

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК 004.932.4

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГРУППОВЫХ ИСКАЖЕНИЙ НА БИТОВЫХ ПЛОСКОСТЯХ

Б. В. Костров, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой ЭВМ, Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина, Рязань, Россия;

orcid.org/0000-0002-2984-4480, e-mail: kostrov.b.v@evm.rsreu.ru

А. И. Баранчиков, д.т.н., доцент, профессор кафедры ЭВМ, Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина, Рязань, Россия;

orcid.org/0000-0003-4133-7489, e-mail: alexib@inbox.ru

Н. Н. Гринченко, к.т.н., доцент, доц. кафедры ЭВМ, Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина, Рязань, Россия;

orcid.org/0000-0003-2318-276X, e-mail: grinchenko_nn@mail.ru

А. А. Вьюгина, аспирант, старший преподаватель кафедры ЭВМ, Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина, Рязань, Россия;

orcid.org/0000-0002-0087-5988, e-mail: vyugina.an.a@gmail.com

С. Н. Баранова, аспирант, ассистент кафедры ЭВМ, Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина, Рязань, Россия;

orcid.org/0009-0005-6557-5192, e-mail: baranova.sv.n@gmail.com

В настоящее время изображения составляют большую часть передаваемой информации, которая должна быть сохранена и обработана. Целью работы является сравнение подходов восстановления искаженных групповыми помехами значений вектора передачи, сформированного на основе битовых плоскостей, анализом окрестности бит на битовой плоскости и вычислением тренда соседних значений. В задачу исследования входят моделирование передачи данных с вектором, сформированным на основе битовых плоскостей, теоретическое исследование подходов к восстановлению искажений и проведение эксперимента. В результате проведения экспериментальной части установлено, что метод анализа окрестности бит на битовой плоскости обладает большим быстроедействием, но хуже определяет искаженные биты по сравнению с методом вычисления тенденции соседей. При этом оба подхода дают достаточный для визуального восприятия содержательной части результат. Артефакты, возникающие при восстановлении, не имеют сильного влияния на получение информации об изображении.

Ключевые слова: обработка изображений, групповые искажения, вектор передачи, восстановление, битовая плоскость, преобразование Уолша, Matlab, пространственное представление, пространственно-спектральное представление.

DOI: 10.21667/1995-4565-2023-85-139-148

Введение

Большое количество информации в настоящее время собирается в виде изображений различных форматов. Визуальная информация обладает большим количеством полезной информации и, как и любой другой вид данных, должна быть сохранена и обработана. На данный момент развитие технических средств дистанционного мониторинга на базе спутников и беспилотных летательных аппаратов позволяют применять сбор и хранение данных в визуальном формате для различных целей во многих отраслях: предупреждение чрезвычайных

ситуаций, сельское и лесное хозяйство, сфера военной и разведывательной деятельности [1, 2]. Передача информации по каналу связи может сопровождаться появлением помех, вследствие чего принятые данные будут иметь искажения, что особенно влияет на восприятие содержащейся в изображении информации. Поэтому задача передачи изображений с минимальной потерей информативности является одной из значимых в современных реалиях. Другой актуальной задачей является восстановление информативности искаженных значений после приема передаваемой информации.

Помехи, возникающие в процессе передачи информации, могут вносить различные типы искажений, которые разделяются на два класса: одиночные и групповые. Одиночные помехи воспринимаются как отдельные яркие или темные точки на изображении [3, 4]. Групповые помехи характеризуются абсолютным разрушением группы последовательно следующих элементов. При искажении длительной последовательности значений использование методов помехоустойчивого кодирования становится неэффективным [5]. В связи с этим появляется задача поиска других подходов: восстановление искаженных значений после передачи информации, основанное на анализе содержательной части изображения.

Целью работы является сравнение подходов восстановления искаженных групповыми помехами значений вектора передачи, сформированного на основе битовых плоскостей, анализом окрестности бит на битовой плоскости и вычислением тренда соседних значений.

Исследуемые групповые помехи оказывают различное влияние на содержание вектора передачи, которое можно разделить в зависимости от типа вносимых искажений:

1. Инверсные ошибки (ИО), представляющие собой искажение битов на противоположное значение (1).

$$\hat{V} = \begin{cases} b_i & \text{для последовательности } n \text{ с вероятностью } 1-P \\ -b_i & \text{для последовательности } n \text{ с вероятностью } P \end{cases}, \quad (1)$$

где $\hat{V}$ – искаженный вектор передачи, b_i – значение элемента i вектора, i – индекс положения элемента в векторе, n – количество подряд идущих элементов, P – вероятность искажения элемента, $0 \leq P \leq 1$.

2. Потерянные биты (ПБ), представляющие собой изменение последовательности значений бит к постоянному значению «0».

$$\hat{V} = \begin{cases} b_i & \text{для последовательности } n \text{ с вероятностью } 1-P \\ 0 & \text{для последовательности } n \text{ с вероятностью } P \end{cases}, \quad (2)$$

где $\hat{V}$ – искаженный вектор передачи, b_i – значение элемента i вектора, i – индекс положения элемента в векторе, n – количество подряд идущих элементов, P – вероятность искажения элемента, $0 \leq P \leq 1$.

3. Комбинированная ошибка (КО), представляющая собой последовательность искаженных значений, которые принимают постоянное значение «0» и «1» с периодичностью в n символов.

$$\hat{V} = \begin{cases} b_i & \text{для последовательности } n \text{ с вероятностью } 1-P \\ e & \text{для последовательности } n \text{ с вероятностью } P \end{cases}, \quad (3)$$

где $\hat{V}$ – искаженный вектор передачи, b_i – значение элемента i вектора, i – индекс положения элемента в векторе, n – количество подряд идущих элементов, e – бинарное значение (0, 1), которое периодически изменяется, P – вероятность искажения элемента, $0 \leq P \leq 1$.

Вектор передачи формируется на стороне-источнике в виде последовательности разрядов двоичного представления значений пикселей в исходной матрице изображения. При передаче данных по каналу связи, которая происходит на физическом уровне, отдельные элементы информации удобнее представлять в спектральном виде, который формируется на основе нетригонометрических ортогональных базисных функций, определяющих взаимосвязи меж-

ду значениями элементов матрицы в отличие от пикселей в исходном изображении. В проведенном исследовании в качестве нетригонометрических ортогональных базисных функций использовались функции Уолша, применение тригонометрических функций имеет затратную вычислительную сложность и вносит искажения при обратном переходе из частотной области [6, 7, 8, 9, 10, 11]. Представление значений в виде последовательного следования разрядов числа при проявлении групповых помех приводит к полной потере определенных значений, что вносит сильные визуальные искажения в принимаемые данные [3]. Формирование вектора передачи на основе битовых плоскостей позволяет произвести группировку бит в соответствии с их разрядом, что способствует сохранению части разрядов исходного значения [12, 13].

Формирование вектора передачи на стороне источнике можно разделить на следующие этапы:

1. Преобразование матрицы яркостей к пространственно-спектральному представлению посредством использования функций Уолша [14, 15, 16].

2. Переход от десятичного к двоичному представлению значений спектра. На хранение одного разряда выделяется 1 байт памяти, что соответствует 8-разрядному числу.

3. Разделение матрицы на битовые плоскости в соответствии с разрядами числа. Количество битовых плоскостей зависит от выделенной памяти на одно значение спектра и в данном исследовании равно 8 [17].

4. Формирование вектора передачи, началом которого является последовательность значений старшей битовой плоскости, затем добавляется последовательность 6-й битовой плоскости и далее до младшей битовой плоскости [18]. Вектор передачи содержит последовательность от первого элемента строки до последнего и далее так же для каждой последующей строки.

Более подробно формирование вектора передачи рассмотрено в статье [13].

Формула (4) описывает вид вектора передачи, сформированного на основе битовых плоскостей:

$$\mathbf{V}_{1 \times (N \times N \times 8)} = (f_{1,1}^7, f_{1,2}^7, \dots, f_{N,N}^7, f_{1,1}^6, \dots, f_{N,N}^6, \dots, f_{1,1}^0, \dots, f_{N,N}^0), \quad (4)$$

где $\mathbf{V}$ – вектор передачи, $N \times N \times 8$ – количество элементов в векторе передачи, $f_{i,j}^k$ – значение разряда k двоичного числа элемента (i, j) в пространственно-спектральном представлении, k – разряд двоичного числа, $k = \overline{0, 7}$, (i, j) – индексы положения пикселя в матрице изображения, $i = \overline{1, N}$; $j = \overline{1, N}$.

Теоретические исследования

В качестве подходов к восстановлению искаженных значений при векторе передачи, сформированным на основе битовых плоскостей, будут рассмотрены:

1. Анализ окрестности отдельной битовой плоскости.

2. Анализ вхождения в тренд десятичных представлений соседних значений.

Каждый из подходов предполагает изменение одного бита в рассматриваемой плоскости.

Анализ окрестности отдельной битовой плоскости базируется на зависимости значений спектра пространственно-спектрального представления: с увеличением разряда элементы образуют скопление значений в левой части плоскости, что соответствует распределению спектральных составляющих.

Рисунок 1 графически отображает особенности окрестности бит для старших плоскостей, содержащих групповое искажение. При этом известно, что наибольшее значение спектра сосредоточено в начале последовательности, а значит, скопления бит «1» в конце спектра на старших плоскостях являются аномальными и с большей вероятностью содержат искажение. Также характерным признаком наличия искажения является длительная последовательность «1» в одной строке плоскости.

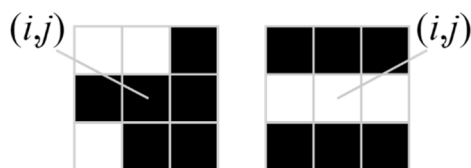


Рисунок 1 – Пример окрестности анализа бит
Figure 1 – Example of bit analysis neighborhood

Тенденция уменьшения значений спектральных составляющих к концу спектра позволяет рассматривать окрестность 3×2 , не исследуя биты, располагающиеся справа от центрального значения окрестности. Для пространственно-спектрального представления можно сформулировать признаки исправления бита:

1. Признак бита «1»: если бит и его соседи по строке «0» и в окрестности битов «1» больше 3-х, то значение бита устанавливается «1».
2. Признак бита «0»: если бит и его соседи по строке «1» и в окрестности нет битов со значением «1», то значение бита устанавливается «0».

Описанный подход к исправлению групповых ошибок на основе анализа битовой плоскости позволяет производить восстановление до перехода к десятичному представлению значений и изменять только один разряд от всего числа. Однако с уменьшением разряда зависимость между распределением значений спектра снижается, поэтому использование анализа окрестности эффективно на старших плоскостях, имеющих наибольший вес при формировании результирующего значения.

Второй подход базируется на анализе вхождения исследуемого значения в тренд десятичных представлений соседних значений. Замена одного разряда значения позволяет получить более близкий к исходному значению результат, так как в зависимости от разряда его вес будет влиять на число в большей или меньшей степени.

Вычисление нового значения методом анализа вхождения в тренд включает следующие шаги:

1. Вычисление среднего значения в десятичной системе счисления по соседним по строкам значений (выше и ниже) относительно места нахождения исследуемого бита.
2. Вычисление десятичного значения центрального элемента.
3. Анализ полученных значений на предмет попадания центрального значения в тенденцию значений его соседей.
4. Исправление бита в плоскости на противоположное, если значение спектра с ошибкой не вписывается в тенденцию, заданную его соседями.

Вхождение значения в тенденцию его соседей определяется отношением значения с ошибкой к среднеарифметическому значению его соседей. Соотношение 5 задается для пространственно-спектрального представления, в котором в окрестность соседей берется только верхний и нижний элемент относительно исследуемого:

$$\left| \frac{f_{(i,j)}}{\frac{f_{(i-1,j)} + f_{(i+1,j)}}{2}} \right| \quad (5)$$

где f – значение спектра в десятичном представлении, (i, j) – индексы нахождения элемента в матрице спектра.

При реализации анализа по тренду следует учитывать следующие обстоятельства:

1. Соотношение вычисляется по модулю, так как соседи могут иметь равные, но противоположные по знаку значения.
2. Сравнение проводится по двум отношениям: с принятым значением и со значением с измененным разрядом. В качестве правильного выбирается то, которое больше всего вписывается в тренд.

Подход по анализу тренда предполагает дополнительное преобразование значений к десятичному представлению, что позволяет более точно определить принадлежность полученного значения к данным, собранным вокруг него. Данный метод не учитывает соседей по строке, так как при групповых искажениях они также будут ошибочны.

Экспериментальные исследования

Для проведения эксперимента были разработаны соответствующие функции в среде Matlab: формирование вектора передачи, моделирование искажений групповыми помехами, восстановление искажений и преобразование к результирующему изображению [19, 20, 21]. Исследования проводились на наборе ландшафтных изображений (рисунок 2 демонстрирует пример одного из изображений).

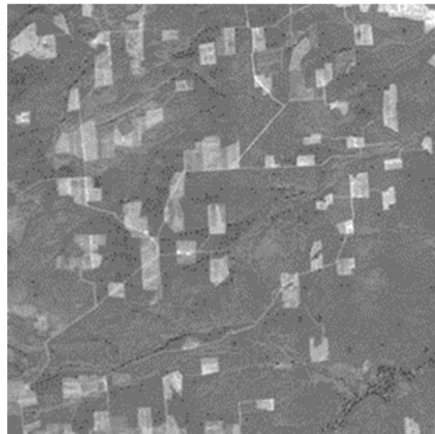


Рисунок 2 – Пример изображения из экспериментального набора

Figure 2 – Example of image from experimental set

На вектор передачи в ходе экспериментов накладывались групповые помехи, вносящие искажения 3-х типов, описанных выше, и попадающие на разные части вектора. Так как вектор сформирован на основе битовых плоскостей, искажения с большей вероятностью попадали на диапазон, соответствующий определенному разряду. Рисунок 3 демонстрирует вид искажений типа комбинированная ошибка для битовой плоскости 6-го и 2-го разряда.

Рисунки 4 и 5 демонстрируют влияние на визуальную составляющую при появлении искажений в разных частях вектора. На рисунках продемонстрирован тип искажения комплексная ошибка. Искажение старшего разряда (рисунок 4, а) особенно заметно как вертикальные полосы искаженных значений пикселей. При восстановлении подходом анализа окрестности на битовой плоскости заметно эффективное устранение искаженных значений, однако можно заметить некоторое расхождение с оттенком соседних пикселей при рассмотрении значений на границе между объектами. Восстановление подходом вычисления тренда соседей позволяет устранить ошибочные биты и на границе между объектами. При искажении битов второго разряда результирующее изображение без восстановления (рисунок 5, а) не имеет выраженных искажений визуальной составляющей, а результаты с применением методов восстановления не влияют на восприятие содержательной части изображения.

Среднее квадратичное отклонение (СКО) принимается за количественную оценку анализа эффективности подходов (таблица 1). Оба метода показывают снижение СКО по сравнению с невозстановленными искажениями. Анализ битовой плоскости дает лучший результат для битовых плоскостей 3-0 разрядов по сравнению с подходом вычисления трендов соседних значений. Битовая плоскость 7-го разряда соответствует знаковому разряду и не имеет тех зависимостей, которые описаны в статье. В связи с этим эффективность восстановления ниже по сравнению с другими плоскостями. Любой подход при попадании искажений на 6-й – 4-й разряд снижает влияние ошибок в 2-3 раза.

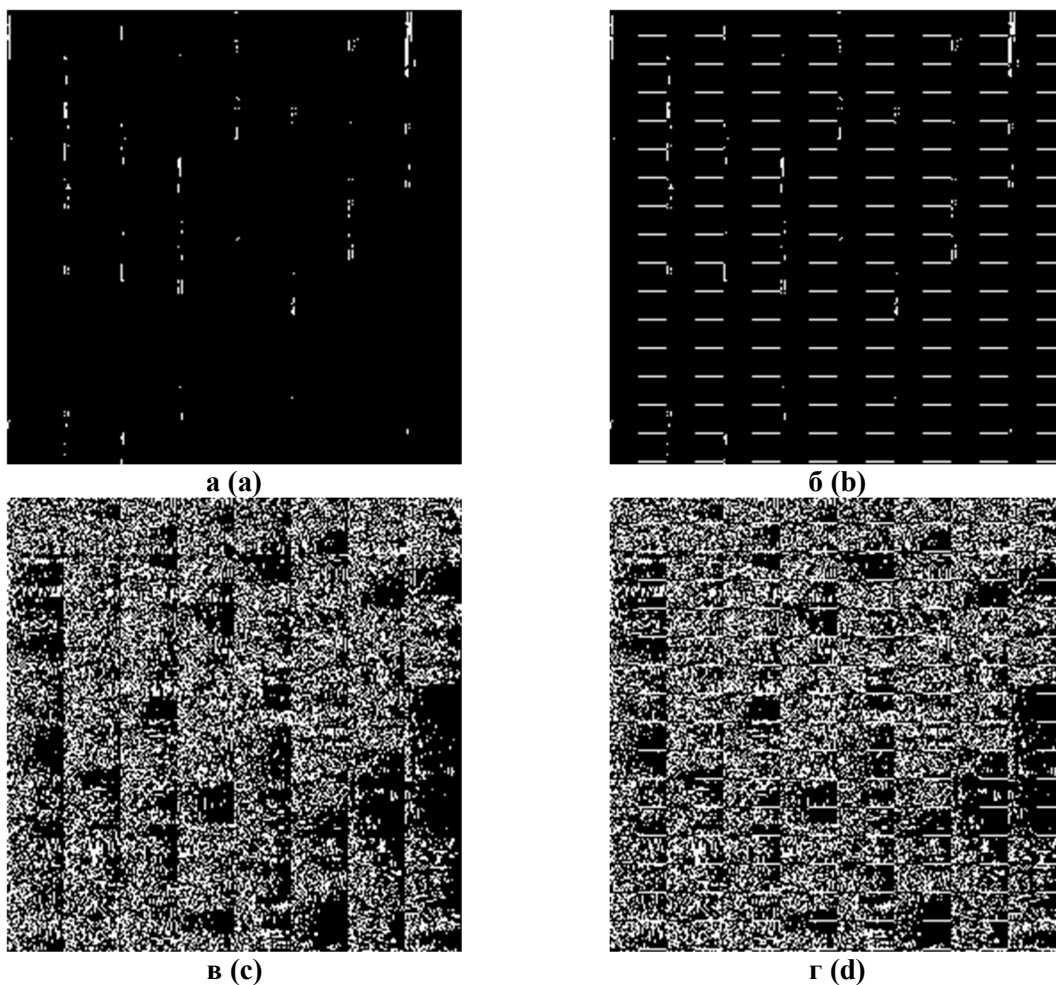


Рисунок 3 – Битовые плоскости: а – исходная плоскость 2-го разряда,
 б – плоскость с искажениями КО 2-го разряда, в – исходная плоскость 6-го разряда,
 г – плоскость с искажениями КО 6-го разряда
 Figure 3 – Bit planes: a – original plane of the 2nd digit, b – plane with distortion by complex error
 of the 2nd digit, c – original plane of the 6th digit, d – plane with distortion by complex error
 of the 6th digit

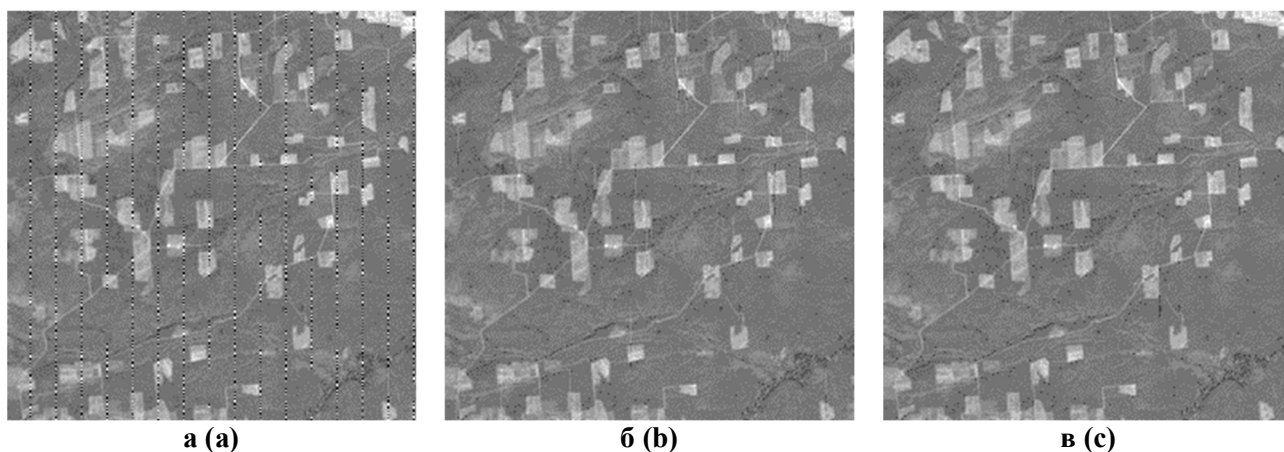


Рисунок 4 – Изображение с искажением в 6-ой плоскости: а – без восстановления (СКО = 13,04),
 б – восстановление анализом окрестности (СКО = 2,39),
 в – восстановление вычислением тренда (СКО = 1,28)
 Figure 4 – Image with distortion in the 6th plane: a – without restoration (MSD = 13,04),
 b – restoration by neighborhood analysis (MSD = 2,39),
 c – restoration by trend calculation (MSD = 1,28)

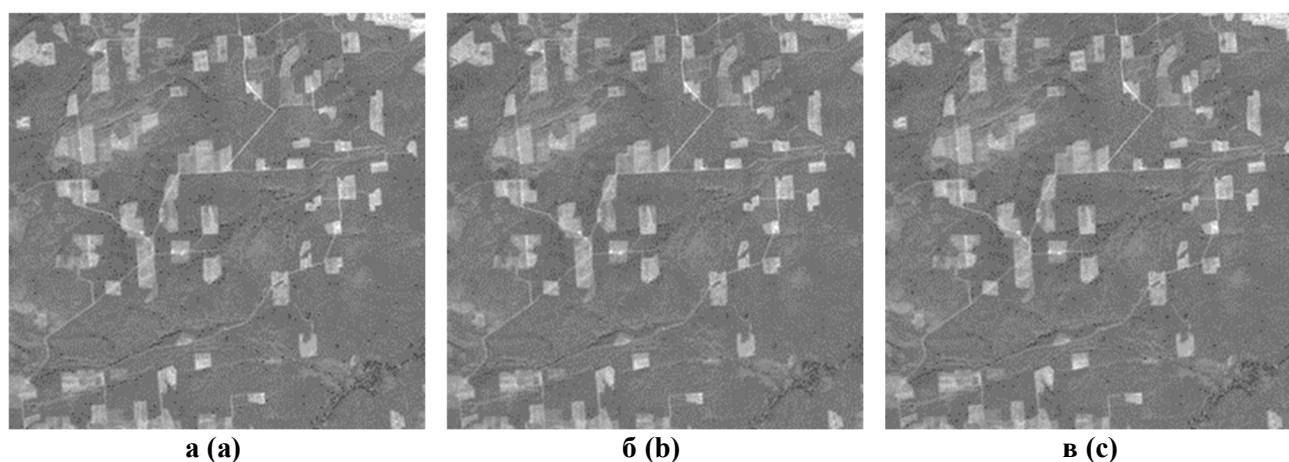


Рисунок 5 – Изображение с искажением во 2-ой плоскости:
а – без восстановления (СКО = 1,83), б – восстановление анализом окрестности (СКО = 1,25),
в – восстановление вычислением тренда (СКО = 2,1)
Figure 5 – Image with distortion in the 2nd plane:
a – without restoration (MSD = 1,83), b – restoration by neighborhood analysis (MSD = 1,25),
c – restoration by trend calculation (MSD = 2,1)

Таблица 1 – СКО принятого изображения с различными типами искажений
Table 1 – MSD of the received image with various types of distortion

Метод восстановления	Тип ошибки	Битовая плоскость							
		7	6	5	4	3	2	1	0
Без восстановления	ИО	8,46	16,04	10,24	5,67	2,93	1,55	0,92	0,68
	ВБ	5,92	1,71	2,04	1,52	1,26	0,97	0,73	0,62
	КО	5,94	13,04	7,81	4,3	2,3	1,83	0,77	0,63
Восстановление методом анализа	ИО	6,06	4,94	3,91	3,19	2,75	1,98	1,23	0,8
	ВБ	5,21	2,39	2,9	2,69	2,45	1,8	1,14	0,76
	КО	5,16	2,39	2,91	2,71	2,5	1,25	1,15	0,77
Восстановление по тренду	ИО	8,46	2,51	2,78	3,04	2,71	2,2	1,51	1,02
	ВБ	5,92	1,28	1,96	2,31	2,29	2,05	1,46	1,01
	КО	5,94	1,28	1,99	2,48	2,44	2,1	1,48	1,02

Другой количественной характеристикой оценки подходов является время выполнения. Для метода анализа битовой плоскости среднее время выполнения восстановления 0,1 секунды, а для метода вычисления тренда – 1,38 секунды. Это связано с данными, с которыми работают методы. Для анализа битовой плоскости необходима матрица одной битовой плоскости. Для вычисления тренда производятся вычисления десятичных значений из исходного вектора передачи, содержащего значения в двоичной представлении.

Заключение

Формирование вектора передачи на основе битовых плоскостей позволяет снизить влияние групповых искажений и необходимость восстановления ошибок при их попадании на конец вектора, содержащего младшие разряды чисел. Подходы к восстановлению групповых искажений позволяют изменять только один разряд числа, что позволяет получить более близкий к исходному значению результат вычислений. Оба метода показывают эффективную работу при различных типах искажений, попадающих в различные диапазоны вектора. Однако каждый из методов имеет преимущества и недостатки по сравнению с другим: метод анализа окрестности бит на битовой плоскости исправляет меньшее количество искажений в сравнении с вычислением тренда соседей, что проявляется в принятом изображении как пиксели, отличные по оттенку от соседних пикселей объекта на изображении, однако данный

подход показывает высокое быстродействие за счет элементарных операций, составляющих его алгоритм выполнения.

Применение подходов восстановления искажений, вносимых групповыми помехами, зависит от конкретной задачи, что сводится к оптимальному решению по быстродействию и качеству выполнения восстановления. Дальнейшие исследования будут направлены на взаимодействие двух подходов с целью увеличения показателей полученных характеристик.

Библиографический список

1. **Леоненко А. В., Колобанов К. А.** Возможности использования дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) в решении геоэкологических задач. // Интенсификация использования и воспроизводства лесов Сибири и Дальнего востока: Материалы Всероссийской научной конференции. Хабаровск, 2021. С. 220-225.
2. **Москвитин А. Э.** Комплексирование видеоинформации от различных систем космического наблюдения Земли // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2020. № 71. С. 108-116.
3. **Вьюгина А. А., Баранова С. Н.** Сравнительный анализ влияния групповых и одиночных помех на вектор передачи, сформированный по принципу битовых плоскостей // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2023: Сборник трудов VI Международного научно-технического форума. Рязань, 2023. С. 122-126.
4. **Злобин В. К., Костров Б. В., Саблина В. А.** Место и роль методов секвентного анализа в обработке аэрокосмических изображений // Радиотехника. 2012. № 3. С. 64-72.
5. **Овечкин Г. В.** Метод декодирования каскадных помехоустойчивых кодов с применением многопороговых алгоритмов // Труды научно-исследовательского института радио. 2011. С. 55-61.
6. **Костров Б. В., Гринченко Н. Н., Хизриева Н. И., Фокина Н. С.** Разработка математической модели процесса передачи ландшафтных изображений через зашумленный канал связи // Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей». 2020;(4):101-107. DOI: 10.38013/2542-0542-2020-4-101-107.
7. **Костров Б. В., Свирина А. Г., Злобин В. К.** Спектральный анализ изображений в конечных базисах [Монография]. М.: Издательство «КУРС». 2016. 172 с.
8. **Залмазон Л. А.** Преобразования Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях. – М.: Наука. Гл.ред.физ.-мат.лит. 1989. 496 с.
9. **Новиков А. И., Пронькин А. В., Шамин Н. О.** Частотный метод фильтрации периодических помех цифровых изображений // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2021. № 78. С. 130-141.
10. **Костров Б. В., Костров В. В., Саблина В. А.** Алгоритм восстановления изображений с периодическими низкочастотными искажениями // Радиотехника. 2009. № 11. С. 92-95.
11. **Костров Б. В.** Особенности формирования аэрокосмических изображений радиотехническими средствами // Проектирование и технология электронных средств. 2011. №1. С. 41-43.
12. **Вьюгина А. А., Гринченко Н. Н., Баранова С. Н.** Исследование битового трафика при передаче ландшафтных изображений // Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2022: сборник трудов V Международного научно-технического форума. Рязань, 2022. С. 111-115.
13. **Гринченко Н. Н., Баранова С. Н., Лобачев М. А., Вьюгина А. А.** Математическая модель процесса передачи изображений на основе битовых плоскостей // Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей». 2023;(1):82-89. DOI: 10.38013/2542-0542-2023-1-82-89.
14. **Ахмед Н., Рао К. Р.** Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов / под ред. И. Б. Фоменко. М.: Связь, 1980. 248 с.
15. **Светлов Г. В., Суменков Н. А., Костров Б. В., Фокина Н. С.** Применение теории дискретных сигналов, определенных на конечных интервалах, для обработки аэрокосмических изображений // Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей». 2017;(3):94-102. DOI: 10.38013/2542-0542-2017-3-94-102.
16. **Светлов Г. В., Суменков Н. А., Костров Б. В., Гринченко Н. Н., Трушина Е. А.** Построение ортогонального базиса на основе псевдослучайных последовательностей // Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей». 2020;(4):95-100. DOI: 10.38013/2542-0542-2020-4-95-100.
17. **Костров Б. В., Бастрычкин А. С., Костров Б. А., Степанов Д. С.** Протокол передачи изображений по каналу связи // Интеллектуальные и информационные системы: материалы Всероссийской научно-технической конференции. Тульский государственный университет. 2016. С. 220-225.

18. **Костров Б. В., Лукина Н. В.** Протокол передачи с квантованием бинарных изображений // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2019. С. 142-148.
19. **Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С.** Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. М.: Техносфера, 2006. 616 с.
20. **Сизиков В. С.** Обратные прикладные задачи и MatLab: учебное пособие / В. С. Сизиков. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. 256 с.
21. **Алибеков И. Ю.** Теория вероятностей и математическая статистика в среде MATLAB: учебн. пособие для вузов / И. Ю. Алибеков. 2-е изд., стер. Санкт-Петербург: Лань, 2021. 184 с.

UDC 004.932.4

ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF METHODS FOR RESTORING GROUP DISTORTIONS ON BIT PLANES

B. V. Kostrov, Dr. Sc. (Tech.), full professor, Head of the Department of Electronic Computers, RSREU, Ryazan, Russia;

orcid.org/0000-0002-2984-4480, e-mail: kostrov.b.v@evm.rsreu.ru

A. I. Baranchikov, Dr. Sc. (Tech.), associate professor, Professor of the Department of Electronic Computers, RSREU, Ryazan, Russia;

orcid.org/0000-0003-4133-7489, e-mail: alexib@inbox.ru

N. N. Grinchenko, Ph.D. (Tech.), associate professor, department of Electronic Computers, RSREU, Ryazan, Russia;

orcid.org/0000-0003-2318-276X, e-mail: grinchenko_nn@mail.ru

A. A. Vyugina, post-graduate student, lecturer, department of Electronic Computers, RSREU, Ryazan, Russia;

orcid.org/0000-0002-0087-5988, e-mail: vyugina.an.a@gmail.com

S. N. Baranova, post-graduate student, assistant, department of Electronic Computers, RSREU, Ryazan, Russia;

orcid.org/0009-0005-6557-5192, e-mail: baranova.sv.n@gmail.com

Currently, images make up most of the transmitted information that needs to be stored and processed. The aim of the work is to compare the approaches of restoring the values of transmission vector distorted by group interference, formed on the basis of bit planes, by analyzing the neighborhood of bits on bit plane and calculating the trend of neighboring values. The task of the study includes modeling of data transmission with a vector formed on the basis of bit planes, theoretical study of approaches to distortion recovery and conducting an experiment. As a result of the experimental part, it was found that the method of analyzing the neighborhood of bits on bit plane has high speed, but determines distorted bits worse than the method of calculating the tendency of neighbors. At the same time, both approaches give the result sufficient for visual perception of content part. Artifacts that occur during restoration do not have strong impact on obtaining information about an image.

Keywords: image processing, group distortion, transmission vector, recovery, bit plane, Walsh transform, Matlab, spatial representation, spatial spectral representation.

DOI: 10.21667/1995-4565-2023-85-139-148

References

1. **Leonenko A. V., Kolobanov K. A.** Vozmozhnosti ispol'zovaniya distancionnogo zondirovaniya zemli (DZZ) v reshenii geojekologicheskikh zadach. *Intensifikacija ispol'zovaniya i vosпроизводства лесов сибирского востока. Материалы Всероссийской научной конференции*, Habarovsk, 2021, pp. 220-225. (in Russian).
2. **Moskvitin A. Je.** Kompleksirovanie videoinformacii ot razlichnykh sistem kosmicheskogo nabljudeniya zemli. *Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta*. 2020, no. 71, pp. 108-116. (in Russian).
3. **V'yugina A. A., Baranova S. N.** Sravnitel'nyj analiz vlijanija gruppovykh i odinochnykh pomех na vektor peredachi, sformirovannyj po principu bitovykh ploskostej. *Sovremennye tehnologii v nauke i obra-*

zovanii – STNO-2023. *Sbornik trudov VI Mezhdunarodnogo nauchno-tehnicheskogo foruma*, Rjazan'. 2023, pp. 122-126. (in Russian).

4. **Zlobin V. K., Kostrov B. V., Sablina V. A.** Mesto i rol' metodov sekventnogo analiza v obrabotke ajerokosmicheskikh izobrazhenij. *Radiotekhnika*. 2012, no. 3, pp. 64-72. (in Russian).

5. **Ovechkin G.V.** Metod dekodirovaniya kaskadnyh pomehoustojchivyyh kodov s primeneniem mnogo-porogovyh algoritmov. *Trudy nauchno-issledovatel'skogo instituta radio*. 2011, pp. 55-61. (in Russian).

6. **Kostrov B. V., Grinchenko N. N., Hizrieva N. I., Fokina N. S.** Razrabotka matematicheskoy modeli processa peredachi landshaftnyh izobrazhenij cherez zashumlennyy kanal svyazi. *Vestnik Koncerna VKO «Almaz – Antej»*, 2020, no. 4, pp. 101-107. (in Russian). DOI: 10.38013/2542-0542-2020-4-101-107

7. **Kostrov B. V., Svirina A. G., Zlobin V. K.** *Spektral'nyj analiz izobrazhenij v konechnykh bazisah* [Monografiya]. Moscow: Izdatel'stvo «KURS». 2016, 172 p. (in Russian).

8. **Zalmazov L. A.** *Preobrazovaniya Fur'e, Uolsha, Haara i ih primeneniye v upravlenii, svyazi i drugih oblastyah*. Moscow: Nauka. Gl.red.fiz.-mat.lit. 1989, 496 p. (in Russian).

9. **Novikov A. I., Pron'kin A. V., Shamin N. O.** Chastotnyj metod fil'tracii periodicheskikh pomeh cifrovyyh izobrazhenij. *Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta*. 2021, no. 78, pp. 130-141. (in Russian).

10. **Kostrov B. V., Kostrov V. V., Sablina V. A.** Algoritm vosstanovleniya izobrazhenij s periodicheskimi nizkochastotnymi iskazheniyami. *Radiotekhnika*. 2009, no. 11, pp. 92-95. (in Russian).

11. **Kostrov B. V.** Osobennosti formirovaniya ajerokosmicheskikh izobrazhenij radiotekhnicheskimi sredstvami. *Proektirovanie i tekhnologiya jelektronnyh sredstv*. 2011, no. 1, pp. 41-43. (in Russian).

12. **V'jugina A. A., Grinchenko N.N., Baranova S.N.** Issledovanie bitovogo trafika pri peredache landshaftnyh izobrazhenij. *Sovremennye tekhnologii v nauke i obrazovanii – STNO-2022. Sbornik trudov V Mezhdunarodnogo nauchno-tehnicheskogo foruma*, Rjazan'. 2022, pp. 111-115. (in Russian).

13. **Grinchenko N. N., Baranova S. N., Lobachev M. A., V'jugina A. A.** Matematicheskaja model' processa peredachi izobrazhenij na osnove bitovyh ploskostej. *Vestnik Koncerna VKO «Almaz – Antej»*, 2023, no. 1, pp. 82-89. (in Russian). <https://doi.org/10.38013/2542-0542-2023-1-82-89>

14. **Ahmed N., Rao K. R.** *Ortogonal'nye preobrazovaniya pri obrabotke cifrovyyh signalov* / pod red. I. B. Fomenko. Moscow: Svyaz'. 1980. 248 p.

15. **Svetlov G. V., Sumenkov N. A., Kostrov B. V., Fokina N. S.** Primeniye teorii diskretnykh signalov, opredelennykh na konechnykh intervalah, dlja obrabotki ajerokosmicheskikh izobrazhenij. *Vestnik Koncerna VKO «Almaz – Antej»*, 2017, no 3, pp. 94-102. (in Russian). DOI: 10.38013/2542-0542-2017-3-94-102.

16. **Svetlov G. V., Sumenkov N. A., Kostrov B. V., Grinchenko N. N., Trushina E. A.** Postroenie orto-gonal'nogo bazisa na osnove psevdosluchajnykh posledovatel'nostej. *Vestnik Koncerna VKO «Almaz – Antej»*, 2020, no. 4, pp. 95-100. (in Russian). DOI: 10.38013/2542-0542-2020-4-95-100.

17. **Kostrov B. V., Bastrychkin A. S., Kostrov B. A., Stepanov D.S.** Protokol peredachi izobrazhenij po kanalu svyazi. *Intellektual'nye i informacionnye sistemy: Materialy Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii. Tul'skij gosudarstvennyj universitet*. Tula, 2016, pp. 220-225. (in Russian).

18. **Kostrov B. V., Lukina N. V.** Protokol peredachi s kvantovaniem binarnykh izobrazhenij. *Izvestija tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki*. 2019, pp. 142-148. (in Russian).

19. **Gonsales R., Vuds R., Jeddins S.** *Cifrovaja obrabotka izobrazhenij v srede MATLAB*. Moscow: Tehnosfera. 2006, 616 p.

20. **Sizikov V. S.** *Obratnye prikladnye zadachi i MatLab: uchebnoe posobie* / V. S. Sizikov. Saint Petersburg: Lan'. 2022, 256 p. (in Russian).

21. **Alibekov I. Ju.** *Teorija verojatnostej i matematicheskaja statistika v srede MATLAB: uchebnoe posobie dlja vuzov* / I. Ju. Alibekov. 2-e izd., ster. Saint Petersburg: Lan'. 2021, 184 p. (in Russian).