УДК 621.327

ДЕКОДУВАННЯ ВЕЙВЛЕТ-ТРАНСФОРМАНТ ЗОБРАЖЕНЬ У ДВОРІВНЕВОМУ ПОЛІАДИЧНОМУ ПРОСТОРІ

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

Національний авіаційний університет

kszi@ukr.net

У даній статті розроблений метод відновлення трансформант дискретних вейвлет-перетворень при контрольованих втратах на основі динамічного декодування дворівневих поліадичних кодів. Даний метод дозволяє одержувати зображення із заданою якістю при мінімально необхідній кількості службових даних та скоротити час обробки за рахунок однопрохідності процесу відновлення і рекурентної схеми його реалізації.

Ключові слова: динамічне стискування, вейвлет-перетворення.

This paper developed a method for recovery of transformants of discrete wavelet transforms with controllable losses based on a dynamic two-level decoding. This method allows obtaining images with a given quality with a minimum amount of overhead and reducing processing time.

Keywords: dynamic compression, wavelet transformations.

Вступ

На етапі декодування вейвлет-трансформант зображень у дворівневому поліадичному просторі особливий інтерес становить механізм який пояснює деталізуючи елементи з позиції декодування речовинної частини, використовуючи новий механізм, який дає виграш по ступеню стиснення і за контрольованих втратах деталізуючих елементів [1–3].

Це є актуальним завданням для систем і засобів аерокосмічного спостереження і зйомки, оскільки існуючі методи стиснення зображень, що дають високі показники, ґрунтуються на звуженні динамічного діапазону високочастотних складових за рахунок відкидання речовинної частини, що вносить високий рівень спотворень деталізуючих елементів зображення при його реконструкції.

У статті розглянуто процес декодування вейвлет-трансформант зображень у дворівневому поліадичному просторі і реконструкція зображень.

Особливості процесу відновлення трансформант

Для отримання початкових даних процес відновлення повинен:

1) ураховувати такі особливості формування кодових кодограм стислого уявлення:

- трансформанта Y dwt-перетворення обробляється окремими частинами, що є масивами Y_τ розмірністю ($128 \times n$) елементів;
- масиви трансформант представляються у вигляді поліадичних чисел. У цьому випадку задовольняються умови

$$y_{ij}^{(\tau)} \le \psi_{ij}^{(\tau)} - 1;\; i = \overline{1,128};\quad j = \overline{1,n}; \qquad (1)$$

$$\psi_{ij}^{(\tau)} = \min\left(\lambda_i^{(\tau)}, \chi_j^{(\tau)}\right);\; i = \overline{1,m};\; j = \overline{1,n}; \quad (2)$$

$$\lambda_i^{(\tau)} = \max_{1 \le j \le n}\left\{y_{ij}^{(\tau)}\right\} + 1;\; \chi_j^{(\tau)} = \max_{1 \le i \le n}\left\{y_{ij}^{(\tau)}\right\} + 1 \quad (3)$$

де $\psi_{ij}^{(\tau)}$ — підстава (i, j)-го елемента τ-го масиву компонент трансформанти; $y_{ij}^{(\tau)}$ (i, j)-й елемент τ-го масива; $\lambda_i^{(\tau)}$, $\chi_j^{(\tau)}$ — обмеження на динамічний діапазон елементів, розміщених в i-му рядку і в j-му стовпці τ-го масиву відповідно;

- система підстав $\psi_\tau = \left\{\psi_{ij}^{(\tau)}\right\}$ поліадичного числа будується на основі динамічного і дворівневого принципів. Динамічний принцип полягає в тому, що при побудові системи підстав τ-го масиву враховується система $\psi_{\tau-1}$ підстав $(\tau - 1)$-го масиву. Дворівність системи підстав полягає в тому, що обчислення кодів-номерів проводиться з урахуванням формування двох типів поліадичних кодів в абсолютному і диференціальному поліадичних просторах;

- перед декодуванням кодів-номерів трансформант необхідно провести декомпресію службової матриці $G_{m,n}^{(\tau)}$

$$G_{m,n}^{(\tau)} = \left\{ g_{ij}^{(\tau)} \right\}; \;\; i = \overline{1, m}; \;\; j = \overline{1, n}.$$

Елементи $g_{ij}^{(\tau)}$ матриці $G_{m,n}^{(\tau)}$ несуть інформацію про приналежність (i, j)-й компоненти трансформанти абсолютному або диференціального поліадичному простору;

2) задовольняти вимогам, що полягають у:

- використанні взаємозворотних перетворень;
- отриманні даних на приймальному боці за рахунок тільки відомої службової інформації;
- виконанні цілочислових обчислювальних операцій.

Побудова методу динамічного відновлення трансформант у дворівневій поліадичній системі

Відповідно до особливостей процесу компресії метод відновлення трансформант *dwt*-перетворень повинен включати такі етапи:

— отримання елементів службової матриці $G_{m,n}^{(\tau)}$. Даний етап необхідний для визначення типу поліадичного числа, до якого належать елементи трансформанти. Відновлення елементів $g_{ij}^{(\tau)}$ здійснюється на основі декодування структурних кодів L за кількістю двійкових перепадів ϑ

$$g_{ij}^{(\tau)} = \varphi_d \left(L, \vartheta \right).$$

— на другому етапі організується формування системи підстав.

Цей процес передбачає такі дії:

а) система

$$\psi_1 \; \left(\psi_1 = \psi_1^{(1)} = \left\{ \psi_{ij}^{(1)} \right\} \right), \; i = \overline{1, m}, \; i = \overline{1, n}$$

підстав першого масиву Y_1 трансформанти перетворення є базовою і служить підґрунтям для відновлення систем ψ_τ підстав подальших масивів Y_1, $\tau = \overline{1, \nu}$, де ν — кількість масивів на які розбивається трансформанта.

Для першого масиву матриця $G_{m,n}^{(\tau)}$ не формується, тобто компоненти $y_{ij}^{(1)}$ належать абсолютному поліадичному простору. Тоді для $(\tau - 1)$ відновлення компонент масиву Y_1 здійснюється на основі таких співвідношень:

○ якщо для поточного θ-го элемента γ-го поліадичного числа виконується нерівність $\psi_\theta^{(1,\gamma)} h_\theta^{(1,\gamma)} \le 2^{\grave{\imath}} - 1$, то компонента $y_{ij}^{(1)}$ належить γ-му поліадичному числу $y_{ij}^{(1)} := y_\theta^{(1,\gamma)}$. У цьому випадку значення компоненти $y_{ij}^{(1)}$ розраховується за формулою

$$y_\theta^{(1,\gamma)} = \left[\frac{N^{(1,\gamma)}}{h_\theta^{(1,\gamma)}} \right] - \left[\frac{N^{(1,\gamma)}}{\psi_\theta^{(1,\gamma)} h_\theta^{(1,\gamma)}} \right] \psi_\theta^{(1,\gamma)}; \qquad (4)$$

○ якщо виконується нерівність $\psi_\theta^{(1,\gamma)} h_\theta^{(1,\gamma)} > 2^{\grave{\imath}} - 1$, то компонента $y_{ij}^{(1)}$ є першим $(\theta - 1)$ елементом чергового $(\gamma + 1)$-го поліадичного числа $y_{ij}^{(1)} := y_1^{(1,\gamma+1)}$. Значення компоненти $y_{ij}^{(1)}$ відновлюється на основі виразу

$$y_1^{(1,\gamma+1)} = N^{(1,\gamma+1)} - \left[\frac{N^{(1,\gamma+1)}}{\psi_1^{(1,\gamma+1)}} \right] \psi_1^{(1,\gamma+1)}, \qquad (5)$$

де γ — індекс поліадичного числа; $N^{(\tau,\gamma)}$ — код-номер γ-го поліадичного числа, побудованого для τ-го масиву компонент трансформанти; $y_\theta^{(1,\gamma)}$ — θ-е значення γ-го поліадичного числа для першого масиву трансформанти, $\theta = \overline{1, \oplus_{1,\gamma}}$; $\oplus_{1,\gamma}$ — кількість елементів в γ-му поліадичному числі першого масиву; $h_\theta^{(1,\gamma)}$ — ваговий коефіцієнт елементф $y_\theta^{(1,\gamma)}$;

б) для подальших масивів Y_τ трансформанти $(\tau \ge 1)$ відновлення системи підстав ψ_τ здійснюється з урахуванням відповідної матриці $G_{m,n}^{(\tau)}$ і системи підстав $\psi_{\tau-1}$ попереднього масиву $Y_{\tau-1}$. Якщо для значення ознаки $g_{ij}^{(\tau)}$ виконується умова

$$g_{ij}^{(\tau)} = 0, \qquad (1)$$

то:

○ компонента $y_{ij}^{(\tau)}$ є елементом абсолютного поліадичного числа $y_{ij}^{(\tau)} \in Y_{\tau\gamma}$;

○ елемент $y_{ij}^{(\tau)}$ належить системі підстав нижнього діапазонного рівня $\psi_{\tau-1}^{(1)}$, сформованої для попереднього $(\tau - 1)$-го масиву $Y_{\tau-1}$:

$$y_{ij}^{(\tau)} < \psi_{ij}^{(\tau-1)}.$$

У цьому випадку відновлення елемента $y_{ij}^{(\tau)}$ проводиться за такою системою виразів:

- якщо виконується нерівність

$$\psi_{\theta}^{(\tau,\gamma)} h_{\theta}^{(\tau,\gamma)} \le 2^{\grave{\imath}} -1,$$

то

$$y_{ij}^{(\tau)} = y_{\theta}^{(\tau,\gamma)} = \left[\frac{N^{(\tau,\gamma)}}{h_{\theta}^{(\tau,\gamma)}}\right] - \left[\frac{N^{(\tau,\gamma)}}{\psi_{\theta}^{(\tau,\gamma)} h_{\theta}^{(\tau,\gamma)}}\right] \psi_{\theta}^{(\tau,\gamma)};$$

- інакше, коли $\psi_{\theta}^{(1,\gamma)} h_{\theta}^{(1,\gamma)} > 2^{\grave{\imath}} -1$, тоді

$$y_{ij}^{(\tau)} = y_{1}^{(\tau,\gamma)} = N^{(\tau,\gamma+1)} - \left[\frac{N^{(\tau,\gamma+1)}}{\psi_{\theta}^{(\tau,\gamma+1)} h_{\theta}^{(\tau,\gamma+1)}}\right] \psi_{\theta}^{(\tau,\gamma+1)}.$$

У разі, коли умова (1) не виконується, тобто

$$g_{ij}^{(\tau)} = 1,$$

то:

— компонента $y_{ij}^{(\tau)}$ є елементом диференціального поліадичного числа $y_{ij}^{(\tau)} \in Z_{\tau\gamma}$;

— елемент $y_{ij}^{(\tau)}$ належить системі підстав верхнього діапазонного рівня $\psi_{\tau}^{(2)}$, одержуваної для поточного τ-го масиву Y_{τ}:

$$\psi_{ij}^{(\tau-1)} \le y_{ij}^{(\tau)} < \psi_{ij}^{(\tau)}.$$

Особливість процесу відновлення компонент другого класу полягає в тому, що система підстав формується для масиву $Y_{\tau}^{(2)} = \left\{ y_{\xi u}^{(\tau,2)} \right\}$, розмірністю $\nu_g \times n$. Даний масив виходить з масиву Y_{τ} викреслюванням елементів, що мають значення ознаки $g_{ij}^{(\tau)} = 0$. Тому для того, щоб встановити відповідність між підставами $\psi_{ij}^{(\tau)}$ і елементом $y_{ij}^{(\tau)}$, необхідно позиціонувати масив $Y_{\tau}^{(2)}$ на основі елементів матриці $G_{m,n}^{(\tau)}$, значення яких дорівнюють одиниці.

Заповнення масиву $Y_{\tau}^{(2)}$ відбувається по рядках зліва направо (взаємнооднозначно з формуванням масиву $Y_{\tau}^{(2)}$ на передавальному боці).

Причому якщо $u < n$, то $y_{\xi,u+1}^{(\tau,2)} = y_{ij}^{(\tau)}$, а якщо $u = n$, то $y_{\xi+1,u}^{(\tau,2)} = y_{ij}^{(\tau)}$.

Для розміченого масиву $Y_{\tau}^{(2)}$ відновлення елемента $y_{ij}^{(\tau)}$ здійснюється за такою схемою:

— якщо виконується нерівність

$$d_{\theta}^{(\tau,\gamma)} \rho_{\theta}^{(\tau,\gamma)} \le 2^{\grave{\imath}} -1,$$

то

$$z_{ij}^{(\tau)} = z_{\theta}^{(\tau,\gamma)} = \left[\frac{R^{(\tau,\gamma)}}{\rho_{\theta}^{(\tau,\gamma)}}\right] - \left[\frac{R^{(\tau,\gamma)}}{d_{\theta}^{(\tau,\gamma)} \tau_{\theta}^{(\tau,\gamma)}}\right] d_{\theta}^{(\tau,\gamma)};$$

— інакше, коли $d_{\theta}^{(1,\gamma)} \rho_{\theta}^{(1,\gamma)} > 2^{\grave{\imath}} -1$, тоді

$$z_{ij}^{(\tau)} = z_{1}^{(\tau,\gamma)} = R^{(\tau,\gamma+1)} - \left[\frac{R^{(\tau,\gamma+1)}}{d_{\theta}^{(\tau,\gamma+1)} \tau_{\theta}^{(\tau,\gamma+1)}}\right] d_{\theta}^{(\tau,\gamma+1)},$$

де $R^{(\tau,\gamma)}$ — код-номер γ-го поліадичного числа побудованого τ-го масиву компонент трансформанти в диференціальному просторі; $z_{\theta}^{(\tau,\gamma)}$ — θ-е значення γ-го диференціального поліадичного числа для τ-го масиву трансформанти; $\rho_{\theta}^{(\tau,\gamma)}$ — ваговий коефіцієнт елементу $z_{\theta}^{(\tau,\gamma)}$; $d_{\theta}^{(\tau,\gamma+1)}$ — підстава елементу $z_{\theta}^{(\tau,\gamma)}$.

Оскільки величина $z_{ij}^{(\tau)}$ є елементом диференціального поліадичного числа, то початкова компонента розраховується за формулою

$$y_{ij}^{(\tau)} = z_{ij}^{(\tau)} + \psi_{ij}^{(\tau)}.$$

На завершальному етапі потрібно розставити одержані компоненти $y_{ij}^{(\tau)}$ на початкові місця в масиві Y_{τ}.

Для цього використовуються матриці $G_{m,n}^{(\tau)}$ і $Y_{\tau}^{(2)}$.

Відновлені трансформанти вейвлет-перетворення піддаються інтерполяції і фільтрації зворотними вейвлет-фільтрами для реконструкції зображення.

Відомо, що будь-яке ВП можна описати через набір низько- і високочастотних фільтрів з коефіцієнтами $\bar{h}$ і $\bar{g}$ відповідно.

Для аналізу дискретних сигналів дані коефіцієнти зручно записувати в матриці перетворення таким чином:

$$\mathrm{H_n} = \begin{vmatrix} \mathrm{h_0} & \mathrm{h_1} & \mathrm{h_2} & \mathrm{h_3} & \ldots & \mathrm{h_{n-2}} & \mathrm{h_{n-1}} & \mathrm{h_n} \\ \mathrm{h_{n-1}} & \mathrm{h_n} & \mathrm{h_0} & \mathrm{h_1} & \ldots & \mathrm{h_{n-4}} & \mathrm{h_{n-3}} & \mathrm{h_{n-2}} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ \mathrm{h_2} & \mathrm{h_3} & \mathrm{h_4} & \mathrm{h_5} & \ldots & \mathrm{h_n} & \mathrm{h_0} & \mathrm{h_1} \end{vmatrix}$$

$$\mathrm{G_n} = \begin{vmatrix} \mathrm{g_0} & \mathrm{g_1} & \mathrm{g_2} & \mathrm{g_3} & \cdots & \mathrm{g_{n-2}} & \mathrm{g_{n-1}} & \mathrm{g_n} \\ \mathrm{g_{n-1}} & \mathrm{g_n} & \mathrm{g_0} & \mathrm{g_1} & \cdots & \mathrm{g_{n-4}} & \mathrm{g_{n-3}} & \mathrm{g_{n-2}} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ \mathrm{g_2} & \mathrm{g_3} & \mathrm{g_4} & \mathrm{g_5} & \cdots & \mathrm{g_n} & \mathrm{g_0} & \mathrm{g_1} \end{vmatrix}$$

Коефіцієнти $\bar{h}$ і $\bar{g}$ можна розглядати як базисні вектори, які для конкретного виду ВП набувають ненульових значень тільки на відрізку в N відліків, причому N, як правило, набагато менше довжини n аналізованих елементів зображення $x(n)$. У наведених позначеннях один крок ВП можна записати у вигляді $C_{n/2} = H_n X$ і $D_{n/2} = G_n X$, де $C_{n/2}$ — вектор низькочастотних коефіцієнтів (зменшена копія сигналу в два рази); $D_{n/2}$ — вектор високочастотних коефіцієнтів (деталі вектора).

Матриці синтезу $\tilde{H}_n$ і $\tilde{G}_n$ можна знайти за умови повного відновлення

$$\left|\tilde{H}_n\right|\tilde{G}_n\Big| = \left|\frac{H_n}{G_n}\right|^{-1},$$

і алгоритм відновлення вектора X набирає вигляду:

$$\tilde{\mathrm{X}} = \tilde{H}_n C_{n/2} + \tilde{G}_n D_{n/2}.$$

Якщо вейвлет-коефіцієнти $C_{n/2}$ і $D_{n/2}$ відомі точно, то оцінка $\tilde{\mathrm{X}}$ і вектор X збігатимуться. Інакше виникає помилка відновлення ζ, яку потрібно мінімізувати. На практиці завдання мінімізації помилки ζ вирішують шляхом підбору коефіцієнтів $\bar{h}$ і $\bar{g}$.

Вектори $\bar{\mathrm{h}}$ і $\bar{\mathrm{g}}$ зворотного перетворення матимуть обмежену довжину, що не набагато перевищує довжини початкових векторів $\bar{\mathrm{h}}$ і $\bar{\mathrm{g}}$.

З наведених у даній статті теоретичних і практичних результатів відновлення видно, що облік шуму спостереження або шуму квантування в коефіцієнтах розкладання дає змогу помітно полипшити якість відновлення відповідно до середньоквадратичного критерію.

Причому сформульований підхід до синтезу не обмежується поданими в статті алгоритмами, а охоплює досить широкий клас можливих їх реалізацій.

Крім того, при певних апроксимаціях або умовах, що накладаються на базисні вектори синтезу, можна одержувати швидкі алгоритми обчислення оцінок сигналу.

Таким чином побудований метод декодування вейвлет-трансформант, що забезпечує контрольований рівень спотворень деталізуючих елементів зображення при реконструкції зображення.

Висновки

1. Розроблено метод відновлення трансформант дискретних вейвлет-перетворень при контрольованих втратах на основі динамічного декодування дворівневих поліадичних кодів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що вперше враховуються:

— форма представлення трансформант *dwt*-перетворень у вигляді дворівневих поліадичних чисел;

— побудова системи підстав за динамічним принципом на базі підстав попереднього масиву трансформанти.

2. Практична значущість полягає в тому, що розроблений метод відновлення дає змогу:

— одержати зображення із заданою якістю за мінімально необхідної кількості службових даних;

— скоротити час обробки за рахунок однопрохідності процесу відновлення і рекурентної схеми його реалізації.

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 [и др.]. — 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 01.07.2011.