

УДК 621.327:629.391

И.В. Рубан, М.Н. Колмыков

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

СОКРАЩЕНИЕ РАЗРЯДНОСТИ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДИСКРЕТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ХАРТЛИ В АЛГОРИТМАХ СЖАТИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Приведены результаты эксперимента по разработке дополнительной процедуры кодирования коэффициентов трансформант дискретного преобразования Хартли для алгоритмов сжатия и восстановления статических изображений.

дискретное преобразование Хартли, статические изображения

Введение

Постановка задачи. С 1982 года в методах и алгоритмах цифровой обработки информации используется дискретное преобразование Хартли (ДПХ) [1–4]. Одной из перспективных областей его использования является методы компактного представления информации, в частности методы сжатия и восстановления изображений [2, 3, 6]. Однако исходя из того, что данное преобразование является сравнительно «молодым» и малоизученным, то существует необходимость в изучении свойств преобразования с целью разработки новых алгоритмов и процедур обработки изображений.

Анализ литературы. Исходя из анализа литературы, на основе ДПХ разработаны различные алгоритмы сжатия и восстановления статических изображений [2, 5, 6, 8, 10] с обязательным шагом в виде двумерного преобразования блока изображения дискретным преобразованием Хартли и формированием соответствующей трансформанты по выражениям прямого и обратного ДПХ:

$$\begin{aligned}
 H(v_1, v_2) &= (1/N_1 N_2) \times \\
 &\times \sum_{\tau_1=0}^{N_1-1} \sum_{\tau_2=0}^{N_2-1} f(\tau_1, \tau_2) \cos[(2\pi v_1 \tau_1 / N_1) + (2\pi v_2 \tau_2 / N_2)]; \\
 f(\tau_1, \tau_2) &= \\
 &= \sum_{v_1=0}^{N_1-1} \sum_{v_2=0}^{N_2-1} H(v_1, v_2) \cos[(2\pi v_1 \tau_1 / N_1) + (2\pi v_2 \tau_2 / N_2)],
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где v_1, v_2 – координаты полученной матрицы; τ_1, τ_2 – координаты исходной матрицы; N_1 – количество столбцов; N_2 – количество строк.

Цель статьи: повысить эффективность сжатия и восстановления статических изображений на основе дискретного преобразования Хартли путем применения дополнительного кодирования коэффициентов ДПХ.

Основная часть

Первым этапом разработанных алгоритмов сжатия и восстановления изображений является

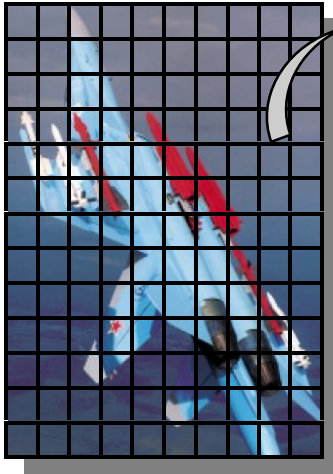
формирование трансформанты ДПХ, процесс формирования трансформанты ДПХ представлен на рис. 1. В процессе формирования трансформанты цифровые изображения подвергались разбиению на блоки, состоящих из $n \times n$ элементов (пикселей) [5, 7]. В дальнейшем каждый блок, представленный в виде $n \times n$ матрицы X с компонентами x_{ij} , где $i, j = \overline{0, n-1}$, подвергался обработке двумерным дискретным преобразованием Хартли, результатом которой являлось получение соответствующих каждому блоку матрицы коэффициентов дискретного преобразования Хартли Y с компонентами y_{kl} , где $k, l = \overline{0, n-1}$.

На рис. 2 представлены примеры трансформанты ДПХ, размерности 16×16 , блоков изображения различной степени насыщенности – интенсивности изменения яркостных значений элементов изображения в пределах блока. Значения коэффициентов трансформант округлены до ближайшего целого. При этом для хранения каждого коэффициента ДПХ в памяти цифрового устройства выделяется один байт [6].

Исследование трансформант ДПХ позволило выявить ряд их особенностей, указывающих на их компрессионные свойства [7]:

- наличие в трансформанте коэффициентов дискретного преобразования Хартли с нулевым значением, при этом их количество пропорционально степени насыщенности исходного блока изображения;
- сосредоточение максимальной энергии в первом коэффициенте, его численное значение не превышает динамический диапазон блока изображения;
- значения остальных коэффициентов ДПХ по сравнению с исходными цветовыми значениями блока изображения на порядок меньше;
- равномерное распределение отрицательных значений коэффициентов ДПХ на всей трансформанте.

ЦИФРОВОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ



МАТРИЦА «X»
БЛОКА ИЗОБРАЖЕНИЯ

$n \times n$

245	235	216	...	223
125	114	114	...	229
223	114	120	...	219
125	120	225	...	219
...

$X = |x_{i,j}|$, где $i, j = \overline{0, n-1}$

ТРАНСФОРМАНТА
ДПХ «Y»

$n \times n$

230	5,54	-6,7	...	3,02
1,25	1,64	2,22	...	-0,9
-2,2	1,43	1,02	...	3,22
0,25	2,03	1,15	...	3,29
...

$Y = |y_{k,l}|$, где $k, l = \overline{0, n-1}$

ДПХ

Рис. 1. Процесс формирования трансформанты ДПХ

Блоки изображения 16 × 16

Соответствующие трансформанты ДПХ

а

250	253	253	250	250	250	252	250	254	255	253	251	253	254	252	254
253	250	253	254	251	251	253	254	251	251	255	253	253	251	255	255
255	254	250	251	255	251	251	250	253	252	251	250	255	254	255	254
253	252	255	254	251	250	254	250	251	250	252	255	250	252	250	255
254	253	253	253	252	253	255	255	255	250	252	252	250	251	251	250
250	251	252	253	250	252	250	255	252	253	250	253	252	251	255	254
251	251	252	250	255	254	252	252	251	253	255	250	254	252	253	251
254	255	250	251	251	254	255	254	250	250	254	252	252	250	253	254
255	255	253	251	252	252	252	253	250	253	254	254	251	253	250	251
250	255	253	251	255	254	250	253	250	252	255	251	250	250	254	255
255	251	250	253	255	252	253	252	252	250	255	254	252	252	255	251
253	253	251	253	253	254	254	252	252	255	255	250	253	251	253	252
251	255	250	254	252	253	250	253	254	253	254	254	251	252	250	250
254	250	250	255	253	253	254	252	253	251	251	253	255	255	252	255
253	252	253	255	251	255	252	254	250	255	252	255	251	251	252	254
253	255	253	252	251	255	255	253	250	250	254	255	250	254	255	253

253	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

б

243	220	226	253	224	233	220	241	229	243	244	227	246	255	237	234
223	224	247	226	225	249	233	222	246	220	250	249	230	247	226	232
228	238	233	231	246	228	223	235	248	231	254	243	254	245	236	220
224	227	237	226	225	221	221	236	232	237	231	253	247	237	242	225
234	228	242	249	231	244	243	234	224	237	243	238	221	230	242	241
247	251	229	231	221	242	221	238	224	241	229	242	249	254	254	226
231	245	253	237	244	245	251	248	220	241	247	239	233	232	243	229
226	255	253	236	238	228	231	244	241	254	225	229	239	230	226	238
246	243	234	237	223	229	251	245	230	253	246	226	227	220	235	238
228	243	228	239	247	241	238	228	237	252	255	247	248	223	241	239
222	221	222	223	224	227	235	222	255	235	241	231	243	250	226	226
234	226	222	243	232	229	222	228	240	237	231	241	237	233	249	221
234	254	221	241	247	234	223	242	229	244	253	238	247	250	232	235
249	220	228	250	226	250	228	243	251	234	226	250	230	240	243	221
233	249	234	235	233	243	229	254	234	221	245	252	236	238	242	245
227	252	242	231	241	250	254	226	237	224	223	225	250	250	226	254

238	-1	0	0	0	0	-1	1	-1	0	0	-1	0	-2	0	0
-1	0	0	-1	1	0	-1	0	0	0	0	-1	0	0	0	-1
0	1	0	0	1	1	1	0	0	-3	-1	0	-1	1	-1	0
0	0	0	-1	0	1	1	1	-1	1	0	0	0	-1	-1	0
-1	0	0	1	0	0	0	-1	1	-1	0	0	2	0	-1	0
1	1	0	0	1	-1	0	-1	-1	0	0	-1	0	0	0	0
1	1	1	0	1	-1	0	0	1	0	1	0	1	0	-1	0
0	0	0	0	-1	1	0	-1	1	1	0	0	0	0	-1	0
0	1	0	-1	0	-1	0	0	-1	0	0	0	0	0	1	1
1	-1	0	1	-1	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	1	0
1	0	0	-1	0	-1	-1	0	0	1	0	0	-1	-1	2	0
-1	1	-1	0	0	1	0	1	-1	0	1	1	0	-1	0	0
0	-1	1	1	1	0	0	-1	1	0	0	0	-1	-1	1	0
1	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0
0	0	0	1	1	0	-1	0	0	-1	0	0	-1	1	0	-1
1	1	1	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	0	0	-1

в

225	236	138	123	147	151	233	181	160	201	200	201	212	190	203	203
138	199	232	183	247	179	250	182	250	186	127	237	212	190	235	186
154	182	175	172	164	189	199	242	251	146	162	241	247	208	241	220
175	197	210	183	229	193	224	143	189	234	237	183	193	233	134	225
170	179	202	197	201	195	151	245	136	152	192	253	253	250	135	151
132	186	210	205	173	248	192	123	165	155	208	176	198	124	250	246
171	180	237	204	127	243	158	184	174	167	154	151	138	194	165	228
201	230	126	185	157	239	156	169	252	245	155	165	212	255	215	229
168	157	122	130	161	252	216	225	227	229	210	255	132	152	196	243
145	141	222	132	201	180	174	226	166	211	220	231	233	255	198	255
150	236	200	120	192	130	246	162	200	187	143	209	204	154	227	230
244	157	176	121	131	209	234	141	207	253	165	192	133	116	227	241
216	155	234	253	188	175	232	234	179	253	172	202	196	147	245	189
215	127	172	167	125	175	246	203	178	250	189	134	202	144	185	204
172	216	215	133	197	127	218	170	160	179	133	154	235	132	236	225
157	193	216	213	166	186	186	197	199	171	245	149	198	236	224	131

192	-4	-2	0	-3	-7	-1	-2	0	1	-3	0	-3	0	6	2
1	1	-4	1	0	0	4	-3	1	-2	-4	0	2	-3	-4	0
3	-2	0	0	3	-2	-1	1	0	-5	0	-4	0	1	1	-3
0	2	4	1	0	0	2	0	0	1	4	-3	-1	-2	1	2
1	-3	0	1	2	2	-1	3	0	2	-1	-1	-3	4	-3	-2
-2	1	4	1	2	1	-5	0	0	-1	1	3	3	1	-1	0
-3	-1	2	2	-1	-1	2	2	0	-3	-2	1	-2	6	5	1
2	-1	-1	2	1	-1	-6	0	2	-2	-1	-2	0	-1	2	7
-2	1	1	5	-3	1	0	2	-1	1	-3	-3	4	-1	1	0
-1	0	1	-1	2	1	4	2	-3	1	-2	2	1	2	1	1
-3	-1	3	1	0	-3	0	-5	1	1	1	1	-2	6	4	-2
0	0	1	1	1	3	1									

При анализе экспериментов по применению разработанных алгоритмов сжатия и восстановления к различным статическим изображениям было выявлено, что коэффициенты ДПХ, кроме первого, после проведения всех основных процедур лежат в диапазоне абсолютных значений от 0 до 14 (рис. 1). Соответственно, занимают в двоичном коде несколько бит, вместо отводимого байта в массиве сжатой информации [6, 7, 9]. На основании этого было сделано предположение о возможности сокращения разрядности сохраняемых коэффициентов ДПХ.

Были проведены эксперименты для изображений разной степени насыщенности с сохранением коэффициентов ДПХ разной разрядности.

Результаты одного из экспериментов на примере восстановленного изображения представлены на рис. 3, где:

а – исходное изображение;

б – восстановленное изображение после применения алгоритма сжатия без сокращения разрядности сохраняемых коэффициентов ДПХ;

в – восстановленное изображение после применения алгоритма сжатия при сокращении разрядности сохраняемых коэффициентов дискретного преобразования Хартли до 4 бит;

г – восстановленное изображение после применения алгоритма сжатия при сокращении разрядности сохраняемых коэффициентов дискретного преобразования Хартли до 3 бит.

Субъективный анализ восстановленных изображений, полученных в результате проведенных экспериментов, позволил сделать вывод о том, что при определении разрядности сохраняемых коэффициентов ДПХ в 4 бита качество восстановления изображений не изменяется.

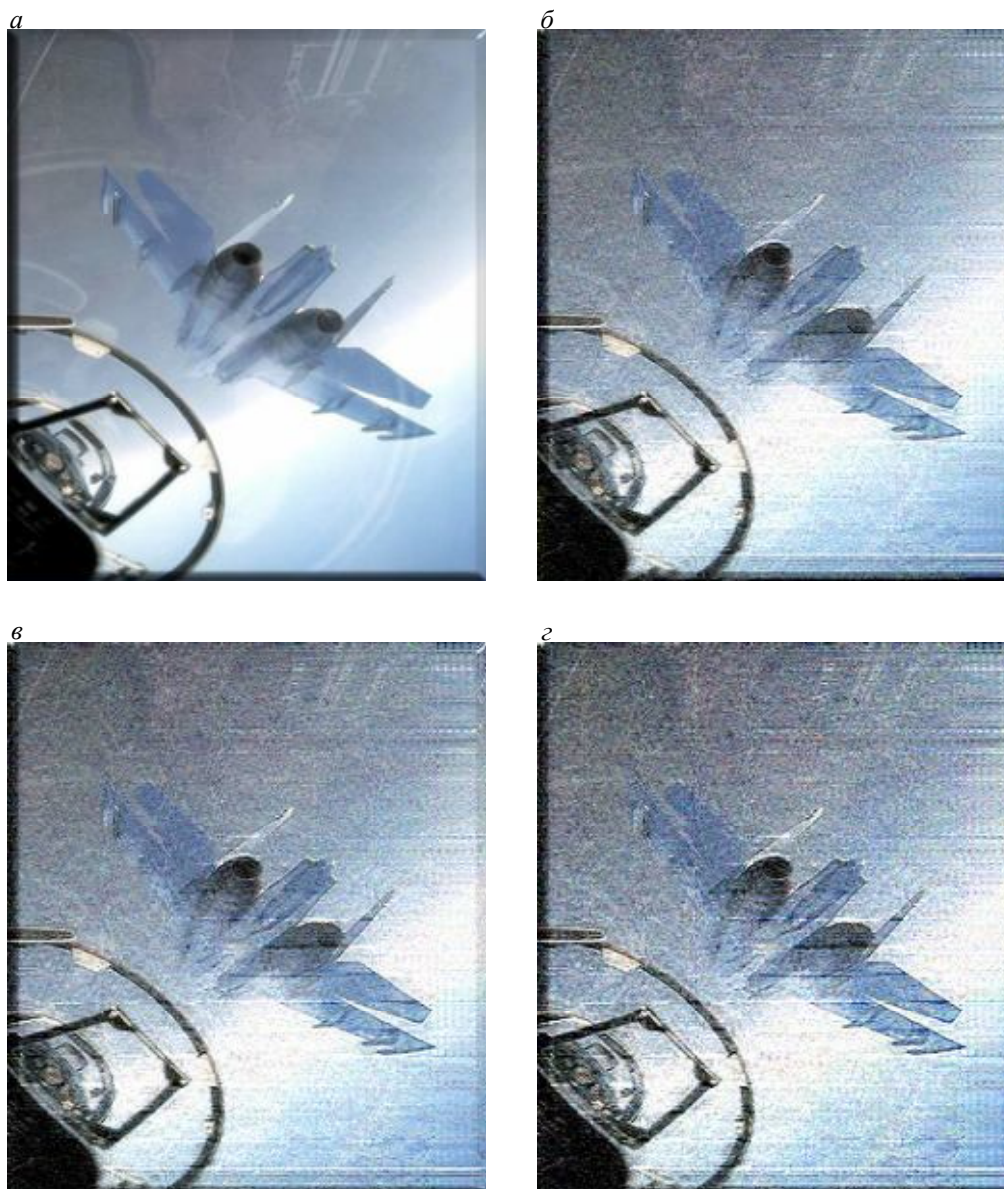


Рис. 3. Результаты эксперимента по определению разрядности сохраняемых коэффициентов ДПХ

Выводы

Таким образом, в результате сокращения разрядности сохраняемых коэффициентов ДПХ до 4 разрядов, возможно увеличение коэффициента сжатия статического изображения на основе дискретного преобразования Хартли в 1,5 – 2 раза.

Список литературы

1. Абламейко С.В., Лагуновский Д.В. *Обработка изображений: технология, методы, применение.* – М.: Амалфея, 2000. – 304 с.
2. Брейсуэлл Р.Н. *Преобразование Хартли.* – М.: Мир, 1990. – 273 с.
3. Гонсалес Р., Вудс Р. *Цифровая обработка изображений.* – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
4. Залманзон А. *Преобразования Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях.* – М.: Наука, 1989. – 496 с.
5. Колмыков М.М. *Алгоритм компактного представления статичних изображений // Системи обробки інформації.* – Х.: ХВУ, 2004. – Вип. 2. – С. 35-38.
6. Колмыков М.Н. *Формат данных представления статических изображений на основе дискретного преобразования Хартли // Системи обробки інформації.* – Х.: ХУ ПС, 2006. – Вип. 5 (54). – С. 63-66.
7. Рубан И.В., Колмыков М.Н., Дуденко С.В. *Исследование статистических свойств трансформант дискретного преобразования Хартли // Системи обробки інформації.* – Х.: ХВУ, 2004. – Вип. 4. – С. 175 – 181.
8. Рубан И.В., Колмыков М.Н., Дуденко С.В. *Быстрый алгоритм формирования трансформанты дискретного преобразования Хартли // Системи озброєння і військова техніка.* – Х.: ХУ ПС, 2005. – Вип. 3/4. – С. 96-98.
9. Рубан И.В., Колмыков М.Н., Новиков В.И. *Оценка качества обработки изображений на основе преобразования Хартли // Радіоелектронні і комп'ютерні системи.* – 2003. – Вип. 4. – С. 135-138.
10. Рубан И.В., Колмыков М.Н., Резуненко А.А. *Адаптивный алгоритм сжатия данных в компьютерных сетях // Системи обробки інформації.* – Х.: ХВУ, 2003. – Вип. 4. – С. 67-72.

Поступила в редколлегию 2.08.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ю.В. Стасев, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.