансформант на 15 – 20 %, и повысить тем самым степень сжатия изображений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Цифровая обработка телевизионных и компьютерных изображений / Под ред. Ю.Б. Зубарева и В.П. Дворковича – М.: МЦНТИ, 1997. – 212 с.*
2. *Прэтт У. Цифровая обработка изображений. – М.: Мир, 1982. – 736 с.*
4. *Королёва Н. А., Стрюк А. Ю. Способ сжатия видеоданных, основанный на дискретном волновом преобразовании // Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті. – 2000. – № 6. – С. 67 - 705.*
5. *Стрюк Ал –р. Ю., Стрюк Ал. Ю. Оценка степени сжатия видеоданных, подвергнутых дискретному волновому преобразованию. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2001. – Вып. 1(11). – С. 60 - 63.*
6. *Ватолин Д.С. Алгоритмы сжатия изображений. – М.: Издательский отдел факультета вычислительной математики и кибернетики МГУ им. Ломоносова, 1999. – 76 с.*
7. *Vetterli M., Kovacevic Jel. Wavelets and subband coding. - New Jersey: Prentice Hall PTR, 1995. – 437 p.*

Поступила 20.03.2001

**Стрюк Алексей Юрьевич**, канд. техн. наук. В 1997 году закончил ХВУ. Область научных интересов – системы и алгоритмы сжатия видеоданных.

**Стрюк Александр Юрьевич**, начальник отделения ВЦ Полтавского ВИУС. В 1998 году закончил ХИВВС. Область научных интересов – системы и алгоритмы сжатия видеоданных.

---