

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.

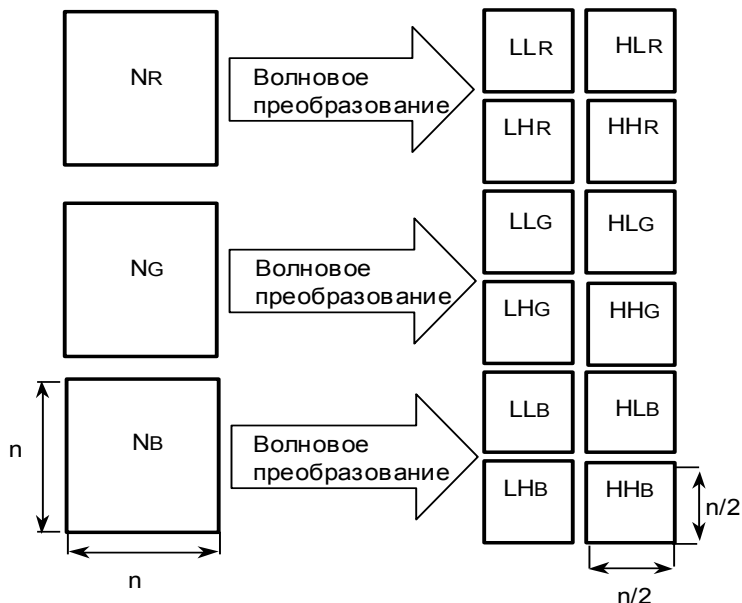


Рис. 1. Матрицы трансформант волнового преобразования

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

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

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

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

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.
