

УДК 621.391

КОДИРОВАНИЕ БИТОВЫХ ПЛОСКОСТЕЙ МЕЖКАНАЛЬНЫХ РАЗНОСТЕЙ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Б.Дж. САДИК, М.Н. БОБОВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 29 ноября 2016

Произведена оценка эффективности алгоритмов энтропийного кодирования мультиспектральных изображений. Установлено, что повышение коэффициента сжатия мультиспектральных изображений возможно за счет использования для кодирования только старших битовых плоскостей их межканальных разностей.

Ключевые слова: мультиспектральные изображения, кодирование битовых плоскостей.

Введение

Создание нового поколения аппаратуры дистанционного зондирования Земли, формирующей мультиспектральные изображения (МСИ), требует согласования возрастающего объема видеоданных с ограниченной пропускной способностью радиоканала. МСИ формируются с частотой около 1 Гц и включают несколько сотен спектральных каналов, каждый из которых содержит 16-ти разрядное изображение размером около 2000×4000 пикселей. В таких условиях скорость формирования МСИ может достигать 40 Гбит/с. При этом пропускная способность радиоканалов составляет около 1 Гбит/с, а 10 минут записи МСИ требуют около 3 Тбайт памяти. Известные кодеки [1-5], позволяющие сжимать изображения в 10-100 раз с приемлемым качеством восстановления, обладают низким быстродействием и высокой сложностью. Для повышения скорости сжатия может использоваться алгоритм RLE (Run Length Encoding) [6], однако он не эффективен для изображений, так как не учитывает особенности локальной корреляции соседних пикселей в изображении.

Целью работы является оценка эффективности алгоритмов энтропийного кодирования мультиспектральных изображений, использующих спектральные каналы и их разности и учитывающих разделение на старшие и младшие битовые плоскости для повышения коэффициента сжатия.

Структура и характеристики мультиспектральных изображений

МСИ $P = \{P(i)\}_{(i=0, N_c-1)}$ представляет собой совокупность N_c спектральных каналов $P(i) = \parallel p(y, x, i) \parallel_{(y=0, Y-1, x=0, X-1)}$ размером $Y \times X$ пикселей и битовой глубиной D_B . Каждый спектральный канал соответствует определенному участку спектра. На рис. 1 приведены 24-й и 64-й спектральные каналы 68-ми канального 16-ти разрядного МСИ размером 2048×614 пикселей.

Для оценки пиксельной корреляции i -го $P(i)$ и j -го $P(j)$ каналов МСИ использованы значения средней ошибки $ME_p(i, j)$, вычисляемой с помощью выражения

$$ME_p(i, j) = \sum_{y=0}^{Y-1} \sum_{x=0}^{X-1} |p(y, x, i) - p(y, x, j)| / (YX),$$

где $| |$ – операция по модулю.

На рис. 2, *a* приведена зависимость $ME_p(i, j)$ от номера спектрального канала при $i = 24$ и $j = 0, N_c - 1, N_c = 68$.

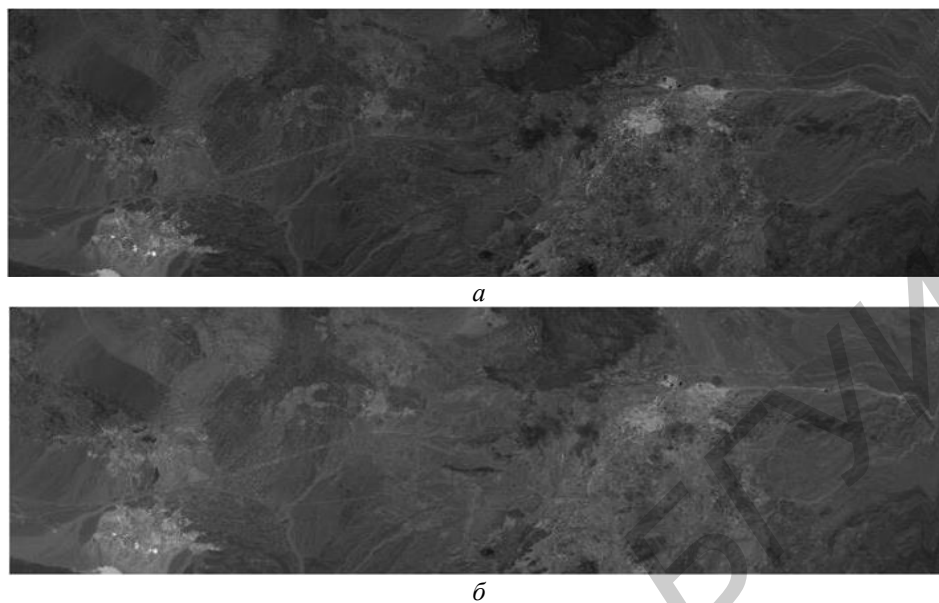


Рис. 1. Спектральные каналы МСИ: *a* – 24-й; *б* – 64-й

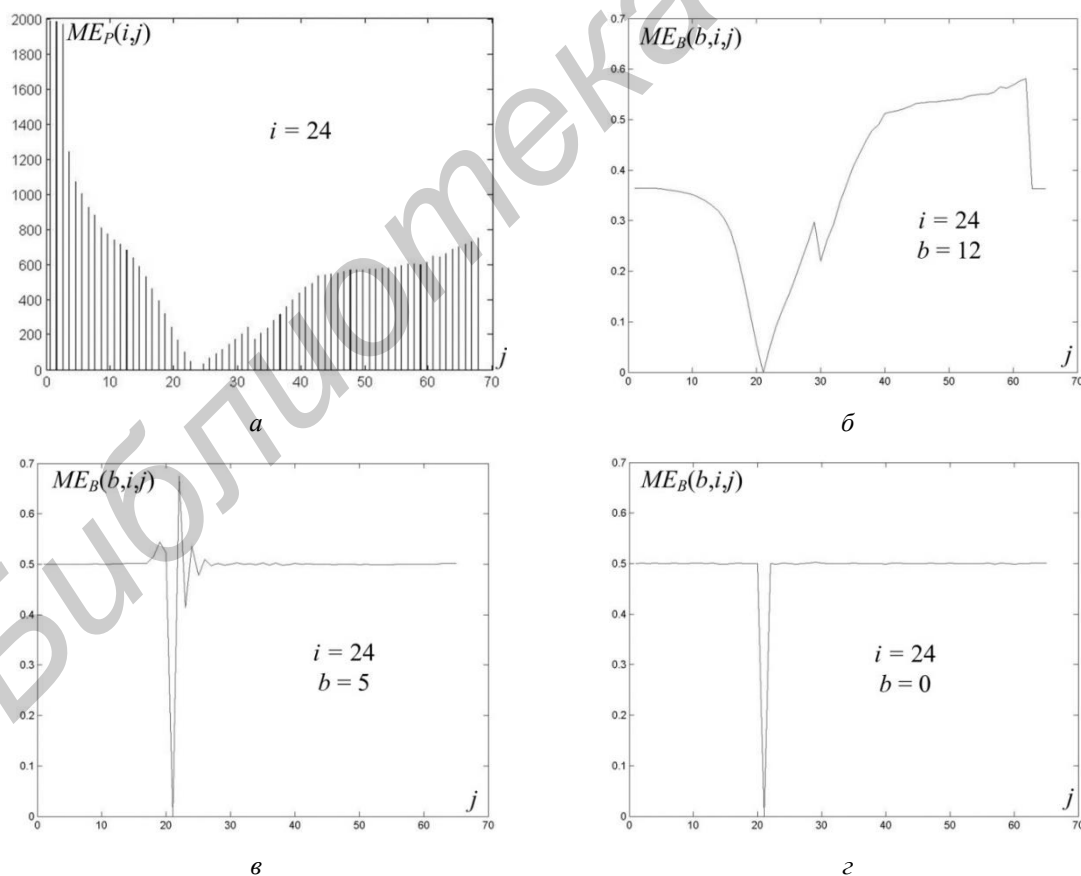


Рис. 2. Зависимости средней ошибки от номера спектрального канала: *a* – для пиксельной межканальной корреляции; *б* – для поразрядной межканальной корреляции (11-я битовая плоскость); *в* – для поразрядной межканальной корреляции (5-я битовая плоскость); *г* – для поразрядной межканальной корреляции (0-я битовая плоскость)

Для оценки поразрядной корреляции b -х битовых плоскостей i -го $P(i)$ и j -го $P(j)$ каналов МСИ использованы значения средней ошибки $ME_B(b, i, j)$, вычисляемой с помощью выражения

$$ME_B(b, i, j) = \frac{\sum_{y=0}^{Y-1} \sum_{x=0}^{X-1} (p(y, x, b, i) \oplus p(y, x, b, j))}{YX},$$

где \oplus – операция «Исключающее ИЛИ».

В качестве примера на рис. 2, б-г приведены зависимости $ME_B(b, i, j)$ от номера спектрально канала при $i = 24$, $b = \{11, 5, 0\}$ и $j = 0, N_C - 1$, $N_C = 68$.

Как следует из рис. 2, битовые плоскости МСИ имеют различные корреляционные свойства. Старшие плоскости определяют общий вид функции распределения ошибки, в то время как младшие плоскости практически не коррелируют и незначительно влияют на общий вид функции распределения ошибки.

Оценка эффективности пиксельного поканального и межканального кодирования МСИ

При пиксельном поканальном энтропийном кодировании каждый спектральный канал МСИ сжимается независимо от других спектральных каналов. При пиксельном межканальном кодировании один из спектральных каналов сжимается независимо от других (например, первый). Затем кодируются разности соседних спектральных каналов (1-2, 2-3 и т.д.), между которыми корреляция наибольшая. Характеристики сжатия МСИ при канальном и межканальном энтропийном кодировании приведены в табл. 1 (исходный размер каждого канала МСИ-1 2048×614 пикселей составляет 2514944 байт) и табл. 2 (исходный размер каждого канала МСИ-2 1024×614 пикселей составляет 1257472 байт). Из табл. 1 и 2 следует, что кодек Rar обеспечивает более высокий коэффициент сжатия по сравнению с кодером Zip (в 1,2-1,5 раза).

Таблица 1. Коэффициенты сжатия МСИ-1 (2048×614 пикселей) при пиксельном поканальном и межканальном энтропийном кодировании

Изображения	Размер после кодирования		Коэффициент сжатия	
	Кодек Rar	Кодек Zip	Кодек Rar	Кодек Zip
Спектральный канал 24	1400929	2130049	1,80	1,18
Спектральный канал 25	1318890	2030822	1,91	1,24
Разность спектральных каналов 19 и 20	881431	1177767	2,85	2,14
Разность спектральных каналов 24 и 25	861920	1111005	2,92	2,26
Разность спектральных каналов 34 и 35	912875	-	2,76	-
Разность спектральных каналов 54 и 55	931268	1148211	2,70	2,19

Таблица 2. Коэффициенты сжатия МСИ-2 (1024×614 пикселей) при пиксельном поканальном и межканальном энтропийном кодировании

Изображения	Размер после кодирования		Коэффициент сжатия	
	Кодек Rar	Кодек Zip	Кодек Rar	Кодек Zip
Спектральный канал 24	689784	1058727	1,82	1,19
Спектральный канал 25	-	-	-	-
Разность спектральных каналов 24 и 25	555624	658901	2,26	1,91
Разность спектральных каналов 34 и 35	519230	-	2,42	-

Оценка эффективности поразрядного поканального кодирования МСИ

При поразрядном поканальном энтропийном кодировании каждый спектральный канал МСИ сжимается независимо от других спектральных каналов, но старшие и младшие битовые плоскости спектральных каналов кодируются отдельно. Для 24-х спектральных каналов 16-ти разрядных МСИ-1 и МСИ-2 (размерами 2048×614 и 1024×614 пикселей соответственно) в

табл. 3, 4 приведены коэффициенты сжатия при поразрядном поканальном кодировании старших и младших битовых плоскостей.

Таблица 3. Коэффициенты сжатия одного канала МСИ-1 (2048×614 пикселей) при поразрядном поканальном энтропийном кодировании

Битовые плоскости 24-го спектрального канала	Исходный размер битовых плоскостей, байт	Размер битовых плоскостей после кодирования, байт		Коэффициент сжатия	
		Кодек Rar	Кодек Zip	Кодек Rar	Кодек Zip
15/14-0	157184/2357760	156/1484285	2613/1883521	1007,59/1,59	60,15/1,25
15-14/13-0	314368/2200576	156/1484285	2613/1883521	2015,18/1,48	120,31/1,17
15-13/12-0	471552/2043392	156/1484285	2613/1883521	3022,77/1,38	180,46/1,08
15-12/11-0	628736/1886208	156/1485544	2613/1883375	4030,36/1,27	240,62/1,00
15-11/10-0	785920/1729024	2902/1525796	4132/1874820	207,82/1,13	190,20/0,92
15-10/9-0	943104/1571840	94464/1516859	95456/1829138	9,98/1,04	9,88/0,86
15-9/8-0	1100288/1414656	77022/1457628	104891/1750699	14,28/0,97	10,49/0,81
15-8/7-0	1257472/1257472	108971/1434214	159139/1594979	11,54/0,88	7,90/0,79
15-7/6-0	1414656/1100288	219816/1128256	278260/1369337	6,43/0,98	5,08/0,80
15-6/5-0	1571840/943104	385920/973802	443957/1190758	4,07/0,97	3,54/0,79
15-5/4-0	1729024/785920	531927/810237	649261/1010438	3,25/0,97	2,66/0,78
15-4/3-0	1886208/628736	691051/654006	878460/807483	2,73/0,96	2,15/0,78
15-3/2-0	2043392/471552	762821/487034	1112691/613273	2,68/0,97	1,84/0,77
15-2/1-0	2200576/314368	1009543/318856	1349571/412672	2,18/0,99	1,63/0,76
15-1/0	2357760/157184	1170847/186694	1561168/217577	2,01/0,84	1,51/0,72

Таблица 4. Коэффициенты сжатия одного канала МСИ-2 (1024×614 пикселей) при поразрядном поканальном энтропийном кодировании

Битовые плоскости 24-го спектрального канала	Исходный размер битовых плоскостей, байт	Размер битовых плоскостей после кодирования, байт		Коэффициент сжатия	
		Кодек Rar	Кодек Zip	Кодек Rar	Кодек Zip
15/14-0	78592/1178880	147/783948	1398/940935	534,64/1,50	56,22/1,25
15-14/13-0	157184/1100288	147/783948	1398/940935	1069,28/1,40	112,43/1,17
15-13/12-0	235776/1021696	147/784083	1398/940902	1603,92/1,30	168,65/1,09
15-12/11-0	314368/943104	777/786550	1617/939452	404,59/1,20	194,41/1,00
15-11/10-0	392960/864512	7866/810427	6621/929097	49,97/1,07	59,35/0,93
15-10/9-0	471552/785920	59429/784514	61584/898299	7,93/1,00	7,66/0,87
15-9/8-0	550144/707328	55920/725197	80538/866182	9,84/0,98	6,83/0,82
15-8/7-0	628736/628736	102316/702036	127599/789177	6,14/0,90	4,93/0,80
15-7/6-0	707328/550144	183849/586560	201035/690999	3,85/0,94	3,52/0,80
15-6/5-0	785920/471552	252742/483244	291767/594516	3,11/0,98	2,69/0,79
15-5/4-0	864512/392960	327606/401908	397326/503015	2,64/0,98	2,18/0,78
15-4/3-0	943104/314368	396377/324962	511096/401267	2,38/0,97	1,85/0,78
15-3/2-0	1021696/235776	458635/247546	626245/307106	2,23/0,95	1,63/0,77
15-2/1-0	1100288/157184	579729/159766	737514/206867	1,90/0,98	1,49/0,76
15-1/0	1178880/78592	651486/93009	828813/109069	1,81/0,84	1,42/0,72

Из табл. 3 и 4 следует, что энтропийное кодирование младших битовых плоскостей спектральных каналов в некоторых случаях не эффективно и коэффициент сжатия МСИ может быть увеличен за счет использования младших битовых плоскостей без кодирования. При использовании кодера Rar для сжатия только плоскостей 15-3 спектральных каналов, суммарный размер после кодирования составляет 1234373 и 694411 байт для МСИ-1 и МСИ-2 соответственно, что свидетельствует о сжатии в 2,04 и 1,81 раз соответственно. Для МСИ-1 это обеспечивает повышение коэффициента сжатия в 1,13 раза по сравнению с пиксельным поканальным кодированием. Из табл. 3 и 4 также следует, что кодек Rar обеспечивает более высокий коэффициент сжатия по сравнению с кодером Zip.

Оценка эффективности поразрядного межканального кодирования МСИ

При поразрядном межканальном энтропийном кодировании один из спектральных каналов сжимается независимо от других, например, первый. Затем вычисляются разности битовых плоскостей соседних спектральных каналов (1-2, 2-3 и т.д.). Полученные битовые плоскости разностей группируются на старшие и младшие битовые плоскости и к каждой группе применяется энтропийный кодер независимо от других групп битовых плоскостей. Для разностей (24-25)-го и (34-35)-го спектральных каналов 16-ти разрядных МСИ-1 и МСИ-2 (размерами 2048×614 и 1024×614 пикселей соответственно) в табл. 5 и 6 приведены коэффициенты сжатия при поразрядном межканальном энтропийном кодировании старших и младших битовых плоскостей. Знаковая плоскость кодируется отдельно.

Таблица 5. Коэффициенты сжатия МСИ 2048×614 пикселей при поразрядном межканальном энтропийном кодировании с использованием кодера Раг

Битовые плоскости	Исходный размер битовых плоскостей, байт	Размер битовых плоскостей после кодирования, байт		Коэффициент сжатия	
		(24-25)-й спектральные каналы	(34-35)-й спектральные каналы	(24-25)-й спектральные каналы	(34-35)-й спектральные каналы
15/14-0	157184/2357760	3852/861574	19087/889970	40,81/2,74	8,24/2,65
14/13-0	157184/2200576	156/861574	159/889970	1007,59/2,55	988,58/2,47
14-13/12-0	314368/2043392	156/861574	159/889970	2015,18/2,37	1977,16/2,30
14-12/11-0	471552/1886208	156/861574	159/889970	3022,77/2,19	2965,74/2,12
14-11/10-0	628736/1729024	156/861574	159/889970	4030,36/2,01	3954,31/1,94
14-10/9-0	785920/1571840	156/861574	159/889970	5037,95/1,82	4942,89/1,77
14-9/8-0	943104/1414656	156/861572	159/889968	6045,54/1,64	5931,47/1,59
14-8/7-0	1100288/1257472	154/861572	157/889968	7144,73/1,46	7008,20/1,41
14-7/6-0	1257472/1100288	154/861470	157/889966	8165,40/1,28	8009,38/1,24
14-6/5-0	1414656/943104	698/879713	165/894378	2026,73/1,07	8573,67/1,05
14-5/4-0	1571840/785920	42950/805396	26417/803583	36,60/0,98	59,50/0,98
14-4/3-0	1729024/628736	138304/654089	185441/652554	12,50/0,96	9,32/0,96
14-3/2-0	1886208/471552	225037/487322	250386/4484592	8,38/0,97	7,53/97
14-2/1-0	2043392/314368	425108/318866	437104/316527	4,81/0,99	4,67/99
14-1/0	2200576/157184	658784/190911	597624/190869	3,34/0,82	3,68/82

Таблица 6. Коэффициенты сжатия МСИ 1024×614 пикселей при поразрядном межканальном энтропийном кодировании с использованием кодера Раг

Битовые плоскости	Исходный размер битовых плоскостей, байт	Размер битовых плоскостей после кодирования, байт		Коэффициент сжатия	
		(24-25)-й спектральные каналы	(34-35)-й спектральные каналы	(24-25)-й спектральные каналы	(34-35)-й спектральные каналы
15/14-0	78592/1178880	55077/465148	9139/510028	1,43/2,53	8,60/2,31
14/13-0	78592/1100288	150/465148	150/510028	523,95/2,37	523,95/2,16
14-13/12-0	157184/1021696	150/465148	150/510028	1047,89/2,20	1047,89/2,00
14-12/11-0	235776/943104	150/465148	150/510028	1571,84/2,03	1571,84/1,85
14-11/10-0	314368/864512	150/465148	150/510028	2095,79/1,86	2095,79/1,70
14-10/9-0	392960/785920	150/465148	150/510028	2619,73/1,69	2619,73/1,54
14-9/8-0	471552/707328	150/465146	150/510023	3143,68/1,52	3143,68/1,39
14-8/7-0	550144/628736	148/465139	225/507804	3717,19/1,35	2445,08/1,24
14-7/6-0	628736/550144	164/468906	2998/539235	3833,76/1,17	209,72/1,02
14-6/5-0	707328/471552	4226/456466	25487/482856	167,38/1,03	27,75/0,98
14-5/4-0	785920/392960	21563/401655	78291/404640	36,45/0,98	10,04/0,97
14-4/3-0	864512/314368	82852/327186	126463/328018	10,43/0,96	6,84/0,96
14-3/2-0	943104/235776	153049/247565	211364/247577	6,16/0,95	4,46/0,95
14-2/1-0	1021696/157184	247493/159782	306727/159762	4,13/0,98	3,33/0,98
14-1/0	1100288/78592	340682/92624	345973/92903	3,23/0,85	3,18/0,85

Из табл. 5, 6 следует, что энтропийное кодирование младших битовых плоскостей межканальных разностей не эффективно и коэффициент сжатия МСИ может быть увеличен за счет использования младших битовых плоскостей без кодирования. При использовании кодера *Par* для сжатия только плоскостей 15-3 межканальных разностей суммарный размер после кодирования составляет 700441, 741025 байт для разностей (24-25)-го, (34-35)-го спектральных каналов МСИ-1 и 443902, 456279 разностей (24-25)-го, (34-35)-го спектральных каналов МСИ-2 соответственно, что свидетельствует о сжатии в 3,39-3,59 и 2,76-2,83 раза соответственно. Это обеспечивает повышение коэффициента сжатия до 1,5 и 1,6 раза для МСИ-1 и МСИ-2 соответственно по сравнению с поразрядным поканальным кодированием (до 2,0 и 1,6 раза по сравнению с пиксельным поканальным кодированием).

Синтез структуры кодера МСИ

На основе полученных в табл. 5, 6 данных предлагается схема сжатия МСИ на основе комбинированного энтропийного поразрядного межканального кодирования (рис. 3). Схема предполагает независимое кодирование одного из спектральных каналов (опорного, например, 1-го канала), вычисление поразрядных межканальных разностей для соседних спектральных каналов, исключение из процесса кодирования младших битовых плоскостей полученных разностей (плоскости 2-0 для рассматриваемых типов МСИ), выделение группы старших битовых плоскостей (плоскости 15-3 для рассматриваемых типов МСИ), кодирование старших битовых плоскостей с помощью метода *Par*. Достоинством данного кодера является получение наибольших коэффициентов сжатия МСИ за счет использования корреляции соседних спектральных каналов. Основные недостатки: отсутствие возможности произвольного доступа к спектральным каналам (для декодирования любого канала необходимо декодировать все предыдущие каналы); размножение ошибки (в случае искажения любого бита при передаче теряется возможность восстановления всей последующей информации).

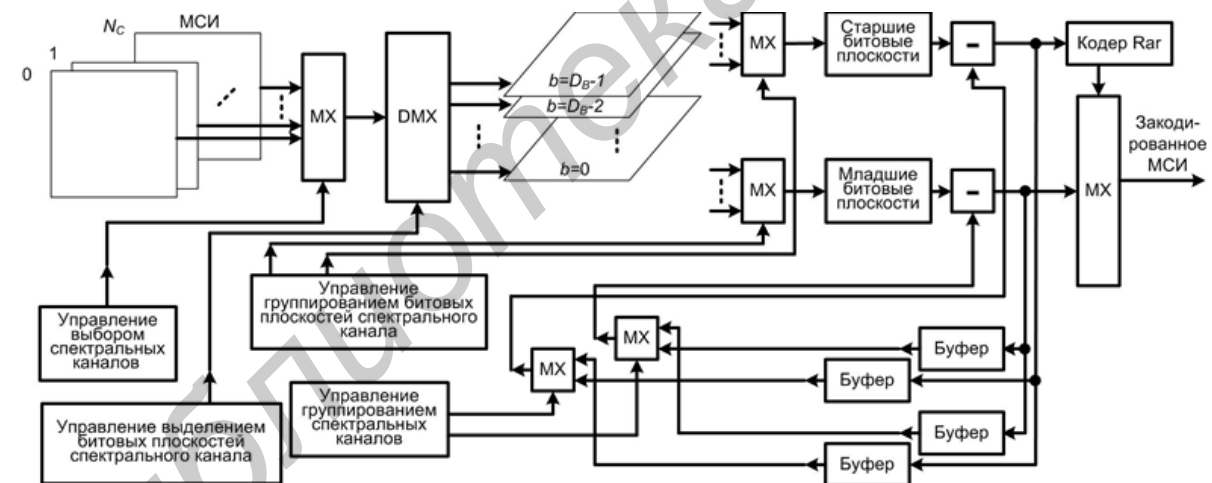


Рис. 3. Структурная схема поразрядного межканального кодера МСИ

Заключение

Произведена оценка эффективности алгоритмов энтропийного кодирования МСИ, использующих спектральные каналы и их разности и учитывающих разделение на старшие и младшие битовые плоскости для повышения коэффициента сжатия. Установлено, что энтропийное кодирование младших битовых плоскостей межканальных разностей не эффективно и коэффициент сжатия МСИ может быть увеличен за счет использования младших битовых плоскостей без кодирования. Показано, что поразрядное межканальное энтропийное кодирование межканальных разностей спектральных каналов МСИ обеспечивает повышение коэффициента сжатия примерно до 1,5 раз по сравнению с поразрядным поканальным кодированием и до 2 раз по сравнению с пиксельным поканальным кодированием.

CODING OF BIT PLANES FOR INTER-CHANNEL DIFFERENCES OF MULTISPECTRAL IMAGES

B.J. SADIQ, M.N. BOBOV

Abstract

Evaluation efficiency entropy coding algorithms for multispectral imaging is produced. It was found that increasing the compression coefficient of multispectral images is possible depending on using encoding only the older bit planes of the inter-channel differences.

Keywords: multispectral image, coding of bit planes.

Список литературы

1. *Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М. и др.* Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. М., 2003.
2. *Сэломон Д.* Сжатие данных, изображений и звука. М., 2004.
3. *Тропченко А.Ю., Тропченко А.А.* Методы сжатия изображений, аудиосигналов и видео. СПб, 2009.
4. *Гонсалес Р., Вудс Р.* Цифровая обработка изображений. М., 2006.
5. *Ziv J., Lempel A.* // IEEE Transactions on Information Theory. 1977. P. 337-343.
6. *Golomb S.W.* // IEEE Transactions on Information Theory. 1966. P. 399-401.