УДК 621.396

В.В. Воротніков, к.т.н., доц.
І.В. Гуменюк, інж.
Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова Національного авіаційного університету

АЛГОРИТМ СТИСНЕННЯ ЦИФРОВИХ КАРТ РАСТРОВОЇ МОДЕЛІ З ВИКОРИСТАННЯМ СКАЛЯРНОГО КВАНТУВАННЯ

У роботі проаналізовано алгоритм стиснення цифрових карт растрової моделі. Показано, що скалярне квантування є основним інструментом при стисненні цифрових карт растрової моделі на основі вейвлет-перетворення, або перетворення Фур'є.

Вступ. Цифрові карти растрової моделі, що зберігаються на різних носіях і передаються по каналах зв'язку, як правило, мають значну надмірність. Зберігання і передача такого типу карт, що мають вигляд матриці пікселів, потребує обробки великих об'ємів даних. Проте безпосереднє представлення карти у нестиснутому вигляді є неефективним унаслідок значної корельованості елементів матриці, а варіант незалежного кодування пікселів породжує надмірні коди. На сьогоднішній день існує безліч підходів до стиснення інформації та алгоритмів, які їх реалізують. Тому особливу актуальність серед інших завдань цифрової обробки зображень набуває завдання стиснення й обробки зображень у каналах з обмеженою пропускною здатністю [1].

Методи стиснення зображення зручно розглядати у вигляді загальної схеми, що складається з трьох основних етапів: зменшення міжелементної кореляції даних, квантування елементів даних, статичне кодування [2].

Метою даної статті є аналіз алгоритму скалярного квантування цифрових карт та дослідження основних критеріїв при застосуванні даного методу стиснення зображення.

Викладення основного матеріалу. Розглядаючи задачі стиснення зображень, слід звернути увагу на алгоритми квантування. Під квантуванням розуміють заміну неперервних даних системою індексів. Якщо дані описуються лише своїми значеннями, то використовується скалярне квантування [4].

Задано, що $f = \{f_i\}_{i=0}^{N}$ – масив вхідних даних. Вважатимемо, що $\varphi = \{\varphi_i\}_{i=0}^{N}$ – набір коефіцієнтів початкових даних, розгорнених в одновимірний масив. Враховано той факт, що в розкладанні використовувалися ортогональні або близькі до ортогональних фільтри. У вигляді таких фільтрів можуть використовуватися фільтри на основі вейвлет-перетворення, або перетворення Фур'є.

Для будь-якого масиву $\tilde{\varphi} = \{\tilde{\varphi}_i\}_{i=0}^{N}$ через $\tilde{f} = \{\tilde{f}_i\}_{i=0}^{N}$ позначимо результат застосування оберненого перетворення до $\tilde{\varphi}$.

З ортогональності фільтрів, лінійності процесу фільтрації та рівності Парсеваля маємо:

$$\sum_{i=0}^{N} (f_i - \tilde{f}_i)^2 = \sum_{i-0}^{N} (\varphi_i - \tilde{\varphi}_i)^2. \quad (1)$$

Відомо, що $\mathrm{A}^- = \min_i \varphi_i$, $\mathrm{A}^+ = \max_i \varphi_i$, крім того $\mathrm{B} = \mathrm{B}_{n+m+1}$ розбиття відрізка $[\mathrm{A}^-, \mathrm{A}^+]$ на $n+m+1$ проміжків точками $\mathrm{A}^- = b_{-m-1/2} < ... < b_{-1/2} < 0 < b_{1/2} < ... < b_{n+1/2} = \mathrm{A}^+$.

Для кожного індексу $i = 0, 1, 2,..., N$ знайдеться індекс $k = k(i)$, що знаходиться у межах $[-m..n]$ такий, що відповідає умовам:

$$b_{k-1/2} < \varphi_i \le b_{k+1/2} \text{ при } k = [1, n], \quad 2)$$

або

$$b_{k-1/2} < \varphi_i \le b_{k+1/2} \text{ при } k = [-1, -m], \quad 3)$$

або

$$b_{-1/2} < \varphi_i \le b_{1/2} \text{ при } k = 0, \quad 4)$$

для будь-яких $\{a_i\}_{i=1}^{M}$ задача $\sum_{i=1}^{M} (a_i - c)^2 \to \min$ має єдиний розв'язок:

$$\hat{c} = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M} a_i . \qquad 5)$$

Таким чином, якщо для фіксованого $k = [-m, n]$ всі значення φ_i, що знаходяться в одному з інтервалів (2), (3) або (4), замінені на одне число c_k, то найменша похибка в середньоквадратичній матриці буде при $c_k = b_k$, де $b_k = \frac{s_k}{n_k}$, $k = [-m, n]$, $s_k = \sum_{i:k(i)=k} \varphi_i$, $n_k = \sum_{i:k(i)=k} 1$.

Тому послідовність $g_i = b_{(i)} (i = 0, 1, 2,..., N)$ буде найкращою серед усіх послідовностей, постійних на кожному з проміжків (2), (3) або (4).

Для фіксованих чисел $b_k (k = [-m...n]$ кожної послідовності g_i ставиться у відповідність послідовність $\psi_i = k_i$, яку для зручності замінимо такою послідовністю:

$$\theta_i = \begin{cases} 2k(i) - 1, k(i) > 0, \\ -2k(i), k(i) < 0, \\ 0, k(i) = 0. \end{cases} \qquad (6)$$

Таким чином, при фіксованому векторі B кожне значення φ_i округлено до значення g_i (значення ψ_i або θ_i називатимемо кодом масиву φ, процедуру – квантуванням послідовності φ по вектору B).

З (1) випливає, що похибка *RMSE* (Root Mean Square Error) виникла в результаті квантування $RMSE(B, f) = \left\| f - \tilde{f} \right\|_{l_2}$, де $\tilde{f}$ – результат застосування оберненого ортогонального перетворення до масиву g:

$$RMSE(B, f) = \left\| f - \tilde{f} \right\|_{l_2} = \left\| \varphi - g \right\|_{l_2} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=0}^{N} (\varphi_i - g_i)^2} . \qquad (7)$$

Основною характеристикою якості відновлення є величина:

$$p = PSNR(B, \varphi) = 20 \log_{10} \frac{\max_i |\varphi_i|}{RMSE(B, \varphi)}, \qquad (8)$$

де *PSNR* (Peak Signal-to-Noise Ratio) – відношення сигнал/шум (у dB).

Процес квантування можна переписати в іншій термінології.

Візьмемо $\Phi^{+}_{k+1/2} = \{\varphi_i : \varphi_i \le b_{k+1/2}\}$, $\Phi^{-}_{k+1/2} = \{\varphi_i : \varphi_i \ge b_{k+1/2}\}$. Для $k = [0, n]$ $\Delta\Phi_k = \Phi^{+}_{k+1/2} / \Phi^{+}_{k-1/2}$, а для $k = [-m, -1]$ $\Delta\Phi_k = \Phi^{-}_{k-1/2} / \Phi^{-}_{k+1/2}$, $\Delta\Phi_0 = \Phi^{+}_{1/2} \bigcap \Phi^{-}_{-1/2}$.

Нехай $b_k = \frac{1}{n_k} \sum_{i:\varphi_i \in \Delta\Phi_k} \varphi_i$, тоді *RMSE* можна записати у вигляді:

$$RMSE(B, \varphi) = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{k=-m}^{N} \sum_{i:\varphi_i \in \Delta\Phi_k} (\varphi_i - b_k)^2} . \qquad (9)$$

Умовно процедуру побудови набору векторів B поділяють на дві частини:

- вибір нульового інтервалу $[b_{-1/2}, b_{1/2}]$;
- за обраним нульовим інтервалом квантування побудова решти інтервалів $[b_{k-1/2}, b_{k+1/2}] (|k| > 1)$.

Процедура квантування полягає у такому. Задано число $\delta > 0$, що відповідає умові $b_{1/2} = -b_{-1/2} = \delta$.

Кількість інтервалів квантування *n* і *m*, отримано таким чином: $n = [(A^{+} - b_{1/2}) / \delta]$, $m = [(b_{-1/2} - A^{-}) / \delta]$, де $[\cdot]$ – ціла частина числа. Обчислено межі інтервалів квантування:

$b_{k+1/2} = b_{1/2} + \dfrac{A^+ - b_{1/2}}{n}$, $k = [1, n]$, $b_{k-1/2} = b_{-1/2} + \dfrac{-b_{-1/2} - A^+}{m}$, $k = [-1, -\mathrm{m}]$ і таблицю квантування $b_k = \dfrac{1}{n_k}\sum_{i \in I_k} \varphi_i$, де $I_k = \{i : b_{i-1/2} \le \varphi_i < b_{i+1/2}\}$.

Ця процедура дає набір B і називається рівномірним квантуванням [3]. Міняючи δ, одержуємо набір векторів B квантування, тобто метод квантування.

Аналіз скалярного квантування проведено на прикладі фрагменту цифрової карти (рис. 1).

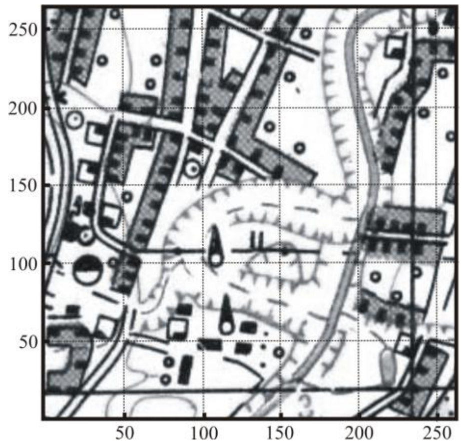
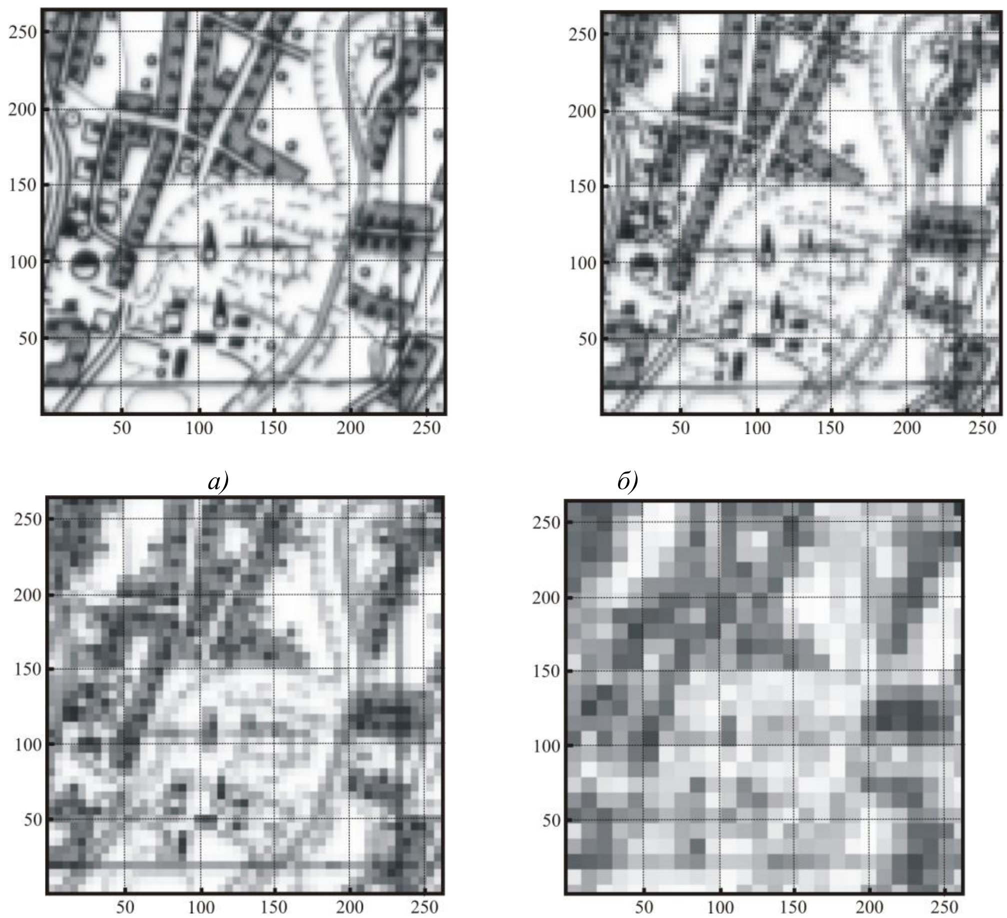


Рис. 1. Вхідне зображення “Map” розмірність 256x256, 196 662 байти

Результат скалярного квантування показано на рисунку 2. Чітко видно, що при збільшенні інтервалу квантування зникає надмірна пікселізація, при цьому якість зображення зменшується.



в) *г)*

Рис. 2. Результат скалярного квантування зображення. Інтервал квантування:
а –2x2; б –3x3; в –5x5; г –10x10

На основі отриманих результатів маємо залежність відповідних критеріїв.

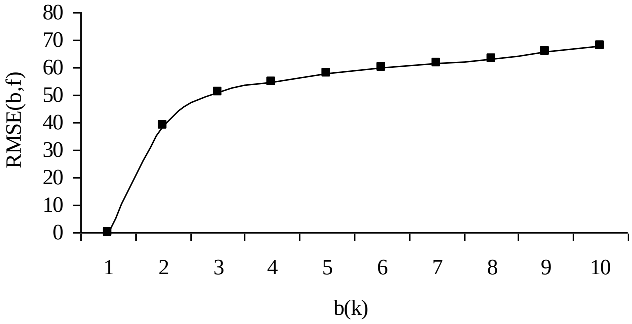


Рис. 3. Залежність середньоквадратичного відхилення
від вибору нульового інтервалу квантування

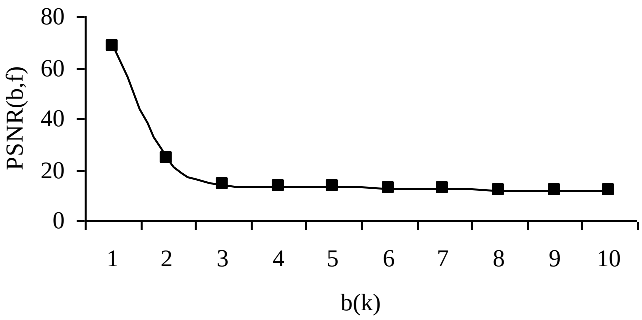


Рис. 4. Залежність пікового відношення сигнал/шум
від вибору нульового інтервалу квантування

Висновки. У статті розглядається стиснення цифрових карт растрової моделі з використанням скалярного квантування, в основі якого лежить вейвлет-перетворення, або перетворення Фур’є, що відповідає умовам ортогональності фільтрації.

Використання алгоритмів стиснення інформації на основі скалярного перетворення дозволяє підвищити в декілька разів швидкість обміну по каналах зв’язку і в стільки ж разів економити об’єм дискового простору, але при цьому необхідно розв’язувати задачу оптимального підбору рівня квантування.

З практичного погляду, стиснення зображення на основі скалярного квантування реалізує візуалізацію цифрових карт з різним розширенням.

Список використаної літератури:

1. *Иванов М.А.* Применение вейвлет-преобразований в кодировании изображений / *М.А. Иванов* // Новые информационные технологии в науке и образовании. – 2004. – № 24. – С. 157–175.
2. *Дяконов В.* Обработка сигналов и зображений : спец. справочник / *В.Дяконов.* – Спб. : Питер, 2002. – С. 608.
3. Цифровая обработка изображений в информационных системах : учебн. пособие / *И.С. Грузман, В.С. Киричук, В.П. Косых и др.* – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2000. – С. 168.
4. *Кобелев В.Ю.* Выбор оптимальних вейвлетов для обработки сигналов и изображений / *В.Ю. Кобелев* // труды II Междунар. конф. – М., 1999. – Т. 2. – С. 514–518.

ВОРОТНІКОВ Володимир Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизованих систем управління центру Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

– моделювання інформаційних систем.

ГУМЕНЮК Ігор Володимирович – інженер кафедри автоматизованих систем управління центру Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

– цифрова обробка зображення;

– моделювання інформаційних систем.

Стаття надійшла до редакції 23.05.2012

Воротніков В.В., Гуменюк І.В. Алгоритм стиснення цифрових карт растрової моделі з використанням скалярного квантування

Воротников В.В., Гуменюк И.В. Алгоритм сжатия цифровых карт растровой модели с использованием скалярного квантования

Vorotnikov W.W., Gumenyuk I.W. Algorithm of compression of digital maps of raster model with the use of scalar quantum

УДК 621.396

Алгоритм сжатия цифровых карт растровой модели с использованием скалярного квантования / В.В. Воротников, И.В. Гуменюк

В работе проведен анализ алгоритма сжатия цифровых карт растровой модели. Показано, что скалярное квантование является основным инструментом при сжатии цифровых карт растровой модели на основе вейвлет-преобразования, или преобразования Фурье.

УДК 621.396

Algorithm of compression of digital maps of raster model with the use of scalar quantum / W.W. Vorotnikov, I.W. Gumenyuk

The analysis of algorithm of compression of digital maps of raster model is in-process conducted. It is shown that a scalar quantum is a basic instrument at the compression of digital maps of raster model on the basis of Wavelet - transformations, or transformations of Fourier.