

АДАПТИВНЕ ПРОРІДЖУВАННЯ АХРОМАТИЧНОЇ КОМПОНЕНТИ У ПРОСТОРІ СВХ2Х3 ДЛЯ СТИСКУ ЗОБРАЖЕНЬ

І. С. Рубльов

Старший викладач

Кафедра технічної кібернетики

Одеський національний морський університет

Мечнікова, 34, м. Одеса, Україна, 65029

E-mail: rublev_IS@mail.ru

У роботі запропоновано метод адаптивної субдискретизації та виконані дослідження проадаптивних властивостей стискуючого простору СВХ2Х3, а також аналіз ефективності стиснення зображень та опорних кадрів відеопослідовностей. Показано, що при використанні словарного методу стиснення РРМд зображення можливо стиснути в 5 - 36 разів без суттєвих візуально відчутних спотворень

Ключові слова: субдискретизація компоненти яскравості, адаптивна субдискретизація, стиснення зображень, алгоритм РРМд

В работе предложен метод адаптивной субдискретизации и выполнены исследования проадаптивных свойств сжимающего пространства СВХ2Х3, а также анализ эффективности сжатия изображений и опорных кадров видеопоследовательностей. Показано, что при использовании словарного метода сжатия РРМд изображение можно сжать в 5 - 36 раз без ощутимых визуальных искажений

Ключевые слова: субдискретизация яркостной компоненты, адаптивная субдискретизация, сжатие изображений, алгоритм РРМд

1. Вступ

Широке впровадження цифрового телебачення високої чіткості, стрімке збільшення обсягів потокового відео в мережі Інтернет та у мобільних мережах висуває вимоги до збільшення ефективності стиску відеоданих.

Сучасні тенденції підвищення ефективності стиснення статичних зображень та відеопослідовностей полягають у дослідженні адаптивних методів, що субдискретизують окремо текстурні області, контури об'єктів та однорідні регіони [1 – 3]. Це дозволяє помітно збільшити ступінь стиску при збереженні якості візуального сприйняття, але при цьому суттєво збільшується обчислювальна складність. Попереднє оброблення зображення, що забезпечує у подальшому збільшення ступеню стиснення називається проадаптацією стиснення [4].

Загально прийнятним підходом проадаптації стиснення зображення є зменшення просторової надмірності за рахунок прорідження, або субдискретизації хроматичних компонент.

В роботах [5 – 7] було досліджено вплив всіх відомих схем субдискретизації на ступінь стиску хроматичних компонент X2 та X3 і показано, що в залежності від самого зображення, а також значення коефіцієнту стискуючого перетворення k_z компоненти X2 та X3 можливо стиснути словарним методом РРМд в 2 – 76 разів при збереженні прийнятної якості візуального сприйняття. Слід наголосити, що коефіцієнт стиску ахроматичної компоненти B_a методом РРМд не перевищує 4.

Субдискретизація ахроматичної компоненти у існуючих форматах практично ніколи не використовується.

Вважається, що це призводить до неприйняттого погіршення якості візуального сприйняття зображення.

Отже задача дослідження проадаптаційних властивостей субдискретизації ахроматичної компоненти та її впливу на якість візуального сприйняття є актуальною.

Звідси метою роботи є дослідження адаптивної субдискретизації ахроматичної компоненти та її впливу на ступінь стиску і якість візуального сприйняття зображень та опорних кадрів відеопослідовностей.

2. Адаптивна субдискретизація компонент простору СВХ2Х3

В роботах [8, 9] було запропоновано лінійне стискуєче перетворення з простору кольорів RGB в колірні координати СВХ2Х3 за формулою:

$$\begin{aligned} B_a &= \lambda_1 C_1 + \lambda_2 C_2 + \lambda_3 C_3, \\ X2 &= (C_2 - cB_a) / k_z, \\ X3 &= (C_3 - cB_a) / k_z, \end{aligned} \tag{1}$$

де λ_k – власні значення коваріаційної матриці компонент RGB, C_k – RGB – компоненти, впорядковані за спаданням власних значень, а k_z – коефіцієнт стискуючого перетворення.

Зворотнє перетворення має вигляд:

$$\begin{aligned} C_2 &= X2 \cdot k_z + B_a, \\ C_3 &= X3 \cdot k_z + B_a, \\ C_1 &= B_a - k_z \cdot \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \cdot X2 - k_z \cdot \frac{\lambda_3}{\lambda_1} \cdot X3. \end{aligned} \tag{2}$$

Зазначимо, що координати V_a , X2 та X3 практично не корельовані, а компоненти X2 та X3 мають палітри з кількістю градацій менш ніж 256.

Для здійснення адаптивної субдискретизації пропонується, поділивши зображення на суміжні блоки, що не перетинаються, здійснювати попередню оцінку середньо-квадратичної помилки MSE в межах окремих блоків і субдискретизувати лише ті блоки, у яких MSE менше порогового значення MSE_{thr} , залишаючи інші блоки несубдискретизованими.

Нехай зображення поділено на K блоків однакового розміру, тоді MSE для всього зображення можна обчислити за формулою:

$$MSE = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K MSE_k^{block}, \tag{3}$$

де

$$MSE_k^{block} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left((C_{1,i} - C'_{1,i})^2 + (C_{2,i} - C'_{2,i})^2 + (C_{3,i} - C'_{3,i})^2 \right) \tag{4}$$

це середньо-квадратична помилка в межах k-го блоку, який містить m пікселів, а $C_{s,i}$ – RGB компоненти s-го пікселя в k-му блоці для вхідного зображення; $C'_{s,i}$ розраховані по формулі (2) після інтерполяційного відновлення координат V_a , X2 та X3.

Будемо використовувати MSE_k^{block} у якості оцінки помилки інтерполяції в межах блоку, тоді MSE – оцінка помилки інтерполяції всього зображення. Якщо частина доданків MSE_k^{block} у формулі (3), які відповідають субдискретизованим блокам, менше ніж порогове значення MSE_{thr} , а всі інші доданки, які відповідають несубдискретизованим блокам, дорівнюють 0, то MSE для всього зображення буде менш ніж MSE_{thr} .

Оберемо квадратні блоки розміром 4×4 пікселі, виходячи з того, що необхідно врахувати локальні особливості зображення та розмір блока усіх схем субдискретизації складає 4×2.

З урахуванням формули (2) та знехтувавши малими доданками, пропорційними k_z , отримуємо:

$$\begin{aligned} & (C_1 - C'_1)^2 + (C_2 - C'_2)^2 + (C_3 - C'_3)^2 \approx \\ & \approx 3(V_a - V'_a)^2 + k_z^2 \left((X2 - X'_2)^2 + (X3 - X'_3)^2 \right). \end{aligned} \tag{6}$$

Тоді MSE^{block} буде обчислюватись за формулою

$$\begin{aligned} MSE^{block} \approx & \frac{1}{16} \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 3(V_{a,ij} - V'_{a,ij})^2 + \\ & + k_z^2 \left((X2_{ij} - X'_{2,ij})^2 + (X3_{ij} - X'_{3,ij})^2 \right). \end{aligned} \tag{7}$$

Використовуючи формулу (7) можна отримати оцінку MSE^{block} у ході адаптивної субдискретизації не виконуючи зворотного перетворення (2). При цьому, якщо виконується нерівність

$$\frac{1}{16} \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 3(V_{a,ij} - V'_{a,ij})^2 > MSE_{thr},$$

то ахроматична компонента V_a у такому блоці не субдискретизується. При виборі порогового значення для оцінки помилки інтерполяції задається порогове значення PSNR, а MSE_{thr} розраховується за формулою

$$MSE_{thr} = 255^2 \cdot 10^{-\frac{PSNR_{thr}}{10}}.$$

Інформацію про субдискретизацію ахроматичної компоненти в окремих блоках будемо зберігати в бітовому масиві. Більш ефективним представленням такого бітового масиву є квадродререво регіонів, розглянуте в роботі Самета [10], у якому листки – це блоки розміром 2^l розмічені як білі (субдискретизовані) або чорні (несубдискретизовані), а l – це рівень, на якому розташовано блок у квадродреві.

Ефективність застосування квадродререва регіонів залежить від даних бітового масиву. В найгіршому випадку, коли блоки рівня 0 розташовані у шаховому порядку, розмір такого представлення буде дорівнює розміру бітового масиву плюс розмір 2 слів у словнику. В найліпшому випадку єдиного білого листа рівня l_{max} (всі блоки субдискретизовані) розмір представлення квадродререва дорівнює 1 біт плюс розмір одного слова у словнику.

3. Дослідження впливу адаптивної субдискретизації компонент сVX2X3 на ефективність стиску словарним методом PPMd

Для дослідження властивостей адаптивної субдискретизації було розроблено програмне застосування, в якому здійснюється адаптивна субдискретизація лише ахроматичної компоненти V_a , а обидві хроматичні компоненти субдискретизуються неадаптивно. Дослідження здійснювалося для 100 тестових зображень з Берклівської бази.

В табл. 1 наведено мінімальні, середні та максимальні значення коефіцієнта стиснення $R_{cmp}^{B_a}$ V_a - компоненти методом PPMd при значенні порого PSNR_{thr} = 25, обчислені по всім тестовим зображенням.

Таблиця 1

Залежність $R_{cmp}^{B_a}$ від схеми субдискретизації V_a - компоненти

| Вид значення | схеми субдискретизації компоненти V_a | | | | | |
|--------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 4:4:4 | 4:4:0 | 4:2:2 | 4:2:0 | 4:1:1 | 4:1:0 |
| мінімальне | 1,12 | 1,49 | 1,55 | 1,56 | 1,38 | 1,02 |
| середнє | 1,67 | 2,60 | 2,44 | 3,35 | 3,02 | 3,64 |
| максимальне | 3,88 | 5,63 | 5,17 | 9,00 | 8,34 | 13,91 |

В середньому за рахунок адаптивної субдискретизації компоненти V_a - коефіцієнт стиснення збільшується в 1,5 – 1,9 разів порівняно з несубдискретизованою компонентою. Для окремих зображень коефіцієнт стиснення для схеми субдискретизації 4:1:0 менший ніж коефіцієнт стиснення без субдискретизації, що, на наш погляд, пов'язано зі значною несубдискретизованих блоків.

Для інших зображень, які мають значні однорідні області коефіцієнти стиснення V_a - компоненти перевищують коефіцієнт стиснення несубдискретизованої компоненти 1,8 – 4 рази.

В табл. 2 наведені середні, по всім тестовим зображенням значення коефіцієнта стиснення R_{cmpr}^{All} всіх трьох компонент V_a , X_2 і X_3 збережених у файлі, при $PSNR_{thr} = 25$. Здійснення адаптивної субдискретизації V_a -компоненти з подальшим стисненням методом PPMd дозволяє збільшити коефіцієнт стиску порівняно з несубдискретизованим зображенням у просторі sBX_2X_3 у 1,5 – 2,8 разів в залежності від використаних схем субдискретизації.



Рис. 1. Зображення з найменший коефіцієнт стиску: а – області субдискретизації, б – відновлене зображення

Якість візуального сприйняття $PSNR$ лежить в межах 32,7 до 32,4 при цих значеннях k_z .

Таблица 2

Залежність R_{cmpr}^{All} від схем субдискретизації

| V_a - схема | X2X3 -схема | | | | | | | | | |
|------------------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 4:4:0 | | 4:2:2 | | 4:2:0 | | 4:1:1 | | 4:1:0 | |
| | $k_z=2$ | $k_z=8$ | $k_z=2$ | $k_z=8$ | $k_z=2$ | $k_z=8$ | $k_z=2$ | $k_z=8$ | $k_z=2$ | $k_z=8$ |
| 4:4:0 | 4,72 | 6,03 | 4,27 | 5,60 | 5,39 | 6,43 | 5,18 | 6,21 | 6,12 | 6,85 |
| 4:2:2 | 4,54 | 5,74 | 4,12 | 5,34 | 5,16 | 6,10 | 4,96 | 5,89 | 5,82 | 6,47 |
| 4:2:0 | 5,50 | 7,38 | 4,91 | 6,76 | 6,39 | 7,93 | 6,08 | 7,59 | 7,39 | 8,53 |
| 4:1:1 | 5,18 | 6,85 | 4,64 | 6,32 | 5,95 | 7,33 | 5,68 | 7,03 | 6,82 | 7,82 |
| 4:1:0 | 5,78 | 8,12 | 5,10 | 7,36 | 6,74 | 8,77 | 6,38 | 8,33 | 7,89 | 9,48 |

Важливою характеристикою стиску зображень, окрім коефіцієнта стиснення, є якість візуального сприйняття зображення, яке було субдискретизоване.

В табл. 3 наведені мінімальні, середні та максимальні. Повсімтестовим зображенням, значення $PSNR$ відновлених білінійною інтерполяцією після адаптивної субдискретизації V_a – компоненти зображень при $PSNR_{thr} = 25$.

Зображення, наведене на рис. 2, має найбільший коефіцієнт стиснення V_a – компоненти, який дорівнює 9,0 для схеми 4:2:0 і 10,6 для схеми 4:2:0.

Коефіцієнт стиснення файлу зображення для схеми 4:2:0 при застосуванні схеми 4:1:0 для хроматичних компонент має значення приблизно 23,8 – 24,5, при k_z від 2 до 8. Відповідні значення $PSNR$ лежать в межах 32,7 - 32,4.

Таблица 3

Залежність $PSNR$ від схеми субдискретизації компоненти V_a

| V_a -схема | 4:4:0 | | 4:2:2 | | 4:2:0 | | 4:1:1 | | 4:1:0 | |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | $k_z=2$ | $k_z=8$ | $k_z=2$ | $k_z=8$ | $k_z=2$ | $k_z=8$ | $k_z=2$ | $k_z=8$ | $k_z=2$ | $k_z=8$ |
| мінімальне | 25,24 | 25,17 | 25,80 | 25,71 | 25,32 | 25,25 | 26,56 | 26,46 | 26,33 | 26,24 |
| середнє | 32,12 | 31,52 | 32,61 | 31,88 | 31,74 | 31,27 | 32,53 | 31,96 | 31,99 | 31,56 |
| максимальне | 47,45 | 43,72 | 50,05 | 43,00 | 44,17 | 41,21 | 46,90 | 42,25 | 43,36 | 40,80 |

Як видно з наведених у табл. 3 результатів, значення $PSNR$ перевищують $PSNR_{thr}$ для всіх відновлених зображень, а середні значення $PSNR$ приблизно на 5 dB перевищують $PSNR_{thr}$.

На рис. 1, 2 наведені області адаптивної субдискретизації (білим кольором показані субдискретизовані блоки, а чорним – несубдискретизовані), а з права - зображення, отримані після інтерполяційного біліїного відновлення.

Для зображення, наведеного на рис. 1, коефіцієнт стиснення V_a – компоненти має найбільше значення 2,48 для схеми 4:2:0.

Коефіцієнт стиснення файлу зображення для цієї схеми при застосуванні схеми 4:1:0 для хроматичних компонент має значення від 5,4 при $k_z=2$ до 6,1 при $k_z=8$.

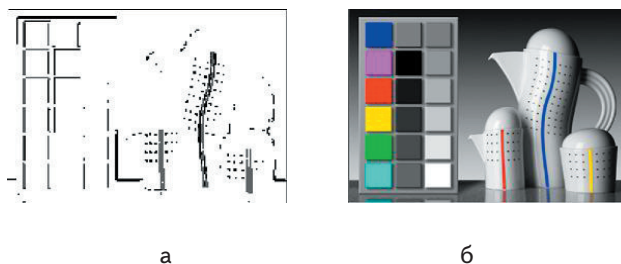


Рис. 2. Зображення, яке має найбільший коефіцієнт стиску: а – області субдискретизації, б – відновлене зображення

Для схеми 4:2:0 коефіцієнт стиснення файлу зображення при застосуванні схеми 4:1:0 для хроматичних компонент має значення приблизно 26,6 - 28,0 при k_z від 2 до 8.

Відповідні значення PSNR лежать в межах 32,2 - 32,1.

4. Висновки

За результатами виконаних досліджень слід зробити наступні висновки:

- застосування адаптивної субдискретизації ахроматичної компоненти збільшує ступінь стиску зображень при використанні методу PPMd без відчутного зменшення якості візуального сприйняття;

- це дозволяє застосувати адаптивну субдискретизацію ахроматичної компоненти на етапах проадаптації в тих форматах зображень, в яких здійснюється субдискретизація.

Література

1. Vargic, R. An Adaptation of shape adaptive wavelet transform for image coding [Електронний ресурс] / R. Vargic, J. Procháska // EURASIP2005, Smolenice, June 29 – July 2, 2005 – Режим доступу: \www/ URL: http://www.ktl.elf.stuba.sk/~vargic/papers/2005_urasip/clanok5v09.pdf.
2. Shao-Ping Lu Saliency-Based Fidelity Adaptation Preprocessing for Video Coding [Електронний ресурс] / Shao-Ping Lu, Song-Hai Zhang // Journal of Computer Science and Technology. – vol. 26 iss. 1. – 2011. – pp. 195-202. – Режим доступу: \www/ URL: <http://cg.cs.tsinghua.edu.cn/papers/shaoping.pdf>.
3. Mavridis, P. The Compact YCoCg Frame Buffer [Електронний ресурс] / P. Mavridis, G. Papaioannou // Journal of Computer Graphics Techniques. – vol. 1, №1. – 2012. – pp. 19-35 – Режим доступу: \www/URL: <http://graphics.cs.williams.edu/jcgt/published/0001/01/02/paper.pdf>.
4. Ульянов, В. Н. Адаптивные алгоритмы кодирования изображений [Електронний ресурс]. – Портал НПФ Микран. – 2001. – Режим доступу: \www/ URL: <http://www.micran.ru/UserFile/File/Publ/2001/algorithm.pdf>.
5. Загребнюк, В. Эффективность сжатия изображений в пространстве cBX2X3. [Текст] / В. І. Загребнюк, І. С. Рубльов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – №5/2(59). – С. 39-41.
6. Загребнюк, В. Формат кодирования цифровых изображений с субдискретизацией хроматических компонент. [Текст] сб. наук. пр. / В. І. Загребнюк, І. С. Рубльов // Вісник Одеського національного морського університету. – 2012. – №(3)36. – С. 126-136.
7. Загребнюк, В. Субдискретизация в пространстве cBX2X3 с переменным коэффициентом сжимающего перетворения [Текст] / В. І. Загребнюк, І. С. Рубльов // Матеріали І міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні системи і технології» Суми, 15-18 травня 2012 року. – 2012. – С. 207-208.
8. Загребнюк, В.І. Сжимающее отображение для кодирования цифровых изображений. [Текст] / В.І. Загребнюк // The 1th International Conference «Advanced Information Systems and Technologies, AIST 2012» 15-18 May 2012, Sumy, Ukraine. – Суми, 2012. – С. 205-206.
9. Загребнюк, В.І. Сжимающее отображение с переменным коэффициентом сжимающего перетворения для кодирования цифровых изображений [Текст] : сб. наук. пр. / Загребнюк В.І. // «Цифрові технології» ОНАЗ ім. О.С. Попова. – Вип. 10. – Одеса, 2011. – С. 122-128.
10. Allender, E. Algorithms and theory of computation [Текст] : довідник / E. Allender, A. Apostolico, R. Baeza-Yates, G.E. Belloch; M.J. Atallah. – NY: CRC Press LLC. – 1999.