

УДК 681.32

С.В. ПАВЛОВ, Р.Ю. ДОВГАЛЮК

АЛГОРИТМИ УЩІЛЬНЕННЯ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

*Вінницький національний технічний університет,
Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна
тел. (0432)440-125, факс (0432) 465-772,
E-mail: psv@vstu.vinnica.ua*

Анотація. В статті наводиться огляд розповсюджених алгоритмів ущільнення зображень. Наведені приклади типів зображень, в компресії яких кожен алгоритм показує найкращу ефективність. Подана ефективність ущільнення медичних зображень даними алгоритмами.

Анотация. В статье приводится обзор распространенных алгоритмов сжатия изображений. Приведены примеры типов изображений, в компрессии которых каждый алгоритм показывает наилучшую эффективность. Представлена эффективность сжатия медицинских изображений данными алгоритмами.

Abstract. A review of commonly used algorithms for image compression is given in this article. The examples of image types compression in which every algorithm demonstrates the best effectiveness are presented. Compression efficiency of medical images by those algorithms is presented.

Ключові слова: ущільнення медичних зображень, алгоритми компресії без втрат, JPEG 2000, Deflate, LZW.

ВСТУП

В теперішній час для отримання цифрових зображень найчастіше використовують ПЗЗ (прилад з зарядовим зв'язком) – матриці [1]. Цифрові графічні зображення в не ущільненому виді займають велику кількість дискового простору. В зв'язку з цим, виникає необхідність застосовувати алгоритми ущільнення, що дозволяють досягнути зменшення розміру зображення та відповідно збільшити кількість зображень на одиницю дискового простору. Медична візуалізація створює велику кількість цифрових графічних зображень. За таких умов важливо правильно обрати оптимальний алгоритм ущільнення зображень.

В даному матеріалі описаний принцип ущільнення зображень алгоритмами RLE, LZW, Deflate, JPEG, JPEG 2000 та наведені приклади зображень в ущільненні яких кожен з вищезазначених алгоритмів демонструє найкращу ефективність. Порівняно результативність ущільнення медичних зображень алгоритмами компресії без втрат інформації Deflate (в складі формату png), JPEG 2000 (в складі формату j2k) та LZW (в складі формату tif). Встановлено, що найкращу ефективність ущільнення медичних зображень має алгоритм JPEG 2000.

ОПИС ПРИНЦИПУ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ГРАФІЧНОГО ЗОБРАЖЕННЯ В ЦИФРОВІЙ ФОРМІ

З технічної точки зору, зображення представляє собою двовимірний масив з m рядків та n стовпців. Вираз $m \times n$ називають роздільною здатністю зображення. Елементами такого масиву цифрового зображення є пікселі, кожен з яких представлений одним або декількома кодами [2]. Опіраючись на представлення пікселів у цифровому коді, зображення можна розділити на три типи, наведені нижче у структурно-логічній схемі.



Рис. 1. Типи графічних зображень

В чорно-білих або бінарних зображеннях піксель представлений одним бітом і відповідно може бути

або чорним або білим. В зображеннях такого типу найчастіше зберігають тексти.

Зображення з градаціями сірого складаються з пікселів, які приймають один з 2^n рівнів градації сірого кольору, де n – число кратне 4 і не більше 24, яке показує скільки біт може займати піксель. Зазвичай, зображення з градаціями сірого є 8 бітними, тобто забарвлення пікселя такого зображення має один з 256 відтінків сірого. До таких зображень можна віднести цифрові томографічні та рентгенологічні знімки.

Кольорові зображення характеризуються більшим переліком характеристик. Кожен піксель кольорового зображення характеризується окрім яскравості ще і хроматичними даними такими як насиченість та колір. В наш час кольорові зображення зазвичай 24 бітні [2].

Окрім базових типів в класифікацію зображень доцільно ввести ще три підтипи, які в великій мірі визначають ефективність ущільнення зображень алгоритмами компресії: зображення з великими областями, заповненими однорідними кольорами, зображення з плавною зміною кольорів, зображення з різкою зміною кольору.

ОГЛЯД АЛГОРИТМІВ ДЛЯ УЩІЛЬНЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ

Алгоритмами ущільнення зображень називають методи, які дозволяють зменшити кількість символів, використаних для кодування зображення, і відповідно зменшити розмір необхідного дискового простору для зберігання даного зображення. В залежності від типу алгоритми бувають з втратами та без втрат якості зображення. Методи, що ущільнюють зображення з втратами, призводять до втрати деякої частини інформації зображення, але при цьому вони забезпечують набагато кращий рівень компресії. Враховуючи механіку людського зору, втрата невеликої кількості дрібних деталей зображення не позначиться на візуальному сприйнятті. Проте в деяких галузях науки та техніки втрата хоч якоїсь частини інформації зображення та поява шумів є неприйнятною. За таких обставин ущільнення зображень можливе лише за допомогою алгоритмів без втрат, не зважаючи на те, що рівень компресії в них набагато менший [2-4]. Нижче наведений перелік найпоширеніших алгоритмів ущільнення зображень.

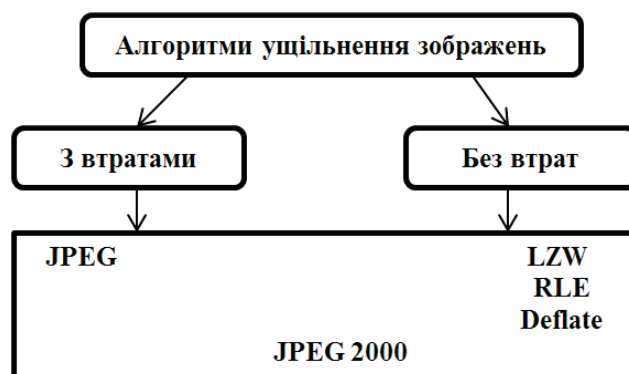


Рис. 2. Алгоритми ущільнення зображень

RLE (Run-length encoding) – один з найпростіших методів ущільнення інформації. При ущільненні даним алгоритмом зображення рядки пікселів з однаковим кольором будуть замінені вказівником кількості повторів цих пікселів. Як наслідок, вихідне зображення буде містити менший об'єм коду без зниження якості. Враховуючи такий механізм роботи, алгоритмом RLE доцільно ущільнювати зображення з невеликою кількістю кольорів та великими областями, заповненими одним кольором (текст в графічному форматі, таблиці, діаграми). Використання даного алгоритму для ущільнення зображень з великою кількістю кольорів, наприклад, фотографій, є не доцільним, оскільки алгоритм може збільшити розмір зображення замість його зменшення. Алгоритм RLE використовується в таких форматах файлів як pdf, psx та rle [2].

LZW (Lemple-Zif-Welc) – алгоритм ущільнення, що використовує динамічні словники при обробці зображення. В процесі ущільнення зображення алгоритм заносить послідовності байтів зображення в словник і при їх повторенні замінює їх вказівником на комірку в словнику з ідентичним рядком, записаним раніше. Алгоритм LZW доцільно використовувати при ущільненні зображень, що містять велику кількість повторюваної інформації. На даний час використовується в форматах зображень gif та tif [2,5].

JPEG – алгоритм ущільнення зображень з втратами призначений для компресії зображень з плавною зміною кольорів, наприклад, фотографій. Ущільнення даним алгоритмом включає наступні етапи:

1. Переведення зображення з кольорової моделі RGB в модель яскравості/різниці кольорів YCbCr, яка використовує значення яскравості Y та компоненти Cr та Cb, що відповідають за хроматичний червоний та синій кольори. Оскільки людське око менш чутливе до зміни кольору ніж яскравості зображення, в подальшому деяку частину інформації про колір пікселів можна втратити для кращого ущільнення без значного візуального погіршення зображення в цілому.

2. Пікселі кожної кольорової компоненти організуються в блоки 8x8, які піддаються окремому ущільненню. Той факт, що кожен блок пікселів ущільнюється окремо, є одним з недоліків алгоритму JPEG. При високих ступенях компресії зображення може стати подібним до мозаїки. Приклад погіршення якості зображення при значному ущільненні показаний нижче.

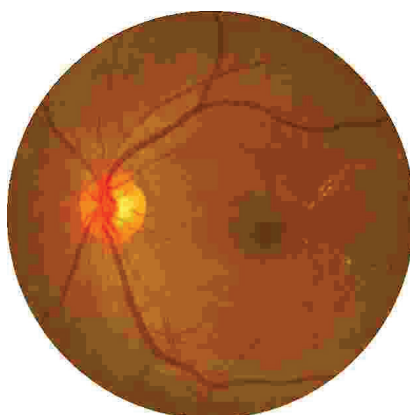


Рис. 3. Мозаїчність зображення внаслідок значного ущільнення алгоритмом JPEG

3. До вищеназваних блоків застосовується дискретне косинусне перетворення. Дане перетворення заміняє блок 8x8 даних кольору пікселів матрицею 8x8 з коефіцієнтами перетворення. Через обмежену точність комп'ютерних обрахунків в тригонометричних функціях дискретне косинусне перетворення призводить до невеликих втрат інформації.

4. Далі відбувається основна частина ущільнення зображення. Спочатку програма-компресор прораховує дві таблиці констант квантизації в залежності від рівня якості вихідного зображення, вказаного користувачем. Одна таблиця призначається для даних яскравості, інша – для даних про колір. Далі константи з новостворених таблиць використовуються в квантуванні коефіцієнтів, отриманих після застосування дискретного косинусного перетворення. Кожен коефіцієнт ділиться на відповідну константу з таблиці квантування та округляється до найближчого цілого значення. Результат квантування коефіцієнтів косинусного перетворення полягає в тому, що малі та неважливі коефіцієнти будуть замінені нулями, в той час як більші втратять точність.

5. Квантизовані коефіцієнти кожного блоку піддаються ущільненню алгоритмом RLE або кодуванням Хаффмана.

6. На останньому етапі в ущільнений файл зображення додаються заголовки та використані параметри алгоритму JPEG.

7. Можливість вибору ступеня якості при ущільненні зображень алгоритмом JPEG дозволяє знайти компроміс між якістю та розміром вихідного зображення. Даний алгоритм найкраще підходить для ущільнення зображень з плавною зміною кольорів разом з тим використання алгоритму для ущільнення текстів в графічному форматі та інших зображень з різкою зміною кольору пікселів призведе до появи таких дефектів як мозаїчність зображення та появи ореолів навколо різких переходів кольорів. Алгоритм JPEG використовується в таких форматах цифрових зображень як jpg та jpeg [2].

Deflate – універсальний алгоритм ущільнення інформації без втрат. На початку свого існування використовувався лише в zip та gzip архівах. Пізніше даний алгоритм почав використовуватись в компресії графічних зображень в форматах png та pdf. Ущільнення проходить в два етапи [6-7]:

1. За допомогою варіації словникового алгоритму LZ77 повторювані рядки інформації замінюються вказівником на ідентичний рядок інформації, записаний в вихідний потік інформації раніше. В якості словника використовується так зване ковзаюче вікно (sliding window) розміром 32 кілобайта, в якому знаходиться остання оброблена інформація. Варто зазначити, що вигляд вказівників в алгоритмах LZ77 та Deflate різний. В Deflate вказівник представлений лише двома параметрами – відстанню до ідентичного рядка в словнику, обробленого раніше та його розміром. У випадку, якщо рядок інформації або одиничний символ не знайдений в словнику, він копіюється у вихідний потік без змін. В іншому випадку копіюється вказівник. Як наслідок, вихідний потік ущільненої інформації

складається з байтів рядків інформації, які не піддались ущільненню, та вказівників на повторювані рядки з інформацією.

2. Вихідний потік, отриманий після першого етапу ущільнюється кодуванням Хаффмана.

JPEG 2000 – розвиток стандарту ущільнення зображень JPEG. В ньому, на відміну від JPEG, використовується не дискретне косинусне перетворення, а вейвлет перетворення, яке широко використовується в обробці сигналів і зображень [8]. Можливість вибору одного з двох коефіцієнтів фільтрації в вейвлет перетворенні, що використовується в алгоритмі JPEG 2000, дозволяє здійснювати даним алгоритмом ущільнення з втратами або без втрат [2].

ВИБІР АЛГОРИТМУ ДЛЯ УЩІЛЬНЕННЯ МЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Архіви цифрових медичних зображень потребують велику кількість дискового простору для зберігання. Використання алгоритмів ущільнення з втратами інформації є недопустимим у випадку оброблення медичних зображень, оскільки поява будь-яких навіть малих дефектів може призвести до неможливості детального аналізу такого зображення. За таких обставин ущільнення медичних зображень можливо виконувати лише алгоритмами без втрат інформації. Для оцінки ефективності ущільнення зображень даними алгоритмами був створений набір тестових зображень, які відповідають основним типам цифрових зображень, наведених у розділі «Опис принципу представлення графічного зображення в цифровій формі». Результати ущільнення зображень алгоритмами LZW, Deflate та JPEG 2000 наведені нижче.

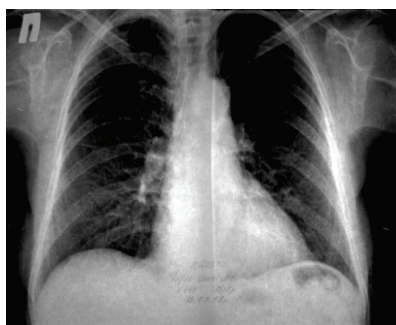


Рис.4. Тестове зображення №1, рентгенологічний знімок

Результати ущільнення зображення №1:
 JPEG 2000 (Image1.jp2): 8,47 Мбайт
 Deflate (Image1.png): 9,15 Мбайт
 LZW (Image1.tif): 17,3 Мбайт

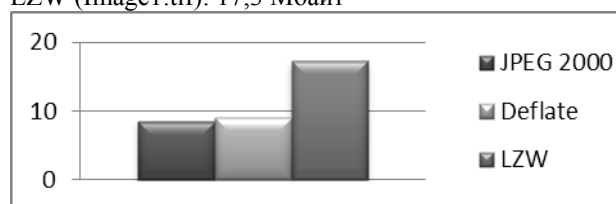


Рис. 5. Порівняльна діаграма розмірів тестового зображення №1 після ущільнення



Рис. 6. Тестове зображення №2, знімок дна ока

Результати ущільнення зображення №2:
 JPEG 2000 (Image2.jp2): 1,54 Мбайт
 Deflate (Image2.png): 2,14 Мбайт
 LZW (Image2.tif): 2,06 Мбайт



Рис. 7. Порівняльна діаграма розмірів тестового зображення №2 після ущільнення

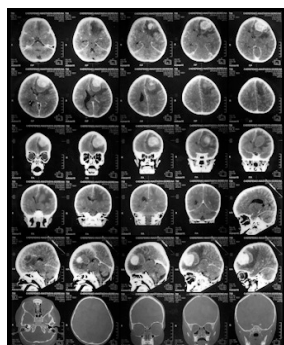


Рис. 8. Тестове зображення №3, томографічний знімок

Результати ущільнення зображення №3:
 JPEG 2000 (Image3.jp2): 7,14 Мбайт
 Deflate (Image3.png): 8,79 Мбайт
 LZW (Image3.tif): 10,9 Мбайт



Рис. 9. Порівняльна діаграма розмірів тестового зображення №3 після ущільнення

ВИСНОВКИ

1. Для ущільнення медичних зображень допустимо використовувати лише алгоритми без втрат інформації, оскільки поява будь-яких навіть малих дефектів може призвести до неможливості детального аналізу такого зображення.

2. В процесі порівняння алгоритмів ущільнення без втрат LZW, JPEG2000 та Deflate встановлено, що в компресії медичних зображень найменший розмір вихідного зображення, а отже і найкращу ефективність, забезпечує алгоритм JPEG 2000.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кожем'яко В.П. Оптико-електронні методи і засоби для обробки та аналізу біомедичних зображень: (Монографія) / В.П. Кожем'яко, С.В. Павлов, К.І. Станчук. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 203 с.
2. Salomon D. Data Compression / David Salomon. – 2004. – 960P. – ISBN 0-387-40697-2.
3. Gonzalez Rafael C. Digital Image Processing / Richard E. Woods. – 2002. – 793 P. – ISBN 0-201-18075-8
4. Sayood Khalid. Introduction to data compression / Khalid Sayood. –3rd ed. – 2006. – 680P.
5. Kou, Weidong. Digital Image Compression: Algorithms and Standards / Weidong Kou. – 1995 – 216 P.
6. DEFLATE Compressed Data Format Specification [Електронний ресурс]. – Режим доступу: World Wide Web: <http://www.ietf.org/rfc/rfc1951.txt> .
7. PNG: the definitive guide / Greg Roelofs – 1999. – 321 P. – ISBN 1565925424.
8. Застосування вейвлет-перетворення для аналізу фотоплетизмографічних даних / С.В. Павлов, А. Авад Ахмед, Т.М. Василініч // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2006. – № 1(11). – С. 151—155.

Надійшла до редакції 29.11.2010р.

ПАВЛОВ С.В. – д.т.н., професор, перший проректор з наукової роботи, зав. кафедри загальної фізики та фотоніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.

ДОВГАЛЮК Р.Ю. – студент кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.