УДК 621.327(045)

МЕТОД СТИСНЕННЯ НН-КВАДРАТУРИ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕНОГО ЗОБРАЖЕННЯ НА ОСНОВІ ПОЛІАДИЧНОГО КОДУВАННЯ

Бараннік В. В., д-р техн. наук, проф., ***Ширяєв А. В.***, ***Гуржий П. Н.*** канд. техн. наук,

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

kszi@ukr.net

Розроблено метод стиснення НН-квадратури вейвлет-перетвореного зображення на основі поліадичного кодування, який ґрунтується на скороченні динамічного діапазону компонент і службових елементів за рахунок введення дворівневої системи кодування.

Ключові слова: стиснення, вейвлет-перетворення, поліадичне кодування, динамічний діапазон.

Developed method of compression of HH-squaring of wavelet-regenerate image on the basis of poliadical code, which is based on reduction of dynamic range component and official elements due to introduction of the two-tier system of the code.

Keywords: compression, wavelet-transformation, poliadical code, dynamic range.

Вступ

Засоби аерофотознімання, картографії, аеро- і супутникових систем стеження за наземними об'єктами потребують від одержуваних зображень високого ступеня чіткості, що визначає у свою чергу великий обсяг передаваних даних, а отже, підвищені вимоги щодо пропускної спроможності до каналу зв'язку.

Особливістю застосування дискретного вейвлет-перетворення є те, що для достатньо «гладких» даних одержані в результаті перетворення деталі в основному близькі за величиною до нуля і, отже, добре стискаються звичайними статистичними методами. Перевагою вейвлет-перетворення є те, що воно не вносить додаткової надмірності в початкові дані, і сигнал може бути повністю відновлений з використанням тих самих фільтрів [1].

Основна частина

Зображення мають значну надмірність. Коефіцієнт кореляції сусідніх елементів зображення, що описує статистичний зв'язок між яскравостями цих елементів, близький до одиниці. Знаючи яскравість одного елементу, можна з високим ступенем вірогідності передбачити яскравість сусіднього, наприклад, вважаючи їх просто однаковими. Такого роду надмірність можна назвати просторовою надмірністю зображення. Якщо знайти відповідне ортогональне перетворення, то можна перетворити масив відліків зображення в матрицю коефіцієнтів, які вже не будуть корельовані один з одним. До цих некорельованих коефіцієнтів можна застосувати ентропійне кодування і добитися скорочення цифрового потоку. Серед можливих ортогональних перетворень у цій статті розглядається дискретне вейвлет-перетворення (DWT).

У ході DWT формується чотири основних квадратури трансформанти: низькочастотна–низькочастотна (LL), низькочастотна–високочастотна (LH), високочастотна–низькочастотна (HL), високочастотна–високочастотна (HH) [1]. Кожна з цих квадратур має свої характеристики, які необхідно враховувати під час попередньої обробки для підготовки кінцевого набору даних для стиснення [2].

Особливістю НН-квадратури є те, що вона одержана шляхом подвійного проходження через фільтр верхніх частот [1; 2]. Це визначає наявність у ній деталізованих ознак початкового зображення. Значення деталізованих ознак, виходячи з оброблюваного класу зображень, мають щодо низькочастотних і комбінованих квадратур дуже малий динамічний діапазон. Отже, в результаті фільтрації в кінцевій послідовності відліків будуть наявні негативні елементи, які можна врахувати в ході підготовчого процесу до стиснення окремих квадратур трансформанти DWT:

$$y(H)_{i,j} = \sum_{u=0}^{U-1} x_{u,j} g_{2i-u}\,, \tag{1}$$

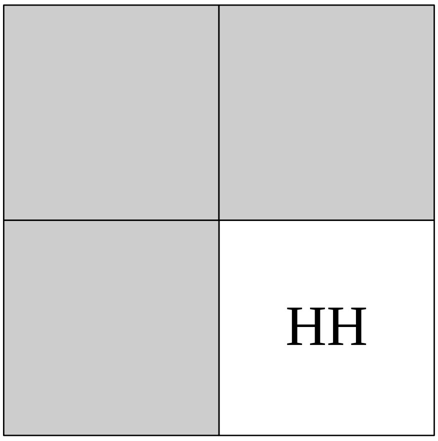
$$y(HH)_{i,j} = \sum_{k=0}^{K-1} y(H)_{k,r}\, g_{2j-k}\,;$$

$$i = 0..\left\lceil \frac{U-1}{2} \right\rceil;\; j = 0..\left\lceil \frac{K-1}{2} \right\rceil, \tag{2}$$

де $x_{u,j}$ — масив даних значень початкового зображення; $y(H)_{i,j}$ — масив даних трансформанти, одержаної при високочастотній фільтрації по одній системі координат; g_{2i-u} — масив значень коефіцієнтів високочастотного фільтра з проріджуванням по одній системі координат;

ISSN 2075-0781. Наукоємні технології, 2011. № 1–2 (9–10)

g_{2i-u} — масив даних трансформанти, одержаної при високочастотній фільтрації по обох системах координат (див. рисунок); g_{2j-k} — масив значень коефіцієнтів високочастотного фільтру з проріджуванням по другій системі координат; U — число елементів у рядку початкового зображення; K — число елементів у стовпці початкового зображення.



Місце НН-квадратури в загальній структурі трансформанти DWT-перетворення

Стиснення окремих квадратур трансформанти DWT-перетворення забезпечується з використанням певного об'єму двійкових розрядів $W_{\text{пё}}$, що витрачаються на представлення службових даних (значень динамічних діапазонів компонент трансформант DWT).

Якщо кількість стовпців у трансформанті $Y(HH)$ дорівнює n (трансформанта будується по стовпцях) і кількості рядків, то в результаті одержуємо двовимірний масив $Y(HH)_\tau$ розміром $(m \times n)$ елементів

$$Y(HH)_\tau = \{y(HH)_{i\,j}^{(\tau)}\},\ i=\overline{1,m};\ j=\overline{1,n};$$

$$Y(HH) = \bigcup_{\tau=1}^{\nu} Y(HH)_\tau,$$

де $y(HH)_{i\,j}^{(\tau)}$ — (i,j)-а компонента τ-го масиву компонент НН-квадратури трансформанти; τ — індекс масиву, що вказує на його положення в трансформанті.

Для початкового масиву $\tau=1$; ν — кількість масивів, на які розбивається трансформанта $Y(HH)$.

Відповідно до особливостей поліадичного кодування [3] трансформант для масиву $Y(HH)_\tau$ формується система підстав $\Psi(HH)_\tau$:

$$\Psi(HH)_\tau = \{\psi(HH)_{i\,j}^{(\tau)}\},\ i=\overline{1,m};\ j=\overline{1,n};$$

$$\psi(HH)_{i\,j}^{(\tau)} > y(HH)_{i\,j}^{(\tau)}, \qquad (3)$$

де $\psi(HH)_{i\,j}^{(\tau)}$ — підстава (i,j)-го елементу τ-го масиву компонент НН-квадратури трансформанти.

Для зменшення об'єму службових даних пропонується формувати систему підстав масиву $(\tau+1)$ з урахуванням системи підстав попереднього τ-го масиву. Для цього всі компоненти масиву $Y(HH)_{\tau+1}$ розділяються на два класи.

Перший клас $Y(HH)_{\tau+1}^{(1)}$ включає компоненти, відповідні системі підстав $\Psi(HH)_\tau$ попереднього масиву. В цьому випадку виконується умова (3)

$$Y(HH)_{\tau+1}^{(1)} = \left\{ y(HH)_{i\,j}^{(\tau+1)} \middle| \; \psi(HH)_{i\,j}^{(\tau)} > y(HH)_{i\,j}^{(\tau+1)} \right\};$$

$$i=\overline{1,m};\quad j=\overline{1,n}, \qquad (4)$$

де $y(HH)_{i\,j}^{(\tau+1)}$ — (i,j)-а компонента $(\tau+1)$-го масиву компонент НН-квадратури трансформанти.

Для компонент, що входять у безліч другого класу навпаки умова (3) не виконується, тобто

$$Y(HH)_{\tau+1}^{(2)} = y(HH)_{i\,j}^{(\tau+1)} \Big\} \Big| \; \Big| \psi(HH)_{i\,j}^{(\tau)} \le y(HH)_{i\,j}^{(\tau+1)} \Big\};$$

$$i=\overline{1,m};\quad j=\overline{1,n}. \qquad (5)$$

Тоді потрібний компонент множини $Y(HH)_{\tau+1}^{(2)}$ буде формувати власну систему підстав, для якої виконуватиметься нерівність

$$\psi(HH)_{i\,j}^{(\tau+1)} > y(HH)_{i\,j}^{(\tau+1)}, \qquad (6)$$

де $\psi(HH)_{i\,j}^{(\tau+1)}$ — підстава (i,j)-го елементу $(\tau+1)$-го масиву компонент НН-квадратури трансформанти.

Для $(\tau+1)$-го масиву система підстав $\Psi(HH)_{\tau+1}$ будується за дворівневим принципом

$$\Psi(HH)_{\tau+1} = \Psi(HH)_{\tau+1}^{(1)} \cup \Psi(HH)_{\tau+1}^{(2)}; \qquad (7)$$

$$\Psi(HH)_{\tau+1}^{(1)} = \left\{ \psi(HH)_{i\,j}^{(\tau)} \right\};$$

$$\Psi(HH)_{\tau+1}^{(2)} = \left\{ \psi(HH)_{i\,j}^{(\tau+1)} \right\},$$

де $\Psi(HH)_{\tau+1}^{(1)}$, $\Psi(HH)_{\tau+1}^{(2)}$ — безліч підстав, відповідних першому і другому класам компонент масиву $Y(HH)_{\tau+1}$.

Отже, для зменшення кількості підстав організується передавання тільки системи підстав $\Psi(HH)_{\tau+1}^{(2)}=\left\{\psi(HH)_{i\,j}^{(\tau+1)}\right\}$, що відрізняється від підстав попереднього масиву.

Причому для послідовності масивів трансформанти може виконуватися умова

$$\psi(HH)_{i\,j}^{(1)} < \psi(HH)_{i\,j}^{(2)} < ... < \psi(HH)_{i\,j}^{(\nu)}.$$

Виходячи з того, що для кожного подальшого масиву формується дворівнева система підстав за принципом [3], заданим виразами (3)—(7), то для компонент другого класу виконуватиметься нерівність

$$\psi(HH)_{i\,j}^{(\tau)} \le y(HH)_{i\,j}^{(\tau+1)} < \psi(HH)_{i\,j}^{(\tau+1)}. \quad (8)$$

Тому для зменшення об'єму W_k пропонується використовувати диференціальне поліадичне уявлення компонент другої множини. Суть такої обробки полягає в уявленні компонент другої множини у вигляді поліадичного числа, відповідного різницевій системі підстав. Накладається обмеження на динамічний діапазон компонент не тільки зверху $\psi(HH)_{i\,j}^{(\tau+1)}$, але й знизу $\psi(HH)_{i\,j}^{(\tau)}$. Це дає змогу переходити до обробки компонент, що мають менші значення. Поліадичне число в різницевій системі задається такими виразами

$$z(HH)_{i\,j}^{(\tau+1)} = y(HH)_{i\,j}^{(\tau+1)} - \psi(HH)_{i\,j}^{(\tau)};$$

$$z(HH)_{i\,j}^{(\tau+1)} < d(HH)_{i\,j}^{(\tau+1)}, \quad (9)$$

де $z(HH)_{i\,j}^{(\tau+1)}$ — (i, j)-й елемент $(\tau+1)$-го диференціального поліадичного числа; $d(HH)_{i\,j}^{(\tau+1)}$ — різницева підстава (i, j)-го елементу $(\tau+1)$-ої другої множини компонент

$$d(HH)_{i\,j}^{(\tau+1)} = \left(\psi(HH)_{i\,j}^{(\tau+1)} - \psi(HH)_{i\,j}^{(\tau)}\right). \quad (10)$$

Відповідно до співвідношень (13) і (14) код-номер $R(HH)_{\tau+1}$ диференціального поліадичного числа обчислюється за формулою

$$R(HH)_{\tau+1} = \sum_{i=1}^{m'} \sum_{j=1}^{n'} z(HH)_{i\,j}^{(\tau+1)} \rho(HH)_{i\,j}^{(\tau+1)}, \quad (11)$$

де $\rho(HH)_{i\,j}^{(\tau+1)}$ — ваговий коефіцієнт (i, j)-го елементу $(\tau+1)$-го диференціального поліадичного числа.

Якщо обхід компонент масиву здійснюється в напрямі стовпців, то значення вагового коефіцієнта знаходиться за формулою

$$\rho(HH)_{i\,j}^{(\tau+1)} =$$

$$= \prod_{\xi=i+1}^{m'} d(HH)_{\xi\,j}^{(\tau+1)} \prod_{\xi=i+1}^{m'} \prod_{u=1}^{n'} d(HH)_{\xi\,u}^{(\tau+1)}. \quad (12)$$

Значення коду-номера для диференціального поліадичного числа зменшується порівняно зі значенням коду-номера абсолютного поліадичного числа.

Обробка першого масиву $Y(HH)_1$ компонент трансформанти, $\tau = 1$ передбачає такі етапи:

1. Формується система підстав $\Psi(HH)_1$. Визначаються значення динамічних діапазонів $\lambda(HH)_i^{(1)}$ в рядках і в стовпцях масиву $Y(HH)_1$, визначається відповідно за формулами:

$$\lambda(HH)_i^{(1)} = \max_{1\le j\le n}\left\{y(HH)_{i\,j}^{(1)}\right\}+1, \; i=\overline{1,m}. \quad (13)$$

$$\chi(HH)_j^{(1)} = \max_{1\le i\le m}\left\{y(HH)_{i\,j}^{(1)}\right\}+1, \; i=\overline{1,n}. \quad (14)$$

Тоді значення підстав $\psi(HH)_{i\,j}^{(1)}$ елементів $y(HH)_{i\,j}^{(1)}$ будуть

$$\psi(HH)_{i\,j}^{(1)} = \min\left(\lambda(HH)_i^{(1)}, \chi(HH)_j^{(1)}\right),$$

$$i=\overline{1,m}; \quad i=\overline{1,n}. \quad (15)$$

Залежно від систем підстав подальших масивів для початкового масиву $Y(HH)_1$ відповідатиме однорівнева система підстав

$$\Psi(HH)_1 = \Psi(HH)_1^{(1)} = \left\{\psi(HH)_{i\,j}^{(1)}\right\},$$

$$i=\overline{1,m}; \quad i=\overline{1,n}.$$

2. Будуються кодограми для першого масиву трансформанти. Кожна кодограма містить інформацію про значення коду-номера $N(HH)^{(\tau,\gamma)}$, що дорівнює для $\tau=1$

$$N(HH)^{(1,\gamma)} = \sum_{\theta=1}^{\Theta_{1,\gamma}} y(HH)_{\theta}^{(1,\gamma)} h(HH)_{\theta}^{(1,\gamma)}, \quad (16)$$

де γ — індекс поліадичного числа; $N(HH)^{(\tau,\gamma)}$ — код-номер γ-го поліадичного числа, побудованого для τ-го масиву компонент трансформанти;

$y(HH)_{\theta}^{(1,\gamma)}$ — θ-е значення γ-го поліадичного числа для першого масиву трансформанти

$$Y(HH)_{1,\gamma} \in Y(HH)_1;$$

$$Y(HH)_{1,\gamma} = \left\{ y(HH)_{\theta}^{(1,\gamma)} \right\}, \quad \theta = \overline{1, \Theta_{1,\gamma}}.$$

Тут $\Theta_{1,\gamma}$ — кількість елементів в γ-м поліадичном числі першого масиву; $h(HH)_{\theta}^{(1,\gamma)}$ — ваговий коефіцієнт елементу $y(HH)_{\theta}^{(1,\gamma)}$.

Побудова поліадичних чисел здійснюється на основі компонент трансформанти $Y(HH)_1$ у напрямі стовпців.

Для того, щоб уникнути переповнювання машинного слова, відбір компонент у поліадичні числа проводиться на основі правила

$$y(HH)_{ij}^{(1)} \in Y(HH)_{1,\gamma},$$

тобто

$$y(HH)_{\theta}^{(1,\gamma)} = y(HH)_{ij}^{(1)},$$

якщо

$$h(HH)_{\theta}^{(1,\gamma)} \leq 2^M - 1; \qquad (17)$$

$$y(HH)_{ij}^{(1)} \notin Y(HH)_{1,\gamma},$$

тобто

$$y(HH)_{\theta}^{(1,\gamma)} \neq y(HH)_{ij}^{(1)},$$

якщо

$$h(HH)_{\theta}^{(1,\gamma)} > 2^M - 1. \qquad (18)$$

Таким чином, наведений метод дає змогу розрахувати значення коду-номера компонент трансформанти при використанні обмеженого динамічного діапазону на основі поліадичного кодування, що сприяє підвищенню ступіня стиснення.

Висновки

1. Розроблео метод стиснення НН-квадратури вейвлет-перетвореного зображення на основі поліадичного кодування, який ґрунтується на скороченні динамічного діапазону компонент і службових елементів за рахунок введення дворівневої системи кодування.

2. Одержаний метод дає змогу в разі обробки високочастотних складових вейвлет-трансформованих зображень забезпечувати:

- для насичених дрібними елементами зображень середньоквадратичне відхилення (СКВ), яке становить 0,00283; коефіцієнт стиснення НН-квадратури трансформанти — 2,3352; число скорочених підстав (1 клас) — 6736 (з 16384); число диференціальних підстав (2-й клас) — 3401;
- для середньонасичених зображень СКВ — 0,00237; коефіцієнт стиснення — 5,818; число скорочених підстав (1 клас) — 11449 (з 16384); число диференціальних підстав (2-й клас) — 1654;
- для слабо насичених зображень СКВ — 0,00003; коефіцієнт стиснення — 6,3602; число скорочених підстав (1 клас) — 12222 (з 16384); число диференціальних підстав (2-й клас) — 1377.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Малла С.* Вейвлеты в обработке сигналов: пер. с англ./ С. Малла // — М. : Мир, 2005. — 671 с.

2. *Ватолин Д.* Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео / Д. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юркин. — М. : ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. — 384 с.

3. *Баранник В. В.* Динамическое кодирование трансформант изображений в двухуровневом полиадическом пространстве / В. В. Баранник, И. В. Хаханова, В. В. Елисеев // Радиоэлектроника и информатика. — Вып. 2. — 2007. — С. 90—96.

Стаття надійшла до редакції 24.05.2011.