

УДК 621.391.1-681.3

СТИСКУВАЛЬНЕ ВІДОБРАЖЕННЯ ЗІ ЗМІННИМ КОЕФІЦІЄНТОМ СТИСКУВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ДЛЯ КОДУВАННЯ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

ЗАГРЕБНЮК В.І.

ОНАЗ ім. О.С. Попова

THE COMPRESSING MAPPING OF DIGITAL IMAGES WITH VARIABLE COEFFICIENT OF COMPRESSING TRANSFORM FOR THEIR ENCODING

ZAGREBNIYUK V.I.

ONAT n.a. A.S. Popov

***Анотація.** У роботі запропоновано стискувальне відображення зі змінним коефіцієнтом стискувального перетворення простору RGB. За результатами дослідження властивостей стискувального відображення встановлено, що зі збільшенням коефіцієнта стискувального перетворення зменшується візуальна та статистична надмірність зображення, що може бути використано для підвищення ефективності ентропійного стиснення.*

***Summary.** The compressing mapping of digital images with variable coefficient of compressing RGB transform have been proposed in the paper. From the compressing mapping research occurs that visual and statistic decrease is coming with growth of coefficient of compressing transform. This can be used to increase the entropy compression efficiency.*

ВСТУП

За результатами досліджень компанії Cisco обсяг світового трафіку щорічно буде збільшуватись на 50 % та може досягти у найближчому майбутньому близько 500 ексабайтів. Причому 90 % цього трафіку буде складати потокове відео та інші відеодані. Наряду з цим, завдяки широкому впровадженню цифрового телебачення все більш поширюється телебачення високої чіткості (HDTV) та очікується впровадження телебачення надвисокої чіткості (Super HDTV). Отже, для забезпечення необхідної якості обслуговування, при зростаючому навантаженні, необхідно здійснювати технічну модернізацію IP-мереж, систем передавання даних та систем передавання телевізійного сигналу по радіоканалах, що вимагає значних капітальних витрат та є довготривалим процесом. Більш актуальним вирішенням проблеми збереження необхідної якості обслуговування є використання високоефективних методів стиснення медіаданих.

Найбільший обсяг у відеопотоці займають опорні кадри, які стискають такими ж алгоритмами, як і статичні цифрові зображення. Тому дослідження, спрямовані на підвищення ефективності методів стиснення статичних зображень та розробку нових методів, є актуальними.

Найбільші коефіцієнти стиснення отримують за рахунок зменшення візуальної та статистичної надмірностей. Зменшення візуальної та статистичної надмірностей реалізується, наприклад, за рахунок квантування коефіцієнтів дискретного косинусного (JPEG, MPEG2) або вейвлет-перетворень [1, 2], чи, як в алгоритмі JPEG, додатково за рахунок зменшення просторової надмірності у результаті проріджування хроматичних компонент [3,4]. Ще одним напрямком збільшення ефективності стиснення зображень є розробка нових методів проадаптації даних та контекстного моделювання [5-9].

Що стосується використання стискувальних відображень для проадаптації та зменшення надмірності відеоданих, то їх практично не використовують у системах стиснення. Тому метою даної роботи є актуальна задача – дослідження впливу зміни коефіцієнтів стискувального перетворення лінійного стискувального відображення sVX2X3 на зменшення візуальної та статистичної надмірності зображення та якість його візуального сприйняття.

СТИСКУВАЛЬНЕ ВІДОБРАЖЕННЯ СВХ2Х3 ЗІ ЗМІННИМ КОЕФІЦІЄНТОМ
СТИСКУВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ

Розглянемо лінійне перетворення СВХ2Х3 виду

$$\begin{pmatrix} B \\ X2 \\ X3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \lambda_1 & \lambda_2 & \lambda_3 \\ -\lambda_1 & 1-\lambda_2 & -\lambda_3 \\ k_c & k_c & k_c \\ -\lambda_1 & -\lambda_2 & 1-\lambda_3 \\ k_c & k_c & k_c \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

Позначимо через

$$M = \begin{pmatrix} \lambda_1 & \lambda_2 & \lambda_3 \\ -\lambda_1 & 1-\lambda_2 & -\lambda_3 \\ k_c & k_c & k_c \\ -\lambda_1 & -\lambda_2 & 1-\lambda_3 \\ k_c & k_c & k_c \end{pmatrix} \quad (2)$$

матрицю цього лінійного відображення.

Тут $\lambda_i, \left(\sum_{i=1}^3 \lambda_i = 1 \right)$ власні значення ковариційної матриці компонент простору RGB, розраховані по зображенню та впорядковані у порядку спадання: $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$, C_i – компоненти простору RGB, впорядковані у відповідності з їх власними значеннями, $k_c \geq 2$ – змінний коефіцієнт стискувального перетворення (1).

Оскільки [10]

$$\sum_{i=2}^3 \sum_{j=2}^3 m_{ij} = \frac{2}{k_c^2} (\lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 + \lambda_1) < \frac{2(1+\lambda_1)}{k_c^2} \ll 1,$$

то відображення простору $C_1C_2C_3$ у підпростір $X2X3$ є стискувальним. Перехід з простору RGB у стискувальний простір СВХ2Х3 буде супроводжуватися зменшенням динамічних діапазонів хроматичних компонент. В залежності від коефіцієнта стискувального перетворення значення хроматичних компонент не будуть виходити за межі діапазонів

$$\tilde{X}2 \in \left[-255(\lambda_1 + \lambda_3)/k_c, 255(\lambda_1 + \lambda_3)/k_c \right];$$

та

$$\tilde{X}3 \in \left[-255(\lambda_1 + \lambda_2)/k_c, 255(\lambda_1 + \lambda_2)/k_c \right].$$

На рисунку 1 наведена середня кількість кольорів N_{X2} та N_{X3} у палітрах хроматичних компонент X2, X3 для різних значень k_c .

Як видно з рисунку, залежність між N_{Xi} та k_c є ступеневою. Скориставшись методом найменших квадратів, отримаємо, що

$$N_{X2} = 88,88 \cdot k_c^{-0,948} \quad (3)$$

з коефіцієнтом конкордації $R^2 = 0,9998$,

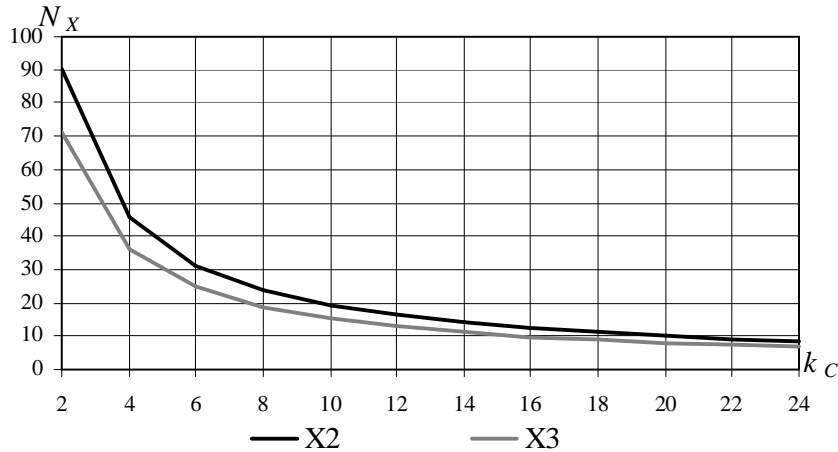


Рисунок 1 – Палітри хроматичних компонент

$$N_{X3} = 69,81 \cdot k_c^{-0,939} \quad (4)$$

з коефіцієнтом конкордації $R^2 = 0,9997$.

Таке значне зменшення діапазонів хроматичних компонент має наслідком зменшення колірної або візуальної надмірності зображення. Розглянемо, як змінюється кількість кольорів у зображенні після зворотного перетворення з простору sBX2X3 у простір RGB, що має вид

$$\begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{pmatrix} = M^{-1} \begin{pmatrix} B \\ X_2 \\ X_3 \end{pmatrix} \quad (5)$$

Фотореалістичні зображення у середньому можуть мати від десятків до сотень тисяч різних кольорів. Внаслідок зменшення динамічних діапазонів хроматичних компонент, зменшується кількість кольорів у відтвореному зображенні після виконання оберненого відображення, що може мати наслідком зменшення якості візуально сприйного зображення.

Для стискувального перетворення з коефіцієнтом $k_c = 8$ кількість кольорів у оброблених зображеннях, у середньому, у п'ять разів менша, порівняно з вхідними. Формалізована оцінка якості за співвідношенням сигнал/шум у середньому по всім тестовим зображенням складає для компоненти R – 52,19 дБ, для G – 43,83 дБ та для B – 43,83 дБ. Тобто таке суттєве зменшення кількості кольорів практично не приводить до помітних візуальних спотворень кольорів у оброблених зображеннях.

На рисунку 2 наведено графік середніх по 100 зображеннях значень відношення $R = N_{CS}/N_{CI}$ (N_{CS} – кількість кольорів у зображенні після стискувального відображення, N_{CI} – кількість кольорів у вхідному зображенні) для різних коефіцієнтів стискувального перетворення $k_c \in [2,24]$.

На рис. 3 наведено графіки залежності значень середніх по ста зображеннях пікових відношень сигнал/шум (PNSR) для компонент простору RGB після стискувального перетворення в залежності від k_c . Як витікає з отриманих результатів, навіть при $k_c = 24$ PNSR не менше 30 дБ для всіх компонент простору RGB.

Слід зазначити, що для $k_c > 8$ спостерігаються зображення зі спотворенням кольорів в окремих їх частинах та пастеризація у частинах зображення, де інтенсивність кольору змінюється монотонно. Зі збільшенням k_c частка таких зображень збільшується та при $k_c = 24$ складає приблизно 30 відсотків. При цьому все таки більша частка зображень – це такі, що практично не відрізняються на рівні візуального сприйняття від оригіналу. Отже використання стискувального відображення (1) дає можливість за рахунок вибору значення k_c суттєво зменшити візуальну надмірність зображення при збереженні необхідної якості візуально сприйного зображення.

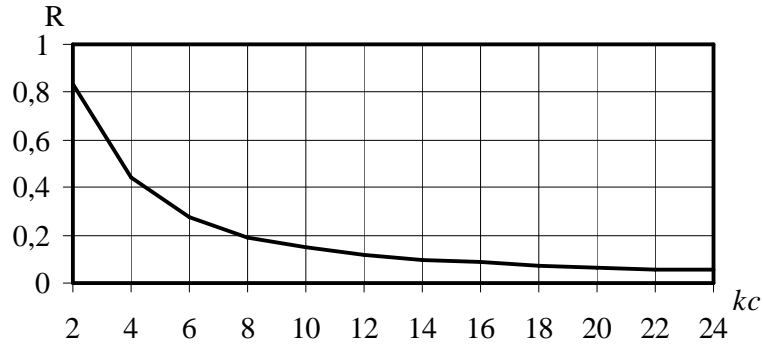


Рисунок 2 – Колірна надмірність в залежності від k_c

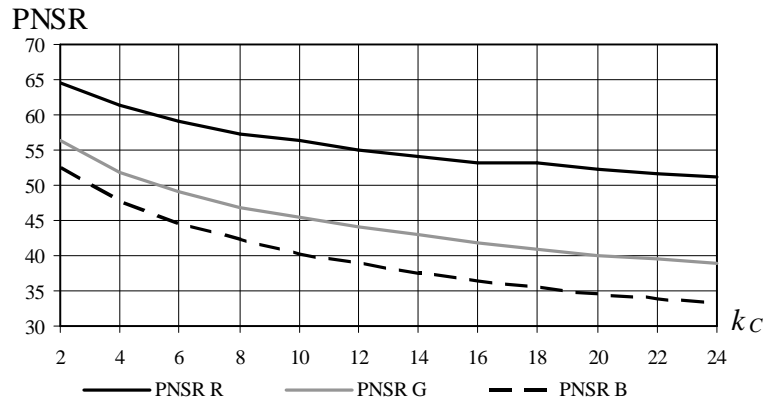


Рисунок 3 – Значення PNSR для різних k_c

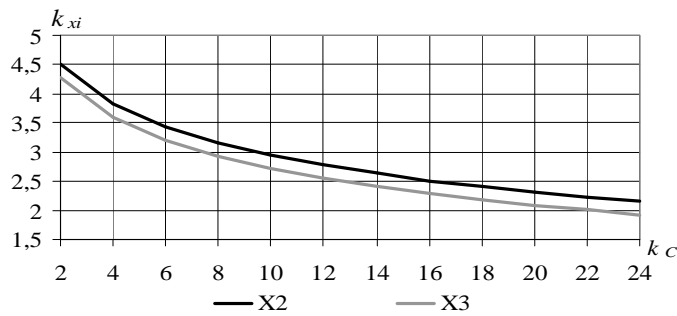


Рисунок 4 – Середні значення довжини рівномірного коду

Як слідує з аналізу стискувального перетворення (рис. 1), динамічні діапазони хроматичних компонент такі, що для кодування їх значень є можливість використовувати рівномірні коди довжиною менше одного байту. Для хроматичної компоненти, палітра якої має N_{xi} різних кольорів довжина адаптивного рівномірного коду $k_{xi} = \lceil \ln(N_{xi}) \rceil$ ($\lceil \cdot \rceil$ – найближче ціле зверху). На рис. 4 наведені середні по ста тестових зображення значення довжини рівномірного коду для різних коефіцієнтів стискувального відображення.

Наприклад, при $k_c = 8$ максимальна довжина рівномірного коду складає 5 впр, а мінімальна 2 впр. Як і слід було б очікувати, зі збільшенням k_c середні значення довжини рівномірного коду для хроматичних компонент зменшуються та для $k_c = 24$ становить близько 2 впр.

Як видно з наведеного рисунку, у середньому довжина рівномірного коду компоненти X3 менша ніж у X2.

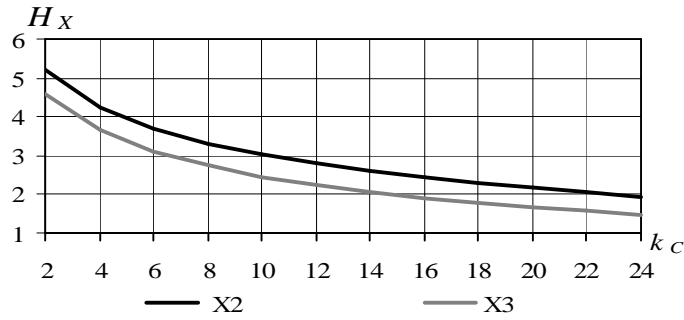


Рисунок 6 – Ентропія хроматичних компонент для різних значень k_c .

Ще одним важливим показником, за яким можна оцінити вплив стискувального перетворення на ефективність кодування зображень нерівномірними кодами, є ентропія. На рис. 5, для порівняння наведені значення ентропії H_{X3} хроматичної компоненти X3 для $k_c = 4$ та $k_c = 16$ для всієї множини тестових зображень.

Як слідує з наведених результатів, при збільшенні коефіцієнта стискувального перетворення у чотири рази H_{X3} зменшується приблизно вдвічі. Для того щоб встановити, як змінюється ентропія

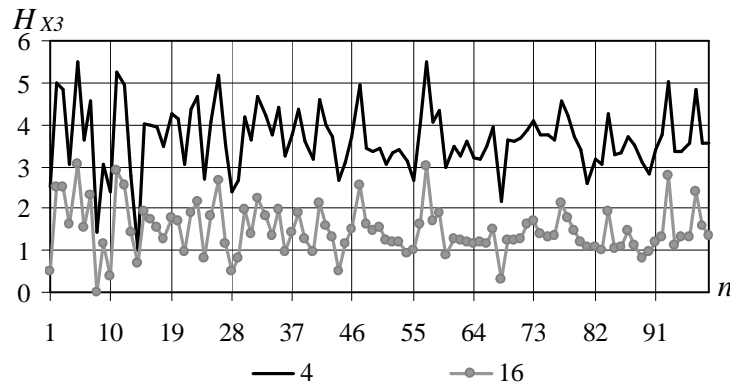


Рисунок 5 – Ентропія хроматичної компоненти X3

хроматичних компонент в залежності від коефіцієнта стискувального перетворення були розраховані середні значення ентропії по всім тестовим зображенням для різних значень k_c . Результати цих розрахунків наведені на рис. 6.

Як і у випадку рівномірних кодів, у середньому ентропія хроматичної компоненти X3 менше ніж ентропія X2.

Таке зменшення ентропії хроматичних компонент свідчить про те, що зі збільшенням k_c зменшується статистична надмірність зображення. При $k_c = 24$ у середньому $\bar{H}_{X2} = 1,95$ бпр та $\bar{H}_{X3} = 1,48$ бпр, тобто використання стискувального перетворення забезпечує зменшення статистичної надмірності зображення, у порівнянні з випадком коли $k_c = 2$, приблизно у 2,5 рази, що має наслідком збільшення ефективності ентропійного стиснення для $k_c > 2$.

Порівняємо надмірності рівномірного кодування однобайтними кодами та кодами довжини k_{X_i} при різних значеннях k_c . Надмірність кодування адаптивними рівномірними кодами обчислюється за формулою

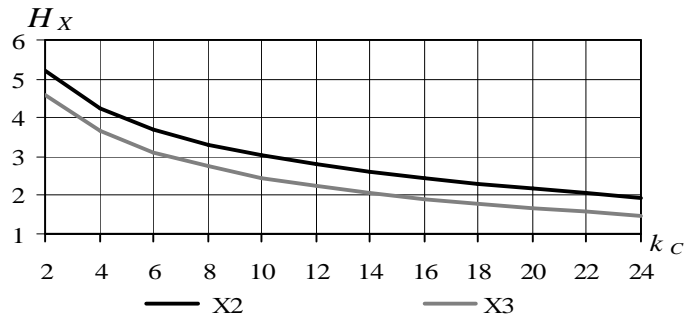


Рисунок 6 – Ентропія хроматичних компонент для різних значень k_c .

$$I_{Xi,k} = 1 - \frac{\bar{H}_{xi}}{k_{Xi}}$$

а рівномірними однобайтними кодами за формулою

$$I_{8,k} = 1 - \frac{\bar{H}_{xi}}{8}$$

Результати розрахунків надмірності кодування хроматичних компонент однобайтними та адаптивними рівномірними кодами наведені на рис. 7. Збільшення надмірності кодування хроматичних компонент адаптивним рівномірним кодом при збільшенні k_c зумовлене тим, що ентропія \bar{H}_{Xi} спадає швидше, ніж довжина адаптивного рівномірного коду.

Тут \bar{H}_{Xi} – значення середньої по всім тестовим зображенням ентропії. На рис. 7 наведено графіки надмірності кодів при різних значеннях k_c . Як видно з наведених результатів, по-перше, надмірність однобайтового коду перевищує надмірність адаптивного, а по-друге, надмірність кодів збільшується зі збільшенням k_c , що є ще одним свідченням зменшення статистичної надмірності зображення. Стосовно адаптивного рівномірного коду збільшення його надмірності зумовлено тим, що ентропія зменшується швидше ніж k_{xi} .

Висновок

За результатами виконаних досліджень властивостей запропонованого стискувального перетворення слід зробити наступні висновки:

- діапазони хроматичних компонент, і відповідно довжина адаптивного коду залежать від контенту зображення та зменшуються при збільшенні k_c ;
- запропоноване стискувальне перетворення може використовуватись для зменшення візуальної та статистичної надмірності зображення, що приведе до підвищення ефективності ентропійного стиснення.

Подальші дослідження повинні бути спрямовані на розробку кодера для кодування статичних зображень з використанням стискувального перетворення $cVX2X3$.

Перелік посилань

1. Adams M. D. The JPEG_2000 still image compression standard. ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 1 N2412. September 2001. [Електронний ресурс] <http://www.ece.uvic.ca/mdadams> and distributed with the JasPer software.
2. Marpe D., George V., Cycon H. L., and Barthel K. U. Performance Evaluation of Motion-JPEG2000 in Comparison with H.264/AVC Operated in Intra Coding Mode // Proc. SPIE, vol. 5266, pp. 129-137, 2004.
3. Graeme Nattress Chroma Sampling: An Investigation, 2008 [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.nattress.com/Chroma_Investigation/chromasampling.htm. – Дата доступу: 30.02.2012
4. Kerr Douglas A. Chrominance Subsampling in Digital Images 2010 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://doug.kerr.home.att.net/pumpkin/Subsampling.pdf>. – Дата доступу: 15.01.2012
5. Лужков Ю. В. Разработка и исследование методов сжатия изображений с потерями на основе адаптивной сегментации и квантования: Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук /

- С.-Петербург, 2009 [Электронный ресурс] <http://aspirant.ifmo.ru/file/other/PriSyF1ar7.pdf> Режим доступа: 17.02.2012
6. Сокол А.В. Оптимизация алгоритма сжатия изображений JPEG-2000 с помощью подбора длины R-D кривых. Электронный журнал «ИССЛЕДОВАНО В РОССИИ» С. 625-634 [Электронный ресурс] <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2005/056.pdf> Режим доступа
 7. Беляев Е.А., Тюрликов А.М. Уханова А.С. Адаптивное арифметическое кодирование в стандарте JPEG 2000 [Электронный ресурс] http://www.eugeniy-belyaev.narod.ru/papers/ebelyaev_ICIS_2007.pdf Режим доступа: 20.02.2012
 8. Беляев Е.А. Управление параметрами алгоритма сжатия видеoinформации при передаче данных в сетях мобильной связи: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук // С.-Петербург, 2008 [Электронный ресурс] http://www.eugeniy-belyaev.narod.ru/Dissertation/ebelyaev_PhD.pdf Режим доступа: 21.02.2012
 9. Умняшкин С.В., Курина В.В. Алгоритм сжатия изображений на основе дискретного псевдокосинусного преобразования [Электронный ресурс] <http://www.miet.ru/upload/content/nauka/PDCT.pdf> Режим доступа: 10.01.2012.
 10. Колмогоров А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа – Москва, Наука, 1976, 544 с.