ПРОЦЕССОР ДКП ДЛЯ СИСТЕМ КОМПРЕССИИ МУЛЬТИМЕДИА ДАННЫХ БЕЗ ПОТЕРЬ И С ПОТЕРЯМИ

Ключеня В. В.
Кафедра электронных вычислительных средств, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь
E-mail: vitaly.kliuchenia@gmail.com

В данной работе предлагается реализация процессора дискретного косинусного преобразования (ДКП) и обратного (ОДКП) для системы сжатия изображения по схеме L2L (Lossless-to-lossy - без потерь и с потерями данных). ДКП и ОДКП представляются как параллельные блоки в лестничной структуре. Для режима сжатия без потерь будет использоваться дополнительный информационный блок данных.

Введение

На сегодняшний день широко распространены мобильные мультимедийные системы, которые используют стандарты H.261/3/4/5, MPEG-1/2/4 и JPEG для кодирования/декодирования видео, аудио и изображения. Ядром этих стандартов является дискретное косинусное преобразование (ДКП) I, II, III ... VIII типа. ДКП-II чаще всего используется в данных системах. Вариант косинусного преобразования для вектора действительных чисел применяется в алгоритмах сжатия информации без потерь и с потерями, т. е. по принципу L2L (lossless-to-lossy). Актуальность задачи компрессии изображения без потерь связана с необходимостью обработки неискажённой информации. Особенно это важно в таких приложениях как, например, обработка снимков с космических спутников, бортов беспилотных летательных аппаратов, изображений медицинского характера. Такое L2L кодирование имеется уже в JPEG2000 и HD Photo (JPEG-XR) [1, 2], и т. д. Однако, существующие внедренные технологии такие как JPEG2000 и JPEG-XR не могут заменить JPEG стандарт, потому что широчайшая поддержка формата JPEG программами и различной электроникой стала залогом его долгожительства. Это означает, что L2L кодирование изображения должно быть совместимо по параметрам и характеристикам со стандартом JPEG.

I. Математическое и структурное описание схемы lossless-to-lossy

Система сжатия данных L2L представляет собой блочную лестничную структуру, в свою очередь блоки представляют собой прямое и обратное ДКП, которые описаны как ДКП-II типа и ДКП-III типа и вычисляются по следующим формулам соответственно:

$$[C]_{m,n} = \sqrt{\frac{2}{M}} \cdot c_m \cos\left(\frac{m\left(n+\frac{1}{2}\right)\pi}{M}\right),$$

$$[D]_{m,n} = \sqrt{\frac{2}{M}} \cdot c_n \cos(\frac{n\left(m+\frac{1}{2}\right)\pi}{M}),$$

где $D = C^{-1} = C^T$, $0 \leq m, n \leq M-1$, $[C]_{m,n}$ - матрица прямого ДКП-II типа,а $[D]_{m,n}$ - матрица обратного ДКП или ДКП-III типа, m - количество столбцов, n - количество строк, $M = 2^n (n \in N)$

$$c_m = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & (m=0) \\ 1 & (m \neq 1) \end{cases}, c_n = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & (n=0) \\ 1 & (n \neq 1) \end{cases}$$

Лестничные структуры или лифтинг схемы - это метод реализации оригинального вейвлет преобразования, представленный Свилденом [3]. Это особый тип структуры, где используется только каскадное строительство элементарных матриц, то есть единичных матриц с одним ненулевым недиагональным элементом. Для системы L2L будет использоваться блочная лестничная структура(рис.1), где T - это матрица $N \times N$ коэффициентов лестничных шагов или лифтинг шагов, в части анализа на вход подаются вектора x_i и x_j, выходные значения векторов анализа подаются в виде y_i и y_j на вход синтеза и на выходе получаем синтезированные значения векторов z_i и z_j, T_0 и T_1 - матрицы коэффициентов лестничных шагов.

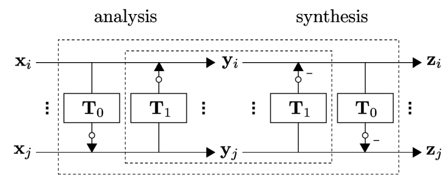

Рис. 1 – Блочная лестничная структура(кружочки - округление)

В матричном виде блочная лестничная структура выражается следующим образом

$$\begin{bmatrix} I & T_0 \\ 0 & I \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} I & T_0 \\ 0 & I \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} I & -T_0 \\ 0 & I \end{bmatrix}.$$

В системе L2L в качестве лифтинг блоков используются матрицы ДКП-II и ДКП-III типа (рис. 2).

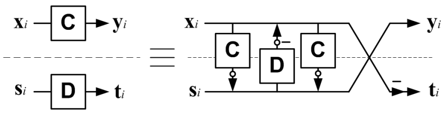

Рис. 2 – Блочная лестничная структура ДКП

Математическое описание прямого блочного лестничного преобразования следующее:

$$\begin{bmatrix} C & 0 \\ 0 & D \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & I \\ -I & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I & 0 \\ C & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I & -D \\ 0 & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I & 0 \\ C & I \end{bmatrix}$$

Для кодирования данных без потерь вводится дополнительный информационный блок [4] s_i размерностью $M \times M$ как блоки преобразования ДКП. Изначально s_0 является нулевой матрицей, а s_i - итеративное преобразование от s_0 как

$$s_i = Ds_{i-1} \quad \text{для} \quad i = 1, 2, \ldots, n-1.$$

Как результат, реализация для losless-to-lossy кодирования изображения будет представлена формулой

$$\begin{bmatrix} y_0 \\ \vdots \\ y_{n-1} \\ s_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C & 0 \\ 0 & 0 & 0 & D^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ \vdots \\ x_{n-1} \\ s_0 \end{bmatrix}$$

и s_n также кодируется со всеми y_n. Внимание, $s_n \neq 0$ из-за ошибки округления в каждом лифтинг шаге. И так можно сделать выводы:

– в режиме без потерь изображение реконструируется из всего битового потока и информационной части s_n. Каждый блок s_i - это последовательно инвертируемое преобразование $s_i = Cs_{i+1}$ без любых потерь;
– в режиме с потерями рисунок реконструируется без использования информационного блока s_n.

II. Реализация ДКП для системы lossless-to-lossy

Для данной системы L2L можно применять любые существующие реализации ДКП для кодирования изображения без потерь и с потерями кодирования, даже если они рассчитаны только для кодирования изображения с потерями [4]. Для реализации ДКП и ОДКП в блоках лифтинг шагов будем использовать быстрое преобразование ДКП Лофлера размерностью 8x8 [5]. Быстрая реализация ДКП будет представлена в виде каскада матриц оборота Гивенса и их лифтинг факторизацией.

Для достижения высокой пропускной способности системы, архитектура ДКП будет организована в виде линейной многоступенчатой конвейерной схемы [6] (рис.3), где каждая ступень реализуется как показано на рис.4.

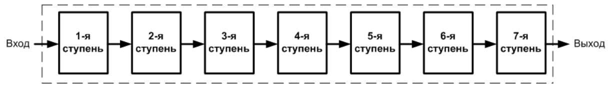

Рис. 3 – Конвейер одномерного ДКП

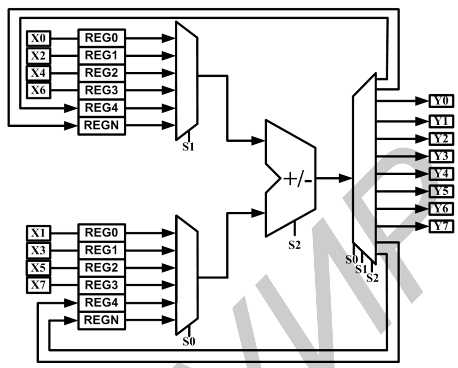

Рис. 4 – Архитектура одной ступени конвейера

В целом архитектура каждой ступени содержит два набора регистров и специальные арифметические модули для вычисления матричных умножений. Каждая ступень (рис.4) имеет 8 входов и 8 выходов, а также имеет свои управляющие сигналы. Коэффициенты всех матриц представляются в двоичном коде, матричные умножения можно представить в виде сдвигов и сложения, операции вычитания и сложения выполняются в дополнительном коде.

III. Заключение

В данной статье показано как можно применить уже существующие реализации процессора ДКП и в дальнейшем на основе этих реализаций получить систему сжатия данных с потерями и без потерь.

1. Chengjie Tu, Sridhar Srinivasan, Gary J. Sullivan, Shankar Regunathan, and Henrique S., Low-complexity hierarchical lapped transform for lossy-to-lossless image coding in JPEG XR / HD Photo , Applications of Digital Image Processing XXXI
2. Taizo Suzuki and Masaaki Ikehara, Realization of lossless-to-lossy image coding compatible with JPEG standard by direct-lifting of DCT-IDCT, Proceedings of 2010 IEEE 17th International Conference on Image Processing September 26-29, 2010, Hong Kong
3. W. Sweldens, The lifting scheme: A custom-design construction of biorthogonal wavelets, Appl. Comput. Harmon. Anal., vol. 3, no. 2, pp. 186–200, 1996.
4. Taizo Suzuki, Masaaki Ikehara, Integer DCT Based on Direct-Lifting of DCT-IDCT for Lossless-to-Lossy Image Coding IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING, VOL. 19, NO. 11, NOVEMBER 2010, PP. 2958-2965
5. Loeffler C., Ligtenberg A., Moshyz G.S., Practical fast 1-D DCT algorithms with 11 multiplications Proc. ICASSP. 1989, pp. 998-991
6. Philip P. Dang, Paul M. Chau and Truong Q. Nguyen, Trac D. Tran, BinDCT and Its Efficient VLSI Architectures for Real-Time Embedded Applications Journal of imaging science and technology, Volume 49. Number 2. March/April 2005.