

Фур'є і вейвлет-компресія зображень по методу JPEG-технологій

В.Г. Іванов, М.Г. Любарський, Ю.В. Ломоносов

Національна юридична академія України імені Ярослава Мудрого, Харків
uracad@kipt.kharcov.ua

Анотація

У даній роботі приводяться результати комп'ютерного моделювання по стиску деяких класів зображень з використанням узагальнених перетворень Фур'є (дискретне косінусне перетворення (DCT), перетворення Хаара) і вейвлет-перетворення на базі JPEG-технологій.

1. Вступ

На сьогоднішній день з файловим форматом JPEG зв'язане практично все апаратне і програмне забезпечення. Однак, є всі підстави говорити, що йому на зміну йде новий формат JPEG-2000. Замість дискретного косінусного перетворення, що є базовим для JPEG, JPEG-2000 використовує технологію Wavelet-перетворень, що заснована на представленні сигналу у виді суперпозиції спеціальних функцій – хвильових пакетів [1, 2, 3]. У результаті при тій же компресії зображення виходить більш гладким і чітким. Однак, якщо в класичній схемі JPEG-компресії

врахувати кореляцію однойменних відліків у всіх фрагментах зображення, то можна трохи підвищити ступінь стиску і відповідно якість оброблених зображень. Ця робота є логічним продовженням досліджень авторів, опублікованих раніше [4].

2. JPEG-компресія зображень

Ідея заміни одноколірного зображення, як безпосереднього об'єкта кодування, коефіцієнтами його двовимірного перетворення Фур'є відома давно [5]. Зображення піддається унітарному перетворенню, і отримані в результаті коефіцієнти перетворення квантуються, кодується і передаються по каналу зв'язку або записуються в архів.

Кодування кольорових зображень на основі узагальнених перетворень Фур'є в термінах JPEG-технологій можна представити у виді блок-схеми, зображеної на рис. 1.

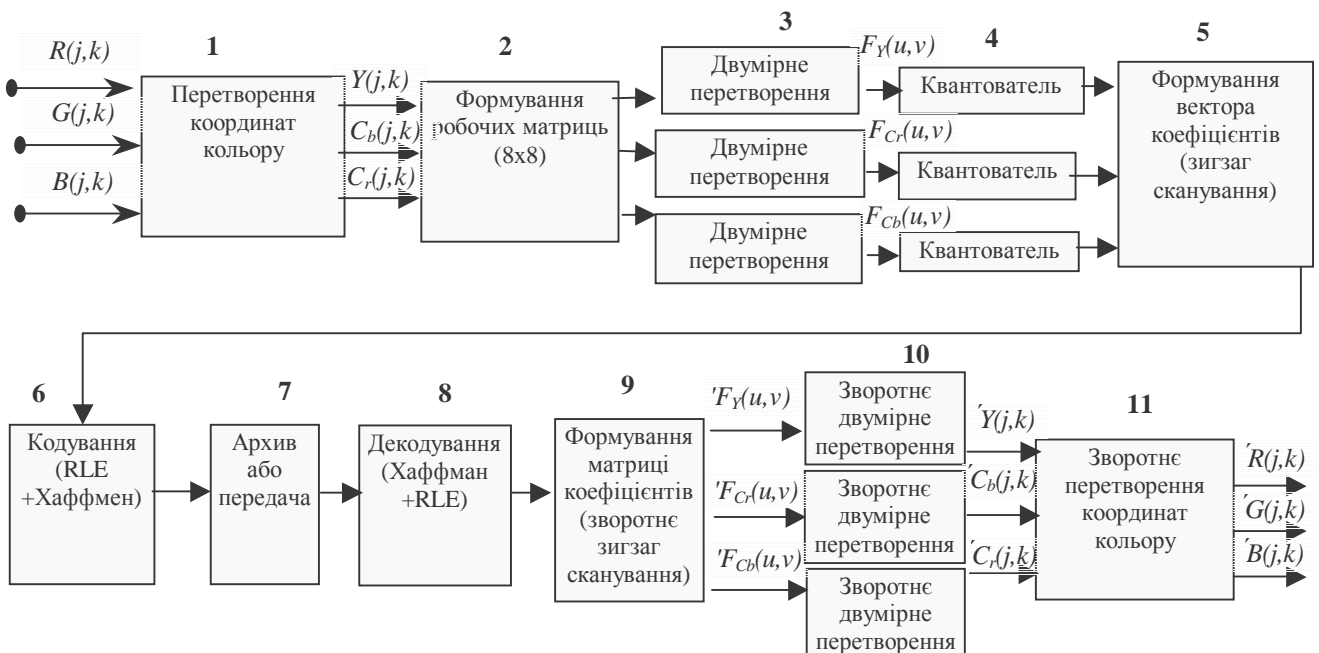


Рис. 1. Схема кодування кольорових зображень по методу JPEG-технологій.

У силу того, що перетворення Фур'є є роздільними, то результат впливу двовірного унітарного перетворення можна знаходити в два етапи. Спочатку виконується одномірне перетворення по всіх рядках матриці зображення, а потім – по всіх стовпцях отриманої матриці.

Ядро одномірного косинусного перетворення для пункту 3 (рис.1.) має наступний вид:

$$L_x(0) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum X(m);$$

$$L_x(k) = \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{m=0}^{N-1} X(m) \cos \frac{(2m+1)k\pi}{2N} \quad (1)$$

У цій формулі $X(m)$ - значення відліків у рядках відповідних робочих матриць, отриманих на другому кроці JPEG-технологій, $L_x(k)$ – коефіцієнти дискретного косинусного перетворення, а значення m і k змінюються відповідно від 0 до $N-1$ і від 1 до $N-1$ із кроком один. Варто помітити, що безліч базисних векторів

$$\left\{ \frac{1}{\sqrt{N}}, \sqrt{\frac{2}{N}} \cos \frac{(2m+1)k\pi}{2N} \right\} \quad (2)$$

фактично утворюють клас дискретних багаточленів Чебишева [6].

У випадку використання перетворень Хаара для одержання коефіцієнтів необхідно обчислити попередньо узагальнені проміжні суми Хаара [7]:

$$X_i^n = \sum_{k=2i-1}^{2i} X_k^{n-1}$$

при $n=1,2,\dots(\log N-1), i=1,2,\dots \frac{N}{2^n}$, (3)

а потім одержати і самі коефіцієнти:

$$C_{mj} = \frac{1}{N} 2^{\frac{m-1}{2}} \left[X_k^{(\log N-1)-m} - X_{k+1}^{(\log N-1)-m} \right], \quad (4)$$

де $m=1, 2, \dots \log; j=1,2,\dots 2^{m-1}$, а для виразу, яке стоїть в квадратних дужках $m=m-1, k=2j-1$.

Вільний член визначається виразом:

$$C_{01} = \frac{1}{N} \left[X_k^{(\log N-1)} + X_{k+1}^{(\log N-1)} \right], \quad (5)$$

причому значення X^0 у (5) є вихідними даними матриць яскравості і кольоровості.

На практиці, реалізація вейвлет-перетворень (пункт 3, рис.1). зводиться до застосування біортогональних вейвлет-базисів, у яких формула розкладання (6) і формула синтезу (7) є основними.

Якщо $\{a_i\}$ – коефіцієнти розкладання залишкового члена, то $\{b_i\}$ і $\{c_i\}$ – коефіцієнти відповідно нового залишкового члену

$$b_i = \sum_s h_s a_{2i+s} \quad \text{и} \quad c_i = \sum_s g_s a_{2i+s} \quad (6)$$

Аналогічно, якщо відомі коефіцієнти $\{b_i\}$ і $\{c_i\}$, то коефіцієнти $\{a_i\}$ можна відновити по формулі

$$a_i = \sum_s h_s b_{i-s} + g_s c_{i-s} \quad (7)$$

Відмінність від ортогонального випадку полягає в тім, що для розкладання і відновлення сигналу використовуються дві різні пари квадратурних дзеркальних фільтрів: пари $\{\tilde{h}, \tilde{g}\}$ при розкладанні і пари $\{h, g\}$ при відновленні. Основне рівняння, у цьому випадку має вигляд

$$\overline{h(\omega)\tilde{h}(\omega)} + \overline{h(\omega+\pi)\tilde{h}(\omega+\pi)} = 2$$

Для цього рівняння існує сімейство рішень:

$$\tilde{h}_{n,m}(\omega) = \sqrt{2} \left(\frac{1+e^{i\omega}}{2} \right)^n;$$

$$h_{n,m}(\omega) = \sqrt{2} \left(\frac{1+e^{i\omega}}{2} \right)^2 P_m \left(\sin^2 \frac{\omega}{2} \right) e^{-im\omega}, \quad (8)$$

$$P_m(x) = \sum_{s=0}^{m-1} C_{m-1+s}^s x^s$$

де – багаточлен

Дебеші.

У стандартному алгоритмі компресії, формування вектора коефіцієнтів засновано на зигзаг-скануванні (Z-сканування) відліків у кожному фрагменті зображення, пункт 5, рис.1. Подальша обробка спирається на використання ентропійних методів кодування, пункт 6, рис. 1.

Очевидно, що при розбивці всього зображення, на фрагменти розмірністю 8x8 (пункт 2, рис. 1), можна припустити про існуючий кореляційний зв'язок між однойменними коефіцієнтами суміжних

фрагментів. Дана обставина дозволить сформувати вектор коефіцієнтів після дискретного косинусного перетворення, тепер вже для всієї площини зображення, а не в межах фрагмента розмірністю 8x8. Таким чином, вектор коефіцієнтів, що надходить на наступний етап JPEG-обробки, буде містити спочатку всі перші коефіцієнти усіх фрагментів розмірністю 8x8, потім усі другі і т.д..

Послідовність зчитування коефіцієнтів ілюструє рис. 2.

a_{00}	a_{01}	a_{02}	a_{03}	a_{04}	a_{05}	a_{06}	a_{07}
a_{10}	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	a_{16}	a_{17}
a_{20}	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}	a_{25}	a_{26}	a_{27}
a_{30}	a_{31}	a_{32}	a_{33}	a_{34}	a_{35}	a_{36}	a_{37}
a_{40}	a_{41}	a_{42}	a_{43}	a_{44}	a_{45}	a_{46}	a_{47}
a_{50}	a_{51}	a_{52}	a_{53}	a_{54}	a_{55}	a_{56}	a_{57}
a_{60}	a_{61}	a_{62}	a_{63}	a_{64}	a_{65}	a_{66}	a_{67}
a_{70}	a_{71}	a_{72}	a_{73}	a_{74}	a_{75}	a_{76}	a_{77}

а)

0	1	4	5	16	17	20	21
2	3	6	7	18	19	22	23
8	9	12	13	24	25	28	29
10	11	14	15	26	27	30	31
32	33	36	37	48	49	52	53
34	35	38	39	50	51	54	55
40	41	44	45	56	57	60	61
42	43	46	47	58	59	62	63

б)

Рис. 2. Порядок зчитування коефіцієнтів.

А) Z-сканування коефіцієнтів у межах одного фрагмента зображення 8x8.

Б) Зчитування вейвлет-коефіцієнтів на всій площині зображення.

З огляду на схожість однойменних відліків суміжних фрагментів зображення,

при формуванні вектора коефіцієнтів, одержимо послідовність відліків більш гладкої форми, що повинно більш ефективно відбитися на результаті роботи методів стиску без утрат (пункт 6, рис. 1).

На рис. 3 приведена залежність коефіцієнта стиску (К ст) від середньоквадратичної помилки (СКП), при використанні різних методів стиску, для зображення Peppers.bmp, узятого з бібліотеки стандартних зображень <http://www.icsl.ucla.edu>.

У легенді рис. 3 використовуються наступні позначення кривих залежності коефіцієнта стиску від середньоквадратичної помилки:

DCT-JPEG – класична схема JPEG компресії з використанням дискретного косинусного перетворення (DCT) зображення (пункт 3, рис.1),

HAAR-JPEG – класична схема JPEG компресії з використанням перетворення Хаара (пункт 3, рис. 1),

WAVELETS – використання вейвлет-перетворення зображення (алгоритм Малла), у R,G,B-компонентах кольоровості, із граничною обробкою вектора коефіцієнтів після зчитування (рис.2 (б)),

JPEG* - використання DCT з Z-скануванням однойменних коефіцієнтів суміжних фрагментів розмірністю 8x8,

JPEG*- 1,2,5 - використання DCT з Z-скануванням однойменних коефіцієнтів суміжних фрагментів розмірністю 8x8 і наступною граничною обробкою вектора коефіцієнтів з рівнем порога відповідно 1, 2 і 5.

Як видно з отриманих результатів, подібна модифікація класичної схеми компресії, по методу JPEG-технологій, приводить до підвищення якості обробки. Так, при гарній якості (E=0,12) коефіцієнт стиску запропонованого методу з порогом 5 перевищує відомий приблизно на 20%-25%.

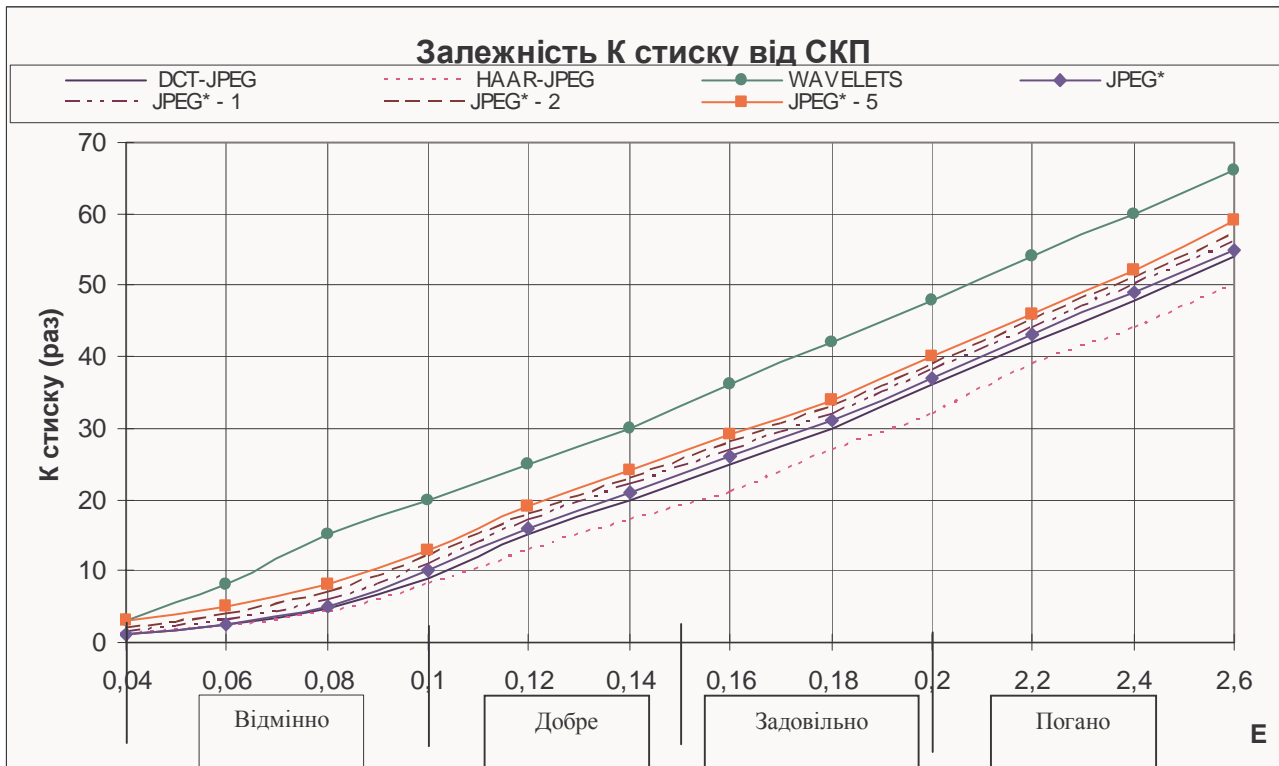


Рис.3. Залежність коефіцієнта стиску від СКП.

3. Висновки

Розвиток методу може бути доповнено адаптивною обробкою кожної групи однойменних коефіцієнтів окремо.

Діапазони значень СКП, якими можна характеризувати суб'єктивну оцінку якості зображення (відмінно, добре, задовільно, погано), для інших класів зображень можуть трохи відрізнятися, але незначно.

4. Література

- [1] Кравченко В.Ф. Рвачев В.А. Wavelet-системы и их применение в обработке сигналов // Зарубеж. радиоэлектроника. – 1996. - №4. с.3-20.
- [2] Новиков М.Я. Стечкин С.Б. Основы теории всплесков // Успехи мат. наук. – 1998. – 53., № 6 (324_). – с. 53-128.
- [3] Воробьев В.И., Грибунин В.Г. Теория и практика вейвлет-преобразования. СПб.:Изд-во ВУС, 1999.-208 с.
- [4] В.Г. Иванов, М.Г. Любарский, Ю.В. Ломоносов. Применение вейвлет анализа к сжатию звуковых сигналов // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2003. - №7, т.1. – С.39-50
- [5] Пратт, Кейн, Эндрюс. Кодирование изображений посредством преобразования Адамара. – ТИИЭР, 1969, т. 57, № 1, с. 66-67.
- [6] Ахмед Н., Рао К.Р. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов. – М.: Связь, 1980. – 248 с.
- [7] Иванов В.Г. Формальное описание дискретных преобразований Хаара // Проблемы управления и информатики. – 2003. - № 5.