УДК 004.932

А.В. Ширяев

СОВМЕСТНОЕ ДЕКОДИРОВАНИЕ LH И HL-КВАДРАТУР ВЕЙВЛЕТ-ТРАНСФОРМАНТ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ДВУХУРОВНЕВОМ ПОЛИАДИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Актуальним завданням для систем і засобів аерокосмічного спостереження й зйомки є розробка й застосування методів стиску зображень для використання їх у низькошвидкісних каналах зв'язку. У статті розглядається метод стиску на основі квадратурного стиску трансформанти вейвлет-перетворення, що забезпечує контрольований рівень перекручувань елементів, що деталізують зображення при реконструкції зображення для LH і HL-квадратур вейвлет-трансформант.

Ключові слова: *вейвлет-перетворення, трансформанти, канали зв'язку.*

Актуальной задачей для систем и средств аэрокосмического наблюдения и съемки является разработка и применение методов сжатия изображений для использования их в низкоскоростных каналах связи. В статье рассматривается метод сжатия на основе квадратурного сжатия трансформанты вейвлет-преобразования, обеспечивающий контролируемый уровень искажений, детализирующих элементов изображения при реконструкции изображения для LH и HL-квадратур вейвлет-трансформант.

Ключевые слова: *вейвлет-преобразования, трансформанты, каналы связи.*

An urgent task for systems and aerospace surveillance and photography is the development and application of image compression methods for use in low-speed communication channels. The article deals with the compression method based on quadrature transform compression of wavelet transform, which provides a controlled level of the image distortion in image reconstruction for LH and HL-quadrature wavelet transforms.

Keywords: *wavelet transform, transform, communication channels.*

На этапе реконструкции вейвлет-трансформант [1] изображений в двухуровневом полиадическом пространстве [2] используются особенности квадратурного представления трансформант и методики их кодирования [3]. В данной статье особый акцент делается на то, что восстановление LH и HL-квадратур производится совместно и, с позиции декодирования вещественной части, позволяет ускорить процесс декодирования в двухуровневом полиадическом пространстве.

Особенности процесса совместного восстановления LH и HL-квадратур

Процесс восстановления LH-квадратуры равнозначен процессу восстановления квадратуры HH с учетом замены индексов и взаимосвязи с восстановлением HL-квадратуры.

1. Получение элементов служебной матрицы $D(HL)^{(\tau)}_{m,n}$ для определения типа полиадического числа. Восстановление элементов $d(HL)^{(\tau)}_{ij}$ $d(HL)^{(\tau)}_{ij} = \varphi(HL)_d(L, \vartheta)$. Элементы $d(LH)^{(\tau)}_{ij}$ служебной матрицы $D(LH)^{(\tau)}_{m,n}$ не формируются, так как в составе сформированных оснований HL-квадратуры отсутствуют собственные значения. Присутствуют основания LH-квадратуры или дифференциальные значения оснований LH и HL-квадратур. Нулевые значения $\psi(HL)^{(\tau)}_{ij}$ означают, что элемент принадлежит абсолютному пространству и $\psi(HL)^{(\tau)}_{ij} \le \psi(LH)^{(\tau)}_{ij}$, при этом на этапе сжатия проводилась замена оснований $\psi(HL)^{(\tau)}_{ij} = \psi(LH)^{(\tau)}_{ij}$. Не нулевые значения $\psi(HL)^{(\tau)}_{ij}$ означают, что элемент принадлежит дифференциальному пространству [3] и $\psi(HL)^{(\tau)}_{ij} > \psi(LH)^{(\tau)}_{ij}$, при этом на этапе сжатия проводилась замена оснований $\psi(HL)^{(\tau)}_{ij} = \psi(HL)^{(\tau)}_{ij} - \psi(LH)^{(\tau)}_{ij}$.

2. Формирование систем оснований $\Psi(HL)_\tau$ и $\Psi(LH)_\tau$.

а) система $\Psi(LH)_1$ ($\Psi(LH)_1 = \Psi(LH)^{(1)} = \{\psi(LH)^{(1)}_{ij}\}$, $i=\overline{1,m}$; $j=\overline{1,n}$) оснований первого массива $Y(LH)_1$ трансформанты преобразования является базовой и служит опорной для восстановления систем $\Psi(HL)_\tau$ и $\Psi(LH)_\tau$ оснований последующих массивов $Y(LH)_\tau$, $\tau=\overline{2,\nu}$ и $Y(HL)_\tau$, $\tau=\overline{1,\nu}$, где ν – количество массивов на которые разбиваются трансформанты. Для первого массива матрица $D(LH)^{(\tau)}_{m,n}$ не формируется, т. е. компоненты $y(LH)^{(1)}_{ij}$ принадлежат абсолютному полиадическому пространству. Тогда для $\tau = 1$ восстановление компонент массива $Y(LH)_1$ проводится на основе следующих соотношений:

– если для текущего θ-го элемента γ-го полиадического числа выполняется неравенство $\psi(LH)^{(1,\gamma)}_{\theta}\, \rho(LH)^{(1,\gamma)}_{\theta} < 2^M - 1$, то компонента $y(HL)^{(1)}_{ij}$ принадлежит γ-му полиадическому числу $y(LH)^{(1)}_{ij} = y(LH)^{(1,\gamma)}_{\theta}$. В этом случае значение компоненты $y - \left[\dfrac{R(LH)^{(\tau,\gamma+1)}}{\psi(LH)^{(\tau,\gamma+1)}_{\theta}\ \rho(LH)^{(\tau,\gamma+1)}_{\theta}}\right] \psi(LH)^{(\tau,\gamma+1)(1)}_{\theta\ \ ij}$ получается по формуле

$$y(LH)^{(1,\gamma)}_{\theta} = \left[\frac{N(LH)^{(1,\gamma)}}{\rho(LH)^{(1,\gamma)}_{\theta}}\right] - \left[\frac{N(LH)^{(1,\gamma)}}{\psi(LH)^{(1,\gamma)}_{\theta}\ \rho(LH)^{(1,\gamma)}_{\theta}}\right] \psi(LH)^{(1,\gamma)}_{\theta} \qquad (1);$$

– если выполняется неравенство $\psi(LH)^{(1,\gamma)}_{\theta}\, \rho(LH)^{(1,\gamma)}_{\theta} > 2^M - 1$, то компонента $y^{(1)}_{ij}$ является первым ($\theta = 1$) элементом очередного $(\gamma+1)$-го полиадического числа $y(LH)^{(1)}_{ij} = y(LH)^{(1,\gamma+1)}_{1}$. Значение компоненты $y(HH)^{(1)}_{ij}$ восстанавливается на основе выражения

$$y(LH)_1^{(1,\gamma+1)} = N(LH)^{(1,\gamma+1)} - \left[\frac{N(LH)^{(1,\gamma+1)}}{\psi(LH)_1^{(1,\gamma+1)}}\right]\psi(LH)_1^{(1,\gamma+1)} \qquad (2),$$

где γ – индекс полиадического числа; $N(LH)^{(\tau,\gamma)}$ – код-номер γ-го полиадического числа, построенного для τ-го массива компонент трансформанты; $y(LH)_\theta^{(1,\gamma)}$ – θ-е значение γ-го полиадического числа, для первого массива трансформанты, $\theta = \overline{1, \Theta_{1,\gamma}}$; $\Theta_{1,\gamma}$ – количество элементов в γ-м полиадическом числе первого массива; $\rho(LH)_\theta^{(1,\gamma)}$ – весовой коэффициент элемента $y(LH)_\theta^{(1,\gamma)}$;

б) для последующих массивов $Y(LH)_\tau$ трансформанты ($\tau \geq 2$) восстановление системы оснований $\Psi(LH)_\tau$ осуществляется с учетом соответствующей матрицы $G(LH)_{m\,n}^{(\tau)}$ и системы оснований $\Psi(LH)_{\tau-1}$ предыдущего массива $Y(LH)_{\tau-1}$. Если для значения признака $g(LH)_{ij}^{(\tau)}$ выполняется условие

$$g(LH)_{ij}^{(\tau)} = 0 \qquad (3),$$

то:

– компонента $y(LH)_{ij}^{(\tau)}$ является элементом абсолютного полиадического числа $y(LH)_{ij}^{(\tau)} \in Y(LH)_{\tau,\gamma}$;

– элемент $y(LH)_{ij}^{(\tau)}$ принадлежит системе оснований нижнего диапазонного уровня $\Psi(LH)_{\tau-1}^{(1)}$, сформированной для предыдущего $(\tau-1)$-го массива $Y(LH)_{\tau-1}$, $y(LH)_{ij}^{(\tau)} < \psi(LH)_j^{(\tau-1)}$.

В этом случае восстановление элемента $y_{ij}^{(\tau)}$ проводится по следующей системе выражений:

– если выполняется неравенство $\psi(LH)_\theta^{(\tau,\gamma)}\,\rho(LH)_\theta^{(\tau,\gamma)} \leq 2^M - 1$, то

$$y(LH)_{ij}^{(\tau)} = y(LH)_\theta^{(\tau,\gamma)} = \left[\frac{N(LH)^{(\tau,\gamma)}}{\rho(LH)_\theta^{(\tau,\gamma)}}\right] - \left[\frac{N(LH)^{(\tau,\gamma)}}{\psi(LH)_\theta^{(\tau,\gamma)}\,\rho(LH)_\theta^{(\tau,\gamma)}}\right]\psi(LH)_\theta^{(\tau,\gamma)} \qquad (4);$$

– в противном случае, когда $\psi(LH)_\theta^{(1,\gamma)}\,\rho(LH)_\theta^{(1,\gamma)} > 2^M - 1$, тогда

$$y(LH)_{ij}^{(\tau)} = y(LH)_1^{(\tau,\gamma)} = N(LH)^{(\tau,\gamma+1)} - \left[\frac{N(LH)^{(\tau,\gamma+1)}}{\psi(LH)_\theta^{(\tau,\gamma+1)}\,\rho(LH)_\theta^{(\tau,\gamma+1)}}\right]\psi(LH)_\theta^{(\tau,\gamma+1)} \qquad (5).$$

В случае, когда условие (3) не выполняется, т.е.

$$g(LH)_{ij}^{(\tau)} = 1 \qquad (6),$$

то:

а) компонента $y(LH)_{ij}^{(\tau)}$ является элементом дифференциального полиадического числа $y(LH)_{ij}^{(\tau)} \in Z(LH)_{\tau\gamma}$;

б) элемент $y(LH)_{ij}^{(\tau)}$ принадлежит системе оснований верхнего диапазонного уровня $\Psi(LH)_{\tau}^{(2)}$, получаемой для текущего τ-го массива $Y(LH)_{\tau}$, $\psi(LH)_{j}^{(\tau-1)} < y(LH)_{ij}^{(\tau)} < \psi(LH)_{ij}^{(\tau)}$.

Для HL квадратуры является характерным то, что для первого массива формируются элементы матрицы $D(LH)_{m,n}^{(\tau)}$, т.к. при реконструкции элементов HL-квадратуры учитываются элементы LH-квадратуры и компоненты могут принадлежать дифференциальному и абсолютному пространствам начиная уже с первого массива. В случае, если компоненты принадлежат абсолютному пространству, то справедливо $\psi(HL)_{ij}^{(\tau)} \le \psi(LH)_{ij}^{(\tau)}$ и следовательно действует обратная подстановка $\psi(HL)_{ij}^{(\tau)} = \psi(LH)_{ij}^{(\tau)}$.

Особенность процесса восстановления компонент второго класса заключается в том, что система оснований формируется для массива $Y(LH)_{\tau}^{(2)} = \{ y(LH)_{\xi u}^{(\tau,2)} \}$, размерностью $v_{\varepsilon} \times n$. Данный массив получается из массива $Y(LH)_{\tau}$ вычеркиванием элементов, имеющих значение признака $g(LH)_{ij}^{(\tau)} = 0$. Поэтому для того, чтобы установить соответствие между основаниями $\psi(LH)_{ij}^{(\tau)}$ и элементом $y(LH)_{ij}^{(\tau)}$ необходимо позиционировать массив $Y(LH)_{\tau}^{(2)}$ на основе элементов матрицы $G(LH)_{m,n}^{(\tau)}$, значения которых равны единице. Заполнение массива $Y(LH)_{\tau}^{(2)}$ происходит по строкам слева направо (взаимнооднозначно с формированием массива $Y(LH)_{\tau}^{(2)}$ на передающей стороне). Причем: если $u < n$, то $y(LH)_{\xi,u+1}^{(\tau,2)} = y(LH)_{ij}^{(\tau)}$; если $u = n$, то $y(LH)_{\xi+1,u}^{(\tau,2)} = y(LH)_{ij}^{(\tau)}$.

Для размеченного массива $Y(LH)_{\tau}^{(2)}$ восстановление элемента $y(LH)_{ij}^{(\tau)}$ проводится по следующей схеме

– если выполняется неравенство $\psi(LH)_{\theta}^{(\tau,\gamma)} \rho(LH)_{\theta}^{(\tau,\gamma)} < 2^{M} - 1$, то

$$y(LH)_{ij}^{(\tau)} = y(LH)_{\theta}^{(\tau,\gamma)} = \left[\frac{R(LH)^{(\tau,\gamma)}}{\rho(LH)_{\theta}^{(\tau,\gamma)}} \right] -$$

$$- \left[\frac{R(LH)^{(\tau\gamma)}}{\psi(LH)_{\theta}^{(\tau\gamma)}\ \rho(LH)_{\theta}^{(\tau,\gamma)}} \right] \psi(LH)_{\theta}^{(\tau,\gamma-1)}; \qquad (7)$$

– в противном случае, когда $\psi(LH)_{\theta}^{(1,\gamma)} \rho(LH)_{\theta}^{(1,\gamma)} > 2^{M} - 1$, тогда

$$z(LH)_{ij}^{(\tau)} = z(LH)_{\theta}^{(\tau,\gamma)} = R(LH)^{(\tau,\gamma+1)} -$$

$$- \left[\frac{R(LH)^{(\tau,\gamma+1)}}{\psi(LH)_{\theta}^{(\tau,\gamma+1)} \ \rho(LH)_{\theta}^{(\tau,\gamma+1)}} \right] \psi(LH)_{\theta}^{(\tau,\gamma+1)} \qquad (8),$$

где $R(LH)^{(\tau,\gamma)}$ – код-номер γ-го полиадического числа построенного для τ-го массива компонент трансформанты в дифференциальном пространстве; $z(LH)_{\theta}^{(\tau,\gamma)}$ – θ-е значение γ-го дифференциального полиадического числа для τ-го массива трансформанты; $\rho(LH)_{\theta}^{(\tau,\gamma)}$ – весовой коэффициент элемента $z(LH)_{\theta}^{(\tau,\gamma)}$; $\psi(LH)_{\theta}^{(\tau,\gamma+1)}$ – основание элемента $z_{\theta}^{(\tau,\gamma)}$.

Поскольку величина $z(LH)_{ij}^{(\tau)}$ является элементом дифференциального полиадического числа, то исходная компонента получается по формуле

$$y(LH)_{ij}^{(\tau)} = z(LH)_{ij}^{(\tau)} + \psi(LH)_{ij}^{(\tau)} \qquad (9).$$

На завершающем этапе требуется расставить полученные компоненты $y(LH)_{ij}^{(\tau)}$ на исходные места в массиве $Y(LH)_{\tau}$. Для этого используются матрицы $G(LH)_{m,n}^{(\tau)}$ и $Y(LH)_{\tau}^{(2)}$.

Для восстановления значений HL-квадратуры в абсолютном пространстве справедливо:

– если выполняется неравенство $\psi(LH)_{\theta}^{(\tau,\gamma)} \rho(HL)_{\theta}^{(\tau,\gamma)} < 2^M - 1$, то

$$y(HL)_{ij}^{(\tau)} = y(HL)_{\theta}^{(\tau,\gamma)} = \left[\frac{N(HL)^{(\tau,\gamma)}}{\rho(HL)_{\theta}^{(\tau,\gamma)}} \right] -$$

$$- \left[\frac{N(HL)^{(\tau,\gamma)}}{\psi(LH)_{\theta}^{(\tau,\gamma)} \ \rho(HL)_{\theta}^{(\tau,\gamma)}} \right] \psi(LH)_{\theta}^{(\tau,\gamma)} \qquad (10);$$

– в противном случае, когда $\psi(LH)_{\theta}^{(\tau,\gamma)} \rho(HL)_{\theta}^{(\tau,\gamma)} > 2^M - 1$, тогда

$$y(HL)_{ij}^{(\tau)} = y(HL)_{\theta}^{(\tau,\gamma)} = N(HL)^{(\tau,\gamma+1)}$$

$$- \left[\frac{N(HL)^{(\tau,\gamma+1)}}{\psi(LH)_{\theta}^{(\tau,\gamma+1)} \ \rho(HL)_{\theta}^{(\tau,\gamma+1)}} \right] \psi(LH)_{\theta}^{(\tau,\gamma+1)} \qquad (11).$$

Для восстановления значений HL-квадратуры в дифференциальном пространстве справедливо $\psi(HL)_{ij}^{(\tau)} > \psi(LH)_{ij}^{(\tau)}$ и подразумевает выполнение обратного действия для восстановления основания $\psi(HL)_{ij}^{(\tau)} = \psi(HL)_{ij}^{(\tau)} + \psi(LH)_{ij}^{(\tau)}$;

– если выполняется неравенство $\psi(HL)_{\theta}^{(\tau,\gamma)} \rho(HL)_{\theta}^{(\tau,\gamma)} \leq 2^M - 1$, то

$$y(HL)_{ij}^{(\tau)} = y(HL)_{\theta}^{(\tau,\gamma)} = \left[\frac{R(HL)^{(\tau,\gamma)}}{\rho(HL)_{\theta}^{(\tau,\gamma)}}\right] -$$

$$-\left[\frac{R(HL)^{(\tau,\gamma)}}{\psi(HL)_{\theta}^{(\tau,\gamma)}\ \rho(HL)_{\theta}^{(\tau,\gamma)}}\right]\psi(HL)_{\theta}^{(\tau,\gamma)} \qquad (12);$$

– в противном случае, когда $\psi(HL)_{\theta}^{(1,\gamma)}\ \rho(HL)_{\theta}^{(1,\gamma)} > 2^{M} - 1$, тогда

$$z(HL)_{ij}^{(\tau)} = z(HL)_{\ell}^{(\tau,\gamma)} = R(HL)^{(\tau,\gamma+1)} -$$

$$-\left[\frac{R(HL)^{(\tau,\gamma+1)}}{\psi(HL)_{\theta}^{(\tau,\gamma+1)}\ \rho(HL)_{\theta}^{(\tau,\gamma+1)}}\right]\psi(HL)_{\theta}^{(\tau,\gamma+1)} \qquad (13).$$

1. Разработан метод совместного восстановления LH и HL квадратур трансформант дискретных вейвлет-преобразований на основе динамического декодирования двухуровневых полиадических кодов.

Научная новизна созданных результатов состоит в том, что впервые учитывается:

– форма представления трансформант DWT-преобразований в виде двухуровневых полиадических чисел;

– построение системы оснований по динамическому принципу на базе оснований предыдущего массива трансформанты.

2. Практическая значимость состоит в том, что разработанный метод восстановления позволяет:

– получать изображения с заданным качеством при минимально необходимом количестве служебных данных;

– сократить время обработки за счет однопроходности процесса восстановления и рекуррентной схемы его реализации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

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

2. *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.

3. *Баранник В.В.* Сжатие изображений на основе обработки трансформант дискретных вейвлет-преобразований // В.В. Баранник, А.В. Ширяев, М.В. Думанский / Сучасна спеціальна техніка. – 2010. –№ 3(22). – С. 45–51.

Отримано 25.03.2011