

ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ И РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ

УДК 621.391.25

А.А. Борискевич, Л.А. Руис

**ГИБРИДНЫЙ АЛГОРИТМ СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ БЕЗ ПОТЕРЬ
НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
С АДАПТИВНЫМ ПРЕДСКАЗАНИЕМ**

Предлагается гибридный алгоритм сжатия без потерь, который основывается на использовании нового локального адаптивного дискретного лифтинг вейвлет-преобразования, обеспечивающего высокую точность аппроксимации гладких, контурных и текстурных областей изображений и минимизацию дополнительной информации об адаптации, и древовидно-блочных вейвлет-структур, позволяющих управлять соотношением быстродействие/коэффициент сжатия матрицы вейвлет-коэффициентов. Результаты моделирования предложенного алгоритма для полутоновых изображений показывают, что его эффективность сжатия без потерь превосходит алгоритм JPEG2000 на 6, 10, 8 и 8 % для тестовых изображений France, Mandrill, Barbara и Lena соответственно.

Введение

Постоянно развивающимся направлением является сжатие неподвижных полутоновых изображений. Сжатие позволяет сократить объем информации и повысить скорость ее передачи. Для систем телекоммуникаций прогрессивное сжатие изображений, основанное на алгоритмах иерархической компрессии амплитудной и позиционной информации о коэффициентах преобразования, получило наибольшее распространение. Данный подход осуществляет формирование информации о коэффициентах преобразования в порядке убывания их психовизуальной значимости. Они используются, например, в интернет-браузерах для одновременной загрузки, декодирования и ускоренного воспроизведения изображений с постепенным улучшением разрешения и качества.

К алгоритмам прогрессивного сжатия относятся JPEG 2000, EZW, SPIHT, SPECK и MECT [1–5]. Данные алгоритмы основаны на дискретном вейвлет-преобразовании (ДВП), которое обладает низкой вычислительной сложностью, свойством компактности энергии, возможностью выбора базисных вейвлет-функций с различной пространственно-частотной локализацией и гладкостью [6], и обеспечивают высокие характеристики сжатия. К ограничениям данных алгоритмов вейвлет-сжатия изображений относятся использование двумерной древовидной или блочной вейвлет-структуры [7] и отсутствие гибкости адаптации ДВП к локальным свойствам изображений различных классов (медицинских, спутниковых, электронно-микроскопических и др.) [8].

Целью настоящей статьи является разработка алгоритма сжатия на основе адаптивного дискретного лифтинг вейвлет-преобразования (АДЛВП), обеспечивающего более высокую точность аппроксимации областей изображений с различной детальностью, минимизацию дополнительной информации об адаптации и управление соотношением быстродействие/коэффициент сжатия на основе иерархических древовидно-блочных структур.

1. Дискретное лифтинг вейвлет-преобразование на основе адаптивного предсказания в гладких и контурных областях (АДЛВП_к или ADLWT_с)

Для адаптации к локальным свойствам изображения осуществляется предварительная обработка, определяющая контурные области на основе анализа данных в окне размером 3×3 с помощью оператора Собеля [9].

Алгоритм АДЛВП_к135 [8] основан на первичном вычислении низкочастотных вейвлет-коэффициентов $s(n)$ сигнала $x(n)$ с помощью линейного оператора обновления U с весовыми коэффициентами $(1/2, 1/2)$, определяемыми базисной вейвлет-функцией Нагг с целью оптими-

зации соотношения между быстродействием, компактностью энергии и динамическим диапазоном вейвлет-изображения. Следовательно, данный оператор имеет вид

$$s(n) = U[x_o(n)] = [x_o(n) + x_e(n)]/2, \quad (1)$$

где $x_o(n)$ и $x_e(n)$ – четное и нечетное соседние значения анализируемых отчетов с индексами $n \in [1, N/2]$; $x(n) = (x_o(1), x_e(1), x_o(2), x_e(2), \dots, x_o(n), x_e(n), \dots, x_o(N/2), x_e(N/2))$.

Выбор данного подхода обусловлен тем, что только в этом случае итерации вычисления низкочастотных коэффициентов $s(n)$ линейно зависят от исходных данных на протяжении синтеза всей пирамиды вейвлет-коэффициентов и нелинейность адаптации предсказателя не влияет на $s(n)$.

Адаптация к локальным свойствам изображения позволяет использовать предсказатели $^o P$ низкого порядка O вблизи контурных линий, что повышает точность вычисления высокочастотных вейвлет-коэффициентов $d(n)$ для улучшения аппроксимации контурных линий.

Предсказатели первого, третьего и пятого порядков $O = [1, 3, 5]$ ($2/2$, $2/6$ и $2/10$ биортогональные вейвлет-функции соответственно), используемые для вычисления высокочастотных вейвлет-коэффициентов $d(n)$ в локальной окрестности, размер которой зависит от порядка предсказания O , можно представить в виде

$${}^1P[x_o(n)] = d(n) = x_o(n) - s(n); \quad (2)$$

$${}^3P[x_o(n)] = d(n) = x_o(n) - \left[\frac{s(n-1)}{8} + s(n) + \frac{s(n+1)}{8} \right]; \quad (3)$$

$${}^5P[x_o(n)] = d(n) = x_o(n) - \left[\frac{-3 \cdot s(n-2)}{128} + \frac{22 \cdot s(n-1)}{128} + s(n) - \frac{22 \cdot s(n+1)}{128} + \frac{3 \cdot s(n+2)}{128} \right]. \quad (4)$$

Следует заметить, что для повышения точности вычисления вейвлет-коэффициентов на границах сигнала используется его нечетное симметричное расширение [9].

Для выбора порядка предсказания O используется функция принятия решения $D(\tilde{G}_{\text{cont}}^{x(y)}(m, n))$, характеризующая степень близости каждого нечетного пиксела к контуру в горизонтальном и вертикальном направлениях и определяемая с помощью соотношений

$$D(\tilde{G}_{\text{cont}}^{x(y)}(m, n)) = O = \begin{cases} 1 & \text{при } \tilde{G}_{\text{cont}}^{x(y)}(m, n) \geq 5, \\ 3 & \text{при } 5 > \tilde{G}_{\text{cont}}^{x(y)}(m, n) \geq 3, \\ 5 & \text{при } 3 > \tilde{G}_{\text{cont}}^{x(y)}(m, n) \geq 0; \end{cases} \quad (5)$$

$$\tilde{G}_{\text{cont}}^x(m, n) = \sum_{l=-F/2}^{(F/2)-1} H_x(l) G_{\text{cont}}^x(m, n-l); \quad (6)$$

$$\tilde{G}_{\text{cont}}^y(m, n) = \sum_{k=-F/2}^{(F/2)-1} H_y(k) G_{\text{cont}}^y(m-k, n), \quad (7)$$

где $H_x = (H_x(l) | l = -F/2, (F/2)-1) = (1, 2, 3, 4, 5, 6, 6, 5, 4, 3, 2, 1)$ и

$H_y = (H_y(k) | k = l)$ – ядра с $F = 12$ весовыми коэффициентами для горизонтальной и вертикальной линейных сверток соответственно; l и k – пространственные индексы ядер

$H_x(l)$ и $H_y(k)$ соответственно; $G_{\text{cont}}^{x(y)}(m,n) = \begin{cases} 1 & \text{при } I_{\text{cont}}^{x(y)}(m,n) \geq Th \\ 0 & \text{при } I_{\text{cont}}^{x(y)}(m,n) < Th \end{cases}$ $n \in [1, N]$ – коэффициенты, характеризующие наличие или отсутствие контурной информации в горизонтальном (x) и вертикальном (y) направлениях; $I_{\text{cont}}^{x(y)}(m,n)$ – значение интенсивности пиксела с координатами (m,n) , вычисленного с помощью оператора Собеля в горизонтальном (вертикальном) направлении; $Th = \sqrt{4\mu(I_{\text{cont}}^x{}^2 + I_{\text{cont}}^y{}^2)}$ – пороговое значение для обнаружения пикселей, принадлежащих контурной области с учетом определенного коэффициента коррекции μ .

Для восстановления исходного изображения с помощью обратного АДЛВП_к с тремя (или более) разными порядками (например, $O = [1, 3, 5]$) необходимо дополнительное изображение с информацией о местоположении порядков предсказания, для кодирования которого требуется достаточно большое количество битов. Для увеличения коэффициента сжатия изображений предлагаются новые алгоритмы АДЛВП_{к13} и АДЛВП_{к15}, использующие схему с двумя порядками предсказания ($O = [1, 3]$ или $O = [1, 5]$). Они увеличивают концентрацию энергии вейвлет-коэффициентов за счет достижения оптимального соотношения между пространственным и частотным разрешениями и уменьшают количество битовых плоскостей дополнительного изображения посредством его бинаризации. В этом случае функции принятия решения $D(\tilde{G}_{\text{cont}}^{x(y)}(m,n))$ определяются с помощью соотношений

$$D_{13}(\tilde{G}_{\text{cont}}^{x(y)}(m,n)) = O = \begin{cases} 1 & \text{при } \tilde{G}_{\text{cont}}^{x(y)}(m,n) \geq 5, \\ 3 & \text{при } 5 > \tilde{G}_{\text{cont}}^{x(y)}(m,n) \geq 0; \end{cases} \quad (8)$$

$$D_{15}(\tilde{G}_{\text{cont}}^{x(y)}(m,n)) = O = \begin{cases} 1 & \text{при } \tilde{G}_{\text{cont}}^{x(y)}(m,n) \geq 3, \\ 5 & \text{при } 3 > \tilde{G}_{\text{cont}}^{x(y)}(m,n) \geq 0. \end{cases} \quad (9)$$

Для эффективного сжатия дополнительного бинарного изображения (ДБИ), несущего информацию об использовании порядков предсказания, предлагается применять стандарт JBIG (Joint Bi-level Experts Group) [10].

Для возможности управления соотношением быстродействие/коэффициент сжатия, а также для уменьшения количества значимых битов в сжатом битовом потоке предлагается древовидно-блочный алгоритм сжатия (ДБАС) матрицы вейвлет-коэффициентов (МВК), основанный на компактном представлении блочно-древовидных структур [7].

ДБАС оптимально сочетает в себе алгоритмы SPIHT и SPECK для эффективного сжатия информации о вейвлет-коэффициентах, расположенных на низкочастотных верхних и высокочастотных нижних уровнях разложения соответственно. SPECK оперирует множествами в виде квадратных блоков, состоящих из соседних вейвлет-коэффициентов внутри одного частотного поддиапазона, что позволяет быстро идентифицировать области концентрации энергии в пространственно-частотных вейвлет-областях преобразованного изображения для ограничения числа битов, требуемых для прогрессивного и компактного представления информации о субполосных вейвлет-коэффициентах. Поскольку SPECK учитывает многоуровневую кластеризацию вейвлет-коэффициентов вокруг значимых вейвлет-коэффициентов, он позволяет уменьшить корреляцию между вейвлет-коэффициентами кластерного дерева (рис. 1). В связи с этим использование алгоритма SPIHT может быть ограничено и дополнено применением алгоритма SPECK на нижних уровнях декомпозиции для уменьшения глубины нуль-деревьев с целью повышения вероятности их появления.

Из рис. 2 видно, что блок вейвлет-коэффициентов $S_j^k = \{H_j, V_j, D_j\}$ размером $2^k \times 2^k$ j -го уровня разложения состоит из горизонтального H_j , вертикального V_j и диагонального D_j частотных поддиапазонов при $k = \log_2(N/2^j) - 1$. Максимально возможное количество уровней разложения $J_{\max} = \lceil \log_2(N) \rceil$ зависит от размера изображения $N \times N$ при условии, что $N = 2^r$, r – целое положительное число. Размеры низкочастотного поддиапазона LL_{J+1} зависят от выбранного уровня вейвлет-разложения $J \leq J_{\max}$, удовлетворяющего требуемому соотношению между быстродействием и коэффициентом сжатия.

Древовидно-блочное разбиение МВК при $L > 1$ обеспечивает полную масштабируемость по качеству Q и частичную масштабируемость по разрешению R . Степень масштабируемости по разрешению зависит от количества уровней разложения, обрабатываемых SPECK. Конечным результатом ДБАС является битовый поток, частично масштабируемый по разрешению R и полностью масштабируемый по качеству Q (рис. 4).

Таким образом, предложенный гибридный алгоритм сжатия полутоновых изображений основан на использовании АДЛВП_к с двумя порядками предсказания, стандарта JBIG для сжатия ДБИ и ДБАС для сжатия МВК (рис. 3).

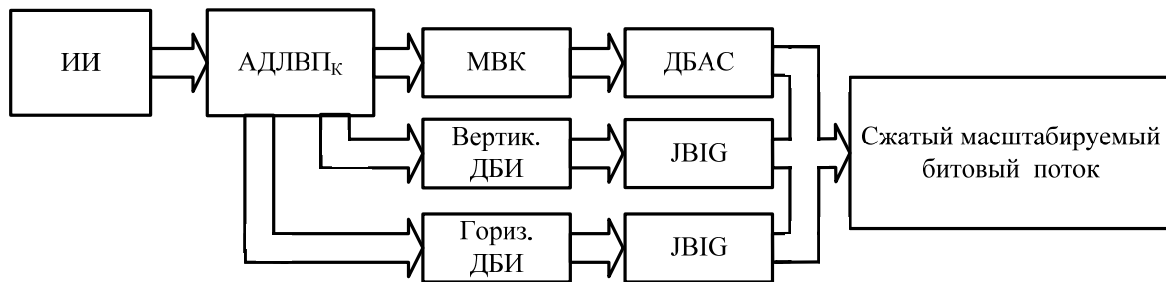


Рис. 3. Блок-схема кодера гибридного алгоритма сжатия полутоновых изображений

Структура сжатого битового потока (рис. 4), формируемая предложенным алгоритмом, состоит из четырех частей: Q и R (масштабируемых частей битового потока, обусловленных использованием алгоритма ДБАС), BI_v и BI_h (вертикальной и горизонтальной частей битового потока, обусловленных использованием стандарта JBIG).

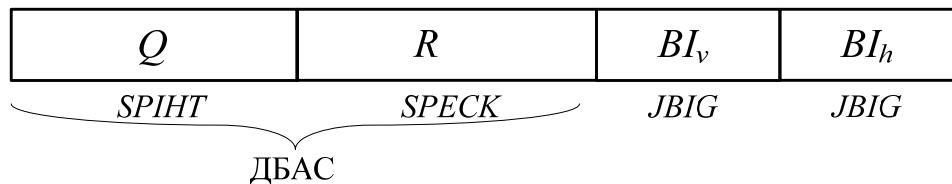


Рис. 4. Структура сжатого масштабируемого битового потока, формируемая гибридным алгоритмом сжатия без потерь полутоновых изображений

2. Результаты моделирования

Для оценки эффективности предложенного алгоритма были использованы тестовые изображения Lena, Barbara, Mandrill и France размером 512×512 (рис. 5), вейвлет-функции

Naar, 5/3, 7/5, Бинарная и 9/7 без адаптации и вейвлет-функции АДЛВПГ [11] (алгоритма вычисления адаптивного обобщенного лифтинг-вейвлет-преобразования без дополнительной информации) [11]. Проведено сравнение алгоритмов кодирования на основе блочно-древовидных структур, SPIHT и SPECK. Для вычислений были использованы программное обеспечение MATLAB и компьютер с двухъядерным процессором 2,4 ГГц и оперативной памятью 3 Гб.

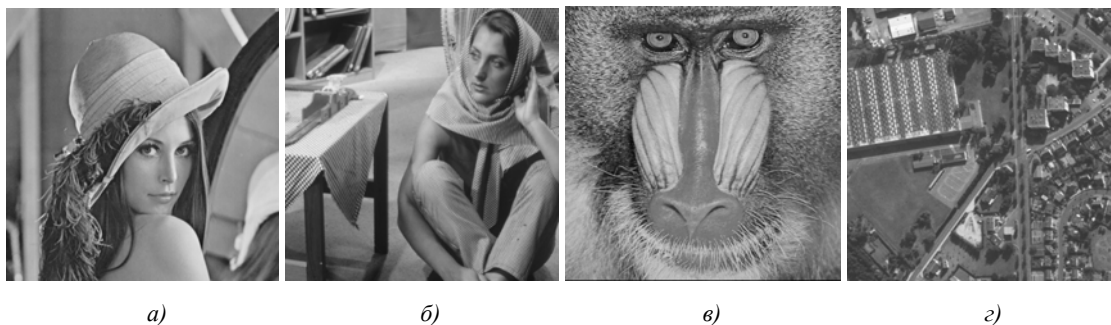


Рис. 5. Тестовые изображения размером 512x512: а) Lena; б) Barbara; в) Mandrill; г) France

Сравнительный анализ эффективности предложенного алгоритма по критерию компактности энергии вейвлет-функций представлен в табл. 1.

Таблица 1

Количество нулевых вейвлет-коэффициентов для вейвлет-функций с адаптацией и без адаптации

Изображение	Уровень разложения	Вейвлет-функции						
		Naar	5/3	7/5	9/7	АДЛВП _к 135	АДЛВП _к 13	АДЛВП _к 15
France	1	12806	17213	17621	40328	70352	47105	71026
	2	15727	19849	19732	44379	85631	57054	86506
	3	16282	20294	19931	44777	88465	58985	89368
Mandrill	1	6589	8626	8941	20071	36281	26232	36338
	2	8289	10163	10165	22322	45814	33282	45967
	3	8747	10477	10361	22653	48339	35072	48529
Barbara	1	15734	21324	21603	50862	84897	56410	85326
	2	20042	25763	24992	58165	106413	70866	107250
	3	21077	26665	25510	59087	111457	73823	112452
Lena	1	21482	26617	26892	58842	98456	76302	98970
	2	27382	32126	31169	67833	126434	95954	127273
	3	28676	33325	31859	69057	132623	100139	133619

Из табл. 1 видно, что эффективность использования вейвлет-функций алгоритма АДЛВП_к15 по критерию компактности энергии (количество нулевых вейвлет-коэффициентов) превосходит вейвлет-функции Naar, 5/3, 7/5 и 9/7 без адаптации приблизительно в 5, 4, 4 и 2 раза соответственно для всех уровней вейвлет-разложения. Определено, что количество нулевых вейвлет-коэффициентов увеличивается до третьего уровня разложения для всех вейвлет-функций и остается постоянным при более высоких уровнях декомпозиции.

Результаты оценки влияния количества уровней разложения, обрабатываемых алгоритмом SPECK в древовидно-блочном алгоритме сжатия, на выбор оптимального соотношения между скоростью и эффективностью сжатия приведены в табл. 2.

Таблица 2

Оценка влияния размера L области $C_{\text{СПЕСК}}$ на характеристики сжатия ДБАС

Изображение	Алгоритм сжатия	АДЛВП _к 15		
		Кс	Степень сжатия, %	Время сжатия, с
France	ДБАС-1	1,9372	51,62	1,51321
	ДБАС-2	1,9450	51,41	1,56001
	ДБАС-3	1,9483	51,33	1,74721
Mandrill	ДБАС-1	1,5972	62,61	1,57561
	ДБАС-2	1,6079	62,19	1,60681
	ДБАС-3	1,6109	62,08	1,79401
Barbara	ДБАС-1	2,0516	48,74	1,52881
	ДБАС-2	2,0668	48,38	1,54561
	ДБАС-3	2,0683	48,35	1,57441
Lena	ДБАС-1	2,3203	43,10	1,47561
	ДБАС-2	2,3285	42,95	1,49761
	ДБАС-3	2,3309	42,90	1,52881

Из табл. 2 видно, что эффективность использования вейвлет-функций алгоритмов АДЛВП_к15 и ДБАС-3 (три уровня СПЕСК) по коэффициенту сжатия (Кс) и степени сжатия (отношению объема сжатой МВК к объему исходной) более чем на 0,3 % превосходит ДБАС-1 и менее чем на 0,08 % ДБАС-2 для максимального количества уровней вейвлет-разложения $J_{\text{max}} = 9$ тестовых изображений. Отметим, что при увеличении количества уровней разложения для обработки СПЕСК незначительно увеличивается коэффициент сжатия МВК. Эффективность ДБАС-1 по критерию быстродействия превосходит ДБАС-3 приблизительно на 200 мс и больше, а ДБАС-2 – на 190 мс и меньше для максимального количества уровней вейвлет-разложения $J = 9$ тестовых изображений. Отметим, что при увеличении L значительно уменьшается быстродействие ДБАС.

Результаты моделирования показывают, что наилучшим из алгоритмов ДБАС является ДБАС-2, так как он обеспечивает оптимальный компромисс между быстродействием и коэффициентами сжатия за счет оптимального выбора размера L области $C_{\text{СПЕСК}}$.

Сравнительные оценки коэффициентов сжатия без потерь для различных вейвлет-функций при использовании алгоритмов сжатия SPIHT, СПЕСК и ДБАС-2 приведены в табл. 3, а для вейвлет-функций алгоритмов АДЛВП_к13, АДЛВП_к15 при использовании SPIHT, СПЕСК, ДБАС-2 и JPEG 2000 – в табл. 4.

Таблица 3

Коэффициенты сжатия без потерь для различных вейвлет-функций при использовании SPIHT, СПЕСК и ДБАС-2

Изображение	Алгоритм сжатия	Вейвлет-функции							
		Haar	5/3	9/7	Бинарная	7/5	АДЛВП _к 135	АДЛВП _к 15	АЛВПГ
France	SPIHT	1,405	1,531	1,542	1,016	1,521	1,903	1,917	1,530
	СПЕСК	1,423	1,539	1,544	1,026	1,522	1,935	1,949	1,536
	ДБАС-2	1,421	1,536	1,544	1,025	1,522	1,931	1,945	1,535
Mandrill	SPIHT	1,217	1,281	1,292	1,000	1,287	1,561	1,564	1,266
	СПЕСК	1,247	1,294	1,295	1,000	1,291	1,608	1,612	1,275
	ДБАС-2	1,245	1,292	1,294	1,000	1,291	1,604	1,608	1,274
Barbara	SPIHT	1,444	1,578	1,609	1,049	1,566	1,994	2,007	1,556
	СПЕСК	1,475	1,602	1,622	1,058	1,578	2,054	2,069	1,570
	ДБАС-2	1,474	1,601	1,622	1,057	1,578	2,052	2,067	1,569
Lena	SPIHT	1,621	1,757	1,784	1,120	1,747	2,243	2,260	1,749
	СПЕСК	1,656	1,781	1,790	1,134	1,753	2,313	2,332	1,771
	ДБАС-2	1,655	1,779	1,790	1,133	1,754	2,310	2,328	1,770

Таблица 4

Коэффициенты сжатия полутоновых изображений для предложенного гибридного алгоритма на основе АДЛВП_к13, АДЛВП_к15 и JPEG2000

Изображение	Алгоритм сжатия	Вейвлет-функции		JPEG 2000
		АДЛВП _к 13	АДЛВП _к 15	
France	SPINT	1,5314	1,7621	
	SPECK	1,5505	1,7892	1,5902
	ДБАС-2	1,5479	1,7855	
Mandrill	SPINT	1,3601	1,4680	
	SPECK	1,3960	1,5096	1,3092
	ДБАС-2	1,3940	1,5065	
Barbara	SPINT	1,6327	1,8806	
	SPECK	1,6645	1,9344	1,6713
	ДБАС-2	1,6635	1,9328	
Lena	SPINT	1,8844	2,1013	
	SPECK	1,9157	2,1635	1,8529
	ДБАС-2	1,9145	2,1607	

Из табл. 3 видно, что эффективность вейвлет-функций алгоритма АДЛВП_к15 по критерию коэффициента сжатия превосходит эффективность вейвлет-функций Naar, 5/3, 7/5, бинарную, 9/7 без адаптации и вейвлет-функций алгоритмов АДЛВП_к13, АЛВПГ для максимального количества уровней вейвлет-разложения $J_{max} = 9$ тестовых изображений. Алгоритм ДБАС-2 является более быстрым, чем SPECK, при сохранении коэффициента сжатия. Из результатов моделирования (табл. 4) следует, что эффективность гибридного алгоритма с АДЛВП_к15 превосходит эффективность алгоритма JPEG2000 относительно коэффициента сжатия без потерь на 6, 10, 8 и 8 % для тестовых изображений France, Mandrill, Barbara и Lena соответственно.

Заключение

В статье предложен гибридный алгоритм сжатия без потерь, основанный на новом локальном АДЛВП для повышения точности аппроксимации областей изображений с различной детализацией, на минимизации информации о бинарных изображениях и на иерархических вейвлет-структурах, позволяющий управлять соотношением между быстродействием и коэффициентом сжатия МВК.

Разработанный алгоритм АДЛВП_к15 обеспечивает увеличение концентрации энергии изображения в минимальном количестве вейвлет-коэффициентов в 5, 4, 4 и 2 раза по сравнению со стандартными вейвлет-функциями за счет выбора оптимального соотношения между пространственным и частотным разрешениями и восстановление изображения без потерь.

Установлено, что значимые биты на четвертой и выше битовых плоскостях составляют 11,25 % (SPINT), 11,37 % (SPECK), 11,32 % (ДБАС) от общего количества значимых битов (или 8,44 % (SPINT), 8,51 % (SPECK), 8,47 % (ДБАС) от общего числа всех битов) сжатого битового потока. Число значимых битов в SPINT значительно больше, чем у SPECK и ДБАС, что свидетельствует о более высокой помехоустойчивости последних. Учет соотношения количества значимых битов для различных битовых плоскостей позволит более эффективно осуществить помехоустойчивое кодирование сжатого битового потока по критерию минимизации избыточности, искусственно вносимой в передаваемый поток.

Определено, что эффективность предложенного алгоритма ДБАС-2 с АДЛВП_к15 превосходит алгоритм JPEG2000 в понятии коэффициента сжатия без потерь на 6, 10, 8 и 8 % для тестовых изображений France, Mandrill, Barbara и Lena соответственно.

Список литературы

1. Конопелько, В.К. Многомерные технологии сжатия, защиты и коммутации изображений / В.К. Конопелько, А.А. Борискевич, В.Ю. Цветков. – Минск : Белпринт, 2008. – 162 с.

2. Борискевич, А.А. Метод масштабируемого вложенного кодирования изображений на основе иерархической кластеризации вейвлет-структур / А.А. Борискевич, В.Ю. Цветков // Доклады НАН Беларуси. – 2009. – Т. 53, № 3. – С. 43–53.
3. Shapiro, J.M. Embedded Image Coding Using Zerotrees Of Wavelet Coefficients / J.M. Shapiro // IEEE Transactions on Signal Processing. – 1993. – No. 12 (41). – P. 3445–3462.
4. Said, A. New fast and efficient image codec based on Set Partitioning In Hierarchical Trees / A. Said, W.A. Pearlman // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. – 1996. – № 3 (6). – P. 243–250.
5. Pearlman, W.A. Efficient, low-complexity image coding with a set partitioning embedded block coder / W.A. Pearlman [et al.] // IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology. – 2004. – Vol. 14. – P. 1219–1235.
6. Sweldens, W. The lifting scheme: A new philosophy in biorthogonal wavelet constructions / W. Sweldens // Proc. of SPIE. – 1995. – Vol. 2569. – P. 68–79.
7. Борискевич, А.А. Алгоритм вейвлет-сжатия полутоновых изображений на основе блочных и древовидных структур / А.А. Борискевич, О.В. Курьян // Материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф. «Совр. средства связи». – Минск, 2008. – С. 38.
8. Борискевич, А.А. Дискретное лифтинг вейвлет-преобразование с первичным обновлением и адаптивным предсказанием на основе локального критерия гладкости изображения / А.А. Борискевич, Л.А. Руис // Известия НАН Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. – 2011. – № 4. – С. 102–109.
9. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М. : Техносфера, 2005. – 1072 с.
10. Сэломон, Д. Сжатие данных, изображений и звука / Д. Сэломон. – М. : Техносфера, 2004. – 368 с.
11. Руис, Л.А. Алгоритм вычисления адаптивного обобщенного лифтинг вейвлет-преобразования без дополнительной информации / Л.А. Руис, А.А. Борискевич // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных : материалы Междунар. науч.-техн. семинара. – Минск : БГУИР, 2011. – С. 26–32.

Поступила 14.11.12

*Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники,
Минск, П. Бровки, 6
e-mail: anbor@bsuir.by*

A.A. Boriskevich, L.A. Ruiz

HYBRID NO-LOSS IMAGE COMPRESSION ALGORITHM BASED ON DISCRETE WAVELET TRANSFORMATION WITH ADAPTIVE PREDICTION

A hybrid no-loss compression algorithm is proposed. It is based on a new local adaptive lifting discrete wavelet transformation, which provides higher accurate approximation of smooth, edge and texture image areas and minimization of side information on adaptation, and on a tree-block wavelet structures that control the trade-off between the speed and compression ratios. The simulation results of the proposed algorithm show that its compression efficiency is superior to standard JPEG2000 algorithm for test gray scale images France, Mandrill, Barbara and Lena on 6, 10, 8 and 8 %, respectively.