

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА ОПТИМАЛЬНЫХ ОБРАТИМЫХ СУБИНТЕРВАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЧАСТОТНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ

**А.А. ЧЕРНОМОРЕЦ, И.И. ЧИЖОВ,
И.В. ЛЫСЕНКО, К.А. МАРЕНОВ**

*Белгородский
государственный
университет*

e-mail:chernomorets@bsu.edu.ru

В работе приведены результаты экспериментальных исследований эффективности метода оптимальных обратимых субинтервальных преобразований изображений на основе частотных представлений. Описаны сравнительные исследования предложенного метода и метода субполосных преобразований на основе банка КИХ-фильтров.

Ключевые слова: изображение, частотные представления, субинтервальные преобразования, субполосные матрицы, доли энергии, погрешность восстановления

Введение

В современных информационно-телекоммуникационных системах постоянно возрастает объем информации, передаваемой в естественной, с позиций восприятия человеком, форме (речь, изображения, видео). Это обуславливает важность проблемы совершенствования и разработки новых методов уменьшения объема битовых представлений передаваемой аудио и видео информации.

Большой интерес представляют алгоритмы сжатия, учитывающие свойства отдельных компонент изображения, соответствующих различным частотным интервалам. В настоящее время большое распространение получил подход к решению проблемы сжатия данных на основе так называемого субполосного кодирования [1], когда некоторое исходное изображение Φ заменяется некоторым множеством изображений, которые отражают частотные свойства исходного изображения в некотором частотном интервале. Однако, данная группа методов основана на использовании КИХ-фильтрации в выбранных частотных интервалах, которая не является оптимальной [2] и вызывает, как будет показано далее, значительные погрешности восстановления изображений после их хранения и передачи в сжатом виде.

В данной работе исследуется эффективность вариационного метода построения оптимальных обратимых субинтервальных преобразований изображений на основе частотных представлений, который является основой для создания новых эффективных методов сжатия.

Возможность проведения анализа изображений на основе частотных представлений определяется тем, что в визуальных данных, зачастую, наблюдается периодичность или квазипериодичность отображаемых процессов. На изображении могут присутствовать повторяющиеся объекты, которые задают некоторую периодичность изменения яркости его точек. Анализ изображений на основе частотных представлений подразумевает использование следующих свойств изображений, основанных на том, что изображение можно определить как некоторую двумерную функцию $f(x, y)$ на плоскости. Известно, что любая функция, периодически воспроизводящая свои значения и удовлетворяющая условиям Дирихле, может быть представлена в виде суммы синусоид или косинусоид, имеющих различную частоту колебаний, и некоторые весовые коэффициенты (ряд Фурье). В случае, если функция не является периодической, то она может быть выражена в виде интеграла от произведения синусов или косинусов, и некоторой весовой функции. В этом случае рассматривается преобразование Фурье [3] и справедливо следующее представление:

$$f(x, y) = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty-\infty}^{\infty} \int_{-\infty-\infty}^{\infty} F(u, v) e^{jux} e^{jvy} dx dy ,$$

(1)

где j – мнимая единица. Таким образом, функция $f(x,y)$, описывающая некоторое изображение, определяется через множество базисных функций, являющихся функциями синус и косинус различных аргументов (на основании формулы Эйлера). Каждая синусоидальная базисная функция характеризуется своей частотой, что позволяет говорить о частотных представлениях функций, задающих различные изображения. Функцию $F(u,v)$ принято называть трансформантой Фурье (основная частотная характеристика), а её аргументы – круговой частотой, отражающей периодичность (цикличность) изменений исходной функции $f(x,y)$ с изменением аргументов x и y . Поскольку трансформанта Фурье является периодической функцией, то обычно ее значения рассматриваются в области нормированных частот u, v : $-\pi \leq u, v \leq \pi$.

Метод оптимальных обратимых субинтервальных преобразований

Теоретические основы метода построения оптимальных обратимых субинтервальных преобразований изображений заключаются в следующем [2].

В процессе анализа на основе субинтервальных преобразований изображения Φ , представленного в виде матрицы яркости $\Phi=(f_{ik}), i=1,2,\dots,M, k=1,2,\dots,N$, данная матрица яркости исходного изображения заменяется матрицей субинтервального преобразования $W=\{W_{1,r_1r_2}, r_1=1,2,\dots,R_a, r_2=1,2,\dots,R_b\}$, которая имеет структуру, приведенную на рисунке 1.

	1	2	...	R_b	v
1	$W_{1,11}$	$W_{1,12}$...	$W_{1,1R_b}$	
2	$W_{1,21}$	$W_{1,22}$...	$W_{1,2R_b}$	
...	
R_a	W_{1,R_a1}	W_{1,R_a2}	...	W_{1,R_aR_b}	
			...		
u					

Рис. 1. Структура матрицы субинтервального преобразования

Подматрицы субинтервального преобразования $W_{1,r_1r_2}, r_1=1,2,\dots,R_a, r_2=1,2,\dots,R_b$, отражают частотные свойства исходного изображения в соответствующих частотных субинтервалах $\Omega_{r_1r_2}, r_1=1,2,\dots,R_a, r_2=1,2,\dots,R_b$, которые получены в результате разбиения области нормированных частот u, v на равные элементарные подобласти (R_a и R_b – количество частотных интервалов, на которые разбивается пространство нормированных частот вдоль осей абсцисс и ординат соответственно). Если отдельный частотный субинтервал определяется множеством значений частот $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$. Тогда

$$R_a = \frac{\pi}{\alpha_2 - \alpha_1} \text{ и } R_b = \frac{\pi}{\beta_2 - \beta_1}. \tag{2}$$

В дальнейших преобразованиях в рамках некоторого частотного субинтервала будут использованы так называемые субполосные матрицы $A=(a_{i_1i_2}), i_1, i_2=1,2,\dots,M$, и $B=(b_{k_1k_2}), k_1, k_2=1,2,\dots,N$, значения элементов которых зависят только от размерности изображения и значений частот $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$ на границах субинтервала и определяются выражениями

$$a_{i_1i_2} = \begin{cases} \frac{\sin(\alpha_2(i_1 - i_2)) - \sin(\alpha_1(i_1 - i_2))}{\pi(i_1 - i_2)}, & i_1 \neq i_2, \\ \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{\pi}, & i_1 = i_2, \end{cases} \tag{3}$$

$$b_{k_1 k_2} = \begin{cases} \frac{\sin(\beta_2(k_1 - k_2)) - \sin(\beta_1(k_1 - k_2))}{\pi(k_1 - k_2)}, & k_1 \neq k_2, \\ \frac{\beta_2 - \beta_1}{\pi}, & k_1 = k_2. \end{cases}$$

Для определения значений элементов подматриц субинтервальных преобразований и сглаженных субинтервальных преобразований изображения Φ в некотором частотном субинтервале Ω используются выражения, являющиеся следствием метода оптимальной фильтрации изображений на основе частотных представлений [2]

$$W_{1\Omega} = Q_{1A}^T \Phi Q_{1B} \quad \text{и} \quad \bar{W}_{1\Omega} = \sqrt{L_{1A}} Q_{1A}^T \Phi Q_{1B} \sqrt{L_{1B}}, \quad (4)$$

где матрицы Q_{1A} и Q_{1B} , L_{1A} и L_{1B} являются подматрицами матриц Q_A , Q_B , L_A , L_B собственных векторов и собственных чисел субполосных матриц A и B соответственно (способ построения подматриц Q_{1A} и Q_{1B} , L_{1A} и L_{1B} будет указан ниже):

матрицы L_A и L_B – квадратные матрицы, на главной диагонали которых расположены значения собственных чисел субполосных матриц A и B

$$L_A = \text{diag}(\lambda_{A1}, \lambda_{A2}, \dots, \lambda_{AM}), \quad L_B = \text{diag}(\lambda_{B1}, \lambda_{B2}, \dots, \lambda_{BM}),$$

считается, что значения собственных чисел упорядочены по убыванию, т.е.

$$\lambda_{A1} \geq \lambda_{A2} \geq \dots \geq \lambda_{AM}, \quad \lambda_{B1} \geq \lambda_{B2} \geq \dots \geq \lambda_{BM},$$

столбцы матриц Q_A и Q_B составлены из значений соответствующих собственных векторов субполосных матриц A и B

$$Q_A = (\bar{q}_{A1}, \bar{q}_{A2}, \dots, \bar{q}_{AM}), \quad Q_B = (\bar{q}_{B1}, \bar{q}_{B2}, \dots, \bar{q}_{BN}),$$

Учитывая матрицы Q_A и Q_B , L_A и L_B , субполосные симметрические матрицы A и B можно представить в виде

$$A = Q_A L_A Q_A^T, \quad B = Q_B L_B Q_B^T. \quad (5)$$

На основании вышеприведенных обозначений матрицы Q_{1A} и Q_{1B} , L_{1A} и L_{1B} , применяемые в субинтервальных преобразованиях, имеют следующий вид

$$Q_{1A} = (\bar{q}_{A1}, \bar{q}_{A2}, \dots, \bar{q}_{AJ_a}), \quad Q_{1B} = (\bar{q}_{B1}, \bar{q}_{B2}, \dots, \bar{q}_{BJ_b}), \\ L_{1A} = \text{diag}(\lambda_{A1}, \lambda_{A2}, \dots, \lambda_{AJ_a}), \quad L_{1B} = \text{diag}(\lambda_{B1}, \lambda_{B2}, \dots, \lambda_{BJ_b}),$$

где

$$J_a = 2 \left\lceil \frac{M}{2R_a} \right\rceil + 2 \quad \text{и} \quad J_b = 2 \left\lceil \frac{N}{2R_b} \right\rceil + 2. \quad (6)$$

Для восстановления (синтеза) результата анализа изображения на основании субинтервального преобразования и сглаженного субинтервального преобразования, соответствующего выбранному частотному субинтервалу Ω , следует выполнить следующие операции

$$Y_\Omega = Q_{1A} L_{1A} W_{1\Omega} L_{1B} Q_{1B}^T \quad \text{и} \quad \bar{Y}_\Omega = Q_{1A} \sqrt{L_{1A}} \bar{W}_{1\Omega} \sqrt{L_{1B}} Q_{1B}^T. \quad (7)$$

В данной работе в вычислительных экспериментах использованы подматрицы субинтервальных преобразований $W_{1\Omega}$ поскольку сглаженные субинтервальные преобразования обладают аналогичными свойствами.

Результат восстановления (синтез) всего изображения после проведения его анализа на основании субинтервальных преобразований во всех частотных субинтервалах определяется следующим соотношением

$$Y = \sum_{r_1=1}^{R_a} \sum_{r_2=1}^{R_b} P_{Mask}(r_1, r_2) \cdot Y_{r_1 r_2},$$

(8)

где $Y_{r_1 r_2}$ – результат восстановления изображения в частотном субинтервале $\Omega_{r_1 r_2}$,

$P_{Mask}(r_1, r_2)$ – матрица, построенная таким образом, чтобы исключить из дальнейшего исследования доли энергии $P_{r_1 r_2}(\Phi)$ исходного изображения Φ в частотных субинтервалах $\Omega_{r_1 r_2}$, которые не превышают некоторое пороговое значение T_1

$$P_{Mask}(r_1, r_2) = \begin{cases} 1, & P_{r_1 r_2}(\Phi) \geq T_1, \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (9)$$

$r_1=1, 2, \dots, R_a, \quad r_2=1, 2, \dots, R_b.$

Для сокращения объема битовых представлений, необходимых для хранения подматриц W_{ik} субинтервальных преобразований, используется квантование по уровням значений элементов данных матриц.

Планирование вычислительных экспериментов

Главной целью экспериментальных исследований эффективности метода построения оптимальных обратимых субинтервальных преобразований является получение оценки относительной погрешности аппроксимации долей энергии исходного изображения в соответствующем частотном субинтервале $\Omega_{r_1 r_2}$, $r_1=1, 2, \dots, R_a$, $r_2=1, 2, \dots, R_b$,

$$\sigma_{SI, r_1 r_2} = \left| 1 - \frac{P_{r_1 r_2}(\Phi)}{P_{r_1 r_2}(Y)} \right|, \quad (10)$$

где Φ – исходное изображение, Y – результат (соотношение (8)) восстановления (синтез) всего изображения после проведения его анализа на основании субинтервальных преобразований, $P_{r_1 r_2}(\Phi)$, $P_{r_1 r_2}(Y)$ – доли энергий [4] изображений Φ , Y в частотном субинтервале $\Omega_{r_1 r_2}$.

В процессе экспериментов также определялись следующие величины:

– среднеквадратическое отклонение значений долей энергии восстановленного изображения Y относительно долей энергии исходного изображения Φ

$$\sigma_{SI} = \sqrt{\frac{\sum_{r_1=1}^{R_a} \sum_{r_2=1}^{R_b} (P_{r_1 r_2}(\Phi) - P_{r_1 r_2}(Y))^2}{\sum_{r_1=1}^{R_a} \sum_{r_2=1}^{R_b} P_{r_1 r_2}^2(\Phi)}}, \quad (11)$$

– среднеквадратическое отклонение значений яркости (в пикселях изображения) восстановленного изображения $Y=(y_{ik})$, $i=1, 2, \dots, M$, $k=1, 2, \dots, N$, относительно исходного изображения $\Phi=(f_{ik})$, $i=1, 2, \dots, M$, $k=1, 2, \dots, N$ (погрешность восстановления),

$$\delta_{SI} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^N (f_{ik} - y_{ik})^2}{\sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^N f_{ik}^2}}. \quad (12)$$

В рамках настоящего исследования представляет интерес не только определение погрешностей аппроксимации абсолютных значений исходных трансформант Фурье на основе предложенных оптимальных субинтервальных преобразований изображений, но и сопоставление их с аналогичными погрешностями аппроксимации на основе применяемых на практике субполосных преобразований на основе банка КИХ-фильтров [3] (при этом имеется в виду аппроксимация трансформант Фурье исходных данных на основе базиса Фурье).

При субполосном преобразовании (анализ) на основе банка КИХ-фильтров изображение разлагается на несколько составляющих (субдиапазонов), соответствующих полосовой КИХ-фильтрации [3] в ограниченных частотных областях. В дальнейшем полученные субдиапазоны могут быть объединены (синтез), что позволит без искажений восстановить изображение. Поскольку ширина полосы частот субдиапазонов меньше ширины частот исходного изображения, то применение к субдиапазоном

прореживающей выборки (децимации) не приводит к существенной потере информации в процессе анализа изображений. Восстановление исходного изображения осуществляется последовательным выполнением сгущающей выборки (интерполяции), фильтрации и «сложения» отдельных субдиапазонов. Обычно при субполосном преобразовании двумерных изображений используются одномерные полосовые КИХ-фильтры, которые образуют двумерные разделимые фильтры.

На основании результатов субполосных преобразований изображений с использованием КИХ-фильтров, длина импульсной характеристики которых равна L , получены аналогично выражениям (10)-(12) оценки относительной погрешности аппроксимации спектров исходного изображения в соответствующем частотном субинтервале $\Omega_{r_1 r_2}$, $r_1=1,2,\dots,R_a$, $r_2=1,2,\dots,R_b$, среднеквадратического отклонения значений долей энергии восстановленного изображения Z_L относительно долей энергии исходного изображения, среднеквадратического отклонения значений яркости восстановленного изображения относительно исходного изображения (погрешность восстановления).

Экспериментальные исследования осуществлялись на основе вычислений оптимальных обратимых субинтервальных преобразований и субполосных преобразований изображений земной поверхности размерностью 256×256 и 512×512 пикселей, а также модельных изображений.

При реализации субполосных преобразований использованы КИХ-фильтры, длины импульсных характеристик L которых равны 256, 512 и 1024.

Субинтервальные и субполосные преобразования (анализ и синтез) изображений осуществлены при следующих значениях различных параметров:

- количество частотных интервалов, на которые разбивается пространство нормированных частот вдоль осей абсцисс R_a и ординат R_b , выбиралось равным $R_a=R_b=\{2, 4, 8, 16, 32, 64\}$,

- величина порогового значения T_0 , которому соответствует $T_0 \cdot 100\%$ суммарной энергии исследуемого изображения, выбиралась равной $T_0=\{1, 0.999, 0.99, 0.98, 0.97, 0.96, 0.95\}$.

Величина порогового значения T_0 связана с пороговым значением T_1 , (соотношение (9)), на основании которого определяются значения элементов матрицы $P_{Mask}(r_1, r_2)$, $r_1=1,2,\dots,R_a$, $r_2=1,2,\dots,R_b$, следующим соотношением

$$T_0 = \frac{\sum_{r_1=1}^{R_a} \sum_{r_2=1}^{R_b} P_{Mask}(r_1, r_2) \cdot P_{r_1 r_2}(\Phi)}{\sum_{r_1=1}^{R_a} \sum_{r_2=1}^{R_b} P_{r_1 r_2}(\Phi)}.$$

Результаты вычислительных экспериментов

Далее приведены отдельные результаты проведенных экспериментов.

В табл. 1 – 3 даны результаты анализа и синтеза на основе субинтервальных и субполосных преобразований модельного изображения, размерностью 512×512 пикселей, пороговое значение используемой суммарной энергии выбрано равным $T_0=1$.

В таблице 1 представлены значения относительной погрешности вычисления в различных частотных субинтервалах значений долей энергии восстановленных изображений на основании анализируемых преобразований (относительная погрешность аппроксимации значений долей энергии исходного изображения). Значения погрешностей найдены согласно соотношения (10), количество интервалов разбиения выбрано равным $R_a=R_b=4$.

Таблица 1

Относительная погрешность аппроксимации значений долей энергии исходного изображения в различных частотных субинтервалах, $R_a=R_b=4$

№ п/п	Границы частотного субинтервала				Относительная погрешность аппроксимации долей энергии			
	α_1	α_2	β_1	β_2	$\sigma_{SI, r_1 r_2}$	$\sigma_{256, r_1 r_2}$	$\sigma_{512, r_1 r_2}$	$\sigma_{1024, r_1 r_2}$
1	0	0.25π	0	0.25π	0.0011	0.3751	0.0624	0.0020
2	0	0.25π	0.25π	0.5π	0.0535	5.0069	0.7237	0.1124

3	0	0.25π	0.5π	0.75π	0.1983	19.873	2.0451	0.1994
4	0	0.25π	0.75π	π	0.1007	26.867	3.2271	0.0519
5	0.25π	0.5π	0	0.25π	0.1316	12.602	0.1347	0.4133
6	0.25π	0.5π	0.25π	0.5π	0.1772	129.74	0.4039	0.3461
7	0.25π	0.5π	0.5π	0.75π	0.3030	453.32	1.4801	0.5294
8	0.25π	0.5π	0.75π	π	0.2182	605.54	2.4427	0.4426
9	0.5π	0.75π	0	0.25π	0.1888	10.282	0.8630	0.2742
10	0.5π	0.75π	0.25π	0.5π	0.2313	107.44	2.0225	0.1911
11	0.5π	0.75π	0.5π	0.75π	0.3489	375.82	4.3396	0.4178
12	0.5π	0.75π	0.75π	π	0.2696	502.09	6.4121	0.3105
13	0.75π	π	0	0.25π	0.0792	72.442	4.2786	0.1915
14	0.75π	π	0.25π	0.5π	0.1275	704.90	7.5641	0.0989
15	0.75π	π	0.5π	0.75π	0.2610	2452.0	14.1290	0.3514
16	0.75π	π	0.75π	π	0.1710	3273.8	20.0020	0.2319

Приведенные в табл. 1 данные указывают на существенные преимущества в аппроксимации спектра исходного изображения при использовании оптимальных субинтервальных преобразований по сравнению с субполосными преобразованиями изображений на основе КИХ-фильтров.

Дальнейшие вычислительные эксперименты продемонстрировали, что погрешности аппроксимации долей энергии в различных частотных субинтервалах при значениях $R_a=R_b=\{2, 8, 16, 32, 64$ и т.д.} при применении субинтервальных преобразований изображений также существенно меньше аналогичных погрешностей при субполосных преобразованиях.

В табл. 2 представлены значения среднеквадратических отклонений значений долей энергии изображений, восстановленных на основании результатов анализа изображения с помощью исследуемых преобразований, относительно долей энергии исходного изображения. Значения отклонений найдены согласно соотношения (11), пороговое значение выбрано равным $T_0=1$.

Таблица 2

Среднеквадратические отклонения значений долей энергии восстановленных изображений, $T_0=1$

№ п/п	Количество интервалов разбиения $R_a=R_b$	σ_{S1}	σ_{256}	σ_{512}	σ_{1024}
1	2	0.0001	0.3776	0.0601	0.0007
2	4	0.0011	0.3761	0.0625	0.0020
3	8	0.0024	0.1035	0.0758	0.0077
4	16	0.0024	0.1035	0.0758	0.0077
5	32	0.0246	1.6354	0.5181	0.4539
6	64	0.0381	37.9150	1.0368	0.8121

В табл. 3 представлены значения среднеквадратических погрешностей значений яркости (в пикселях изображения) изображений, восстановленных на основании результатов анализа изображения с помощью исследуемых преобразований, относительно исходного изображения (погрешность восстановления). Значения погрешностей найдены согласно соотношения (12), пороговое значение выбрано равным $T_0=1$.

Таблица 3

Среднеквадратические погрешности восстановления изображений по результатам анализа, $T_0=1$

№ п/п	Количество интервалов разбиения $R_a=R_b$	δ_{S1}	δ_{256}	δ_{512}	δ_{1024}
1	2	0.0003	0.1013	0.0226	0.0077
2	4	0.0034	0.1149	0.0312	0.0151
3	8	0.0046	0.1828	0.0615	0.0509
4	16	0.0088	0.3244	0.0783	0.0617
5	32	0.0122	1.1023	0.2059	0.1875
6	64	0.0135	11.2820	0.3046	0.2459

На рис. 2 приведены значения среднеквадратических отклонений значений долей энергии исследуемых восстановленных изображений в зависимости от величины

порогового значения T_0 используемой в преобразованиях суммарной энергии исходного изображения при количестве интервалов разбиения $R_a=R_b=8$.

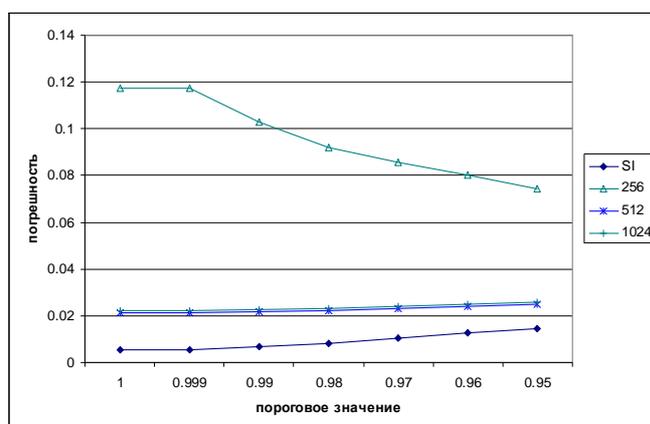


Рис. 2. Среднеквадратические отклонения значений долей энергии восстановленных изображений, $R_a=R_b=8$

На рис. 3 приведены значения среднеквадратических погрешностей восстановления изображений по результатам анализа на основании субинтервальных и субполосных преобразований в зависимости от величины порогового значения T_0 используемой суммарной энергии исходного изображения при количестве интервалов разбиения $R_a=R_b=8$.

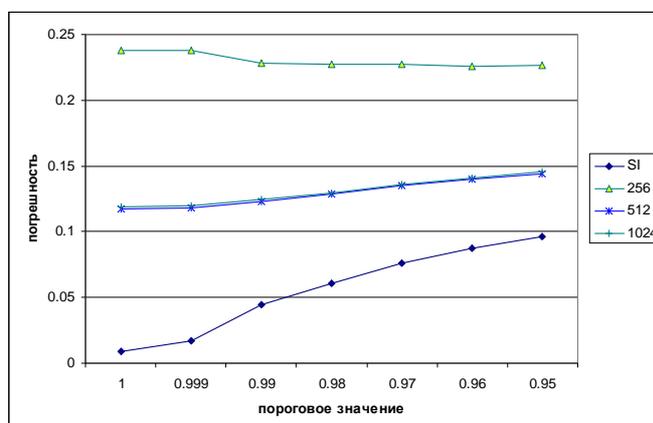


Рис. 3. Среднеквадратические погрешности восстановления изображений по результатам анализа, $R_a=R_b=8$

Выводы

Предложенный метод оптимальных обратимых субинтервальных преобразований позволяет достичь высоких точностей аппроксимаций значений трансформант Фурье в заданных частотных интервалах и может быть использован для создания новых эффективных методов сжатия. Полученные результаты вычислительных экспериментов над различными изображениями показывают высокую эффективность применения оптимальных обратимых субинтервальных преобразований на основе частотных представлений и демонстрирует преимущества данных преобразований в погрешностях аппроксимации долей энергии изображений и в погрешностях восстановления изображений.

Литература

1. Ковалгин, Ю.А. Цифровое кодирование звуковых сигналов [Текст] / Ю.А. Ковалгин, Э.И. Вологодин. – СПб: Корона-принт, 2004. – 240 с.: ил.
2. Жилияков, Е.Г. Вариационные алгоритмы анализа и обработки изображений на основе частотных представлений [Текст] / Е.Г. Жилияков, А.А. Черноморец. – Белгород: Изд-во БелГУ, 2008. – 146 с.
3. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений [Текст] / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.:

Техносфера, 2006. – 1072 с.

4. Жилияков, Е.Г. Метод определения точных значений долей энергии изображений в заданных частотных интервалах [Текст] / Е.Г. Жилияков, А.А. Черноморец, И.В. Лысенко // Вопросы радиоэлектроники. – Сер. РЛТ, 2007. – Вып. 4. – С. 115-123.

ON EFFICIENCY OF THE OPTIMAL REVERSIBLE SUBINTERVAL IMAGE TRANSFORMATION METHOD ON THE BASIS OF FREQUENCY REPRESENTATIONS

А.А. CHERNOMORETS,
I.I. CHIZHOV,
I.V. LYSENKO,
К.А. MARENOV

Belgorod State University

e-mail: chernomorets@bsu.edu.ru

Experimental research results of efficiency of the optimal reversible subinterval image transformation method on the basis of frequency representations are given in the work. Comparative investigation of the proposed method and subband transformation method based on FIR-filters bank are described.

Key words: image, frequency representations, subinterval transformation, subband matrix, energy parts, reconstruction error