

На правах рукописи



Вьюгина Ангелина Алексеевна

**МЕТОД И АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ЛАНДШАФТНЫХ
ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ
ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ**

Специальность: 2.3.8. Информатика и информационные процессы
(технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань 2023

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина» на кафедре «Электронные вычислительные машины».

Научный руководитель: **Костров Борис Васильевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электронные вычислительные машины» ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина»

Официальные оппоненты: **Приоров Андрей Леонидович**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры цифровых технологий и машинного обучения ФГБОУ ВО «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова»

Пролетарский Андрей Викторович, доктор технических наук, профессор, декан факультета «Информатика и системы управления» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Защита диссертации состоится «27» декабря 2023 г. в 11:00 ч на заседании диссертационного совета 99.2.113.02 в ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина» по адресу: 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина, на сайте <http://rsreu.ru/> и в научной библиотеке ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет».

Автореферат разослан «__» _____ 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, доцент



А.Н. Колесников

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Стремительное развитие технических средств дистанционного мониторинга на базе спутников и беспилотных летательных аппаратов приводит к эффекту конверсии технологии и проникновения результатов их деятельности в различные отрасли: предупреждение чрезвычайных ситуаций, сельское и лесное хозяйство, сфера военной и разведывательной деятельности. Применение видеотехнологий позволяет получить однородную и объективную информацию одновременно для обширных территорий, что практически недостижимо при любых земных обследованиях. Особое значение подобный вид информации приобретает в настоящее время в связи с необходимостью получения качественной информации, используемой для обновления топографических карт, контроля точности привязки боевых порядков ракетных войск и артиллерии, создания специальных карт и макетов местности и организации информационного обеспечения войск. Однако такие данные наиболее чувствительны к появляющимся во время передачи помехам, которые возникают вследствие различных причин, в том числе сбоя работы аппаратуры, близости с другим устройством, передающим сигнал в том же диапазоне частот, а также от природных явлений, например электромагнитного импульса, происходящего при возникновении молнии. Все эти факторы приводят к искажению визуальной составляющей, которая может сильно повлиять на восприятие содержащейся информации. Поэтому проблема передачи изображений с минимальной потерей информативности является одной из значимых.

При потере информативности возникает необходимость защиты данных от влияния искажений и восстановления исходной последовательности данных, соответствующий передаваемому изображению. Известные на сегодняшний момент времени методы представления изображений делятся на пространственные и пространственно-спектральные, использование последних удобно для проведения исследований, поскольку в процессе спектральных преобразований возникают информационные связи между отдельными элементами вектора передачи данных.

В данном исследовании акцент сделан на формирование вектора передачи, позволяющего достичь сохранения информативности изображений при передаче по каналу связи с помехами.

Степень проработанности темы исследования. В настоящее время проблема восстановления изображений, передаваемых по каналу связи, чаще решается применением методов обработки изображений и помехоустойчивого кодирования. Существенный вклад в развитие методов цифровой обработки изображений внесли У. Прэтг, Р. Гонзалес, В.К. Злобин, А.М. Трахтман, В.В. Еремеев, А.Э. Москвитин, Я.А. Фурман. Восстановление искаженных помехами значений в пространственной и пространственно-спектральной областях рассматривали В.К. Злобин, А.И. Новиков, А.Г. Свирина. В области помехоустойчивого кодирования широко известны работы таких ученых, как Фано Р.М., Форни Г.Д., Берлекэмп Э.Р., Хемминг Р.У., Рид И.С., Соломон Г.М.,

Золотарев В.В., Овечкин Г.В., и многих других, которые сформировали и развили теорию помехоустойчивого кодирования.

На данный момент разработано множество методов и алгоритмов восстановления изображений. Проблема выбора алгоритма кодирования для конкретного канала передачи информации пока не решена. Все существующие алгоритмы можно разделить на две категории: восстановление в пространственной и пространственно-спектральной областях. В результате работы модуля кодирования битовых последовательностей, в которых сгруппированы значения разрядов, добавляются избыточные символы. Избыточные символы служат для определения и исправления помех, которые могут возникнуть в канале связи. Применение циклических кодов улучшает достоверность передачи информации. Количество избыточных битов (степень кодирования) логично варьировать в зависимости от числа ошибок в канале, то есть использовать адаптивное кодирование.

Задача восстановления искаженных значений обычно решается методами, работающими с пространственными представлениями изображений, то есть со значениями яркости. Переход в пространственно-спектральное представление осуществляется за счет преобразования Фурье, которое имеет большую вычислительную сложность в сравнении с преобразованием Уолша – Адамара. Все методы восстановления основаны на полной замене искаженного значения, что имеет меньшую гибкость к приближению к исходному значению.

Цель диссертационной работы заключается в разработке и исследовании метода и алгоритмов обеспечения помехоустойчивости и восстановления изображений, передаваемых по цифровому каналу с помехами и обеспечивающих улучшение визуального качества изображения с уменьшением информационной нагрузки на канал.

Научная задача заключается в разработке метода передачи данных, основанного на формировании вектора передачи, построенного по битовым плоскостям в пространственно-спектральном представлении с учетом битозависимости значений матрицы яркостей изображения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **основные задачи**:

1. Провести сравнительный анализ систем передачи изображений в пространственном и пространственно-спектральном представлении.

2. Разработать модель представления изображений в виде битовых плоскостей, которая учитывает битозависимость передачи данных и распределения ошибок, приводящих к искажению.

3. Разработать метод восстановления и повышения надежности передачи данных, основанный на предложенной модели, и реализуемый следующими алгоритмами:

- алгоритм восстановления изображений на основе анализа соседних бит;
- алгоритм восстановления изображений на основе вычисления закономерностей соседних значений;

– алгоритм помехоустойчивого кодирования с учётом представления изображений в виде битовых плоскостей.

4. Разработать программный стенд для моделирования и апробации разработанных алгоритмов и методов.

Объектом исследований являются цифровые каналы передачи изображений, в которых возникают помехи и шумы.

Предметом исследований является совершенствование методов и алгоритмов устранения искажений передаваемых данных.

Методы исследования. В данной диссертационной работе использовались методы спектрального анализа, теории вероятностей и математической статистики, линейной алгебры. Данные теоретические методы и алгоритмы сочетались с экспериментальными исследованиями на реальных изображениях.

Научная новизна полученных в диссертационной работе результатов заключается в следующем:

1. Разработана модель представления изображений в виде битовых плоскостей, которая учитывает битозависимость передачи данных и распределения ошибок, приводящих к искажению.

2. Разработан метод восстановления и повышения надежности передачи данных, основанный на разработанной модели, и реализованный следующими алгоритмами:

- алгоритм восстановления изображений на основе анализа соседних бит;
- алгоритм восстановления изображений на основе вычисления закономерностей соседних значений;
- алгоритм помехоустойчивого кодирования с учётом представления изображений в виде битовых плоскостей.

Соответствие паспорту специальности. Проблематика, исследованная в диссертационной работе, соответствует областям исследований 3, 4 паспорта специальности 2.3.8. Информатика и информационные процессы.

Достоверность и обоснованность результатов обусловлены корректным применением теории цифровой обработки изображений и помехоустойчивого кодирования, теории вероятности и математической статистики, а также подтверждением теоретических результатов экспериментально полученными данными.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Модель передачи изображений на основе битовых плоскостей, позволяющая учитывать вес значения в пространственном и пространственно-спектральном представлении.

2. Метод восстановления и повышения надежности передачи данных, основанный на разработанной модели, и реализованный следующими алгоритмами:

- алгоритм восстановления изображений на основе анализа соседних бит, позволяющий снизить вычислительную нагрузку за счет рассмотрения отдельных

разрядов и позволяющий восстановить 89 % искаженных бит на плоскости 6-го разряда и на 94 % в плоскостях от второго до пятого разрядов числа;

– алгоритм восстановления изображений на основе вычисления закономерностей соседних значений, позволяющий эффективно определять наличие искаженного значения в разряде за счет анализа попадания в тренд, задаваемый соседними значениями исследуемого элемента, и позволяющий восстановить 93 % искаженных бит в старших плоскостях.

– алгоритм помехоустойчивого кодирования, позволяющий снизить избыточность информационного сообщения за счет кодирования битовых плоскостей только значащих старших разрядов и увеличивающий кодовую скорость на 12.5 %.

Внедрение результатов исследования. Разработанные положения и результаты диссертационной работы в виде модели представления на основе битовых плоскостей, методов и алгоритмов обеспечения надежной передачи информации внедрены в научно-исследовательскую и опытно-конструкторскую деятельность ООО «Научно-технический центр «Информатики и систем управления МВТУ», а также в учебный процесс кафедры ЭВМ Рязанского государственного радиотехнического университета имени В.Ф. Уткина для дисциплин «Методы и алгоритмы обработки изображений» направления подготовки 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника» и «Теория информации» направления подготовки 02.04.03 «Математическое обеспечение и администрирование информационных систем».

Апробация работы. Результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

1. XVI Международная конференция молодых ученых в области программной инженерии (SYRCoSE - Spring/Summer Young Researchers' Colloquium on Software Engineering), г. Пенза, 2023 г.

2. 8-я МНТК «В.Ф. Уткин – 100 лет со дня рождения. Космонавтика. Радиоэлектроника. Геоинформатика», г. Рязань, 2023 г.

3. Научно-технический семинар «Информационная поддержка процессов эксплуатации комплексов военного назначения», г. Ярославль, 2023 г.

4. VII научно-техническая конференция для специалистов организаций, входящих в АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей», профильных организаций, НИИ и вузов, г. Москва, 2022 г.

5. VI, V, IV Международный научно-технический форум «Современные технологии в науке и образовании» (СТНО), г. Рязань, 2023, 2022, 2021 гг.

6. 10th, 8th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO), г. Будва, Черногория, 2021, 2019 гг.

Публикации. Основные теоретические и практические результаты исследования были изложены в 19 публикациях, среди которых 4 статьи в журналах, включенных в перечень ВАК, 5 статей в журналах, включенных в базу данных Scopus, 8 статей и тезисов докладов внутривузовских, всероссийских и

международных конференций, 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка использованной литературы. Основной текст работы содержит 132 страницы, 76 рисунков и 10 таблиц. Список использованной литературы включает 87 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении была обоснована актуальность изучаемой темы, определены объект, предмет, цель и задачи исследования, описаны методы исследования, выделена научная новизна. Представлены основные положения, выносимые на защиту. Описана степень достоверности и апробация полученных результатов.

В первой главе рассматриваются подходы к представлению изображений: пространственное представление, в котором матрицу составляют значения яркости, и пространственно-спектральное, в котором матрица состоит из значений спектральных составляющих, полученных в ходе преобразования Уолша. Описан подход к формированию вектора передачи на основе битовых плоскостей, идея которого заключается в группировке битов по разрядам. Глава содержит описание различных типов ошибок, которые могут возникнуть в процессе передачи по каналу связи.

Цифровое изображение может быть определено дискретным массивом чисел, которые составляют матрицу \mathbf{G} размером $M \times N$. В настоящее время стандартно использование равномерного шага дискретизации для цифрового изображения, с помощью которого представляются значения элементов матрицы \mathbf{G} в виде двоичного кода из 8 разрядов, что соответствует 8 битам или 256 уровням разбиения области $[0, f_{\max}]$.

Переход от системы синусоидальных функций к более общим системам ортогональных, в частности кусочно-постоянных, функций дает определенные упрощения в математическом представлении сигналов. Наибольшее распространение для применения получило обобщенное преобразование Уолша – Адамара, которое основано на функциях Уолша. Функции Уолша принимают только два значения: +1 и -1. Преобразование $(WH)_w$ некоторого вектора $\mathbf{X}=(X_0, X_1, \dots, X_{N-1})$ можно определить из матричного уравнения (1), результатом которого будет спектр:

$$\mathbf{F}^X = \frac{1}{N} \mathbf{H}^w \mathbf{X}, \quad (1)$$

где F^X – коэффициент $(WH)_w$, $\mathbf{F}^X = (B_0^x, B_1^x, \dots, B_{N-1}^x)$ – вектор-столбец коэффициентов $(WH)_w$; \mathbf{H}^w – матрица Адамара $N \times N$, упорядоченная по Уолшу.

Так как матрица \mathbf{H}^w ортогональная и симметричная, то обратное преобразование $(IWH)_w$ записывается как:

$$\mathbf{X} = \mathbf{H}^w \mathbf{F}^X. \quad (2)$$

Формирование вектора передачи в пространственно-спектральной форме может быть представлено двумя способами:

– последовательно, когда элементы матрицы записываются в вектор в двоичном представлении друг за другом;

– на основе битовых плоскостей, когда элементы матрицы разделяются на основе разрядов и составляют вектор от плоскости старшего разряда к младшему разряду.

Для формирования вектора передачи данных необходимо представить пространственно-спектральный вид матрицы в двоичном представлении: одно значение будет храниться в 8-битном представлении. При переходе к пространственно-спектральному представлению учитываются все значения вектора, поэтому для снижения итогового значения исходная матрица разделяется на блоки размером 32x32:

$$\mathbf{F} = \begin{pmatrix} \mathbf{F}_{1,1} & \cdots & \mathbf{F}_{1,\frac{N}{n}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{F}_{\frac{N}{n},1} & \cdots & \mathbf{F}_{\frac{N}{n},\frac{N}{n}} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

где \mathbf{F} – матрица в пространственно-спектральном представлении, $\mathbf{F}_{i,j}$ – подматрица размером 32x32, N – количество пикселей, n – количество блоков 32x32.

Для формирования вектора на основе битовых плоскостей необходимо провести этап разделения исходной матрицы на отдельные матрицы, соответствующие разрядам числа:

$$\mathbf{V}_{N \times N}^k = \begin{pmatrix} b_{1,1}^k & \cdots & b_{1,N}^k \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{N,1}^k & \cdots & b_{N,N}^k \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где \mathbf{V} – матрица битовой плоскости, $N \times N$ – размер матрицы спектра, $b_{i,j}^k$ – значение разряда k двоичного числа элемента (i,j) , k – разряд двоичного числа, $k = \overline{0,7}$, (i,j) – индексы положения пикселя в матрице изображения, $i = \overline{1,N}$; $j = \overline{1,N}$.

После преобразования от пространственной формы изображения объем данных не изменяется (методическая ошибка преобразования не более 0.6-0.8 СКО), однако появляется взаимосвязь между элементами матрицы, которая может позволить производить обработку данных, основываясь на соседних значениях матрицы.

Вектор передачи, сформированный на основе битовых плоскостей, содержит последовательность битов по уменьшению их разрядов: в начале вектора сгруппированы значения старшей битовой плоскости и так далее до 0-го разряда:

$$\mathbf{V}_{1 \times (M \times N \times 8)} = (b_{1,1}^7, b_{1,2}^7, \dots, b_{N,N}^7, b_{1,1}^6, \dots, b_{N,N}^6, \dots, b_{1,1}^0, \dots, b_{N,N}^0), \quad (5)$$

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

При передаче вектора данных в канале связи могут возникать помехи, отражающиеся в искажении передаваемых данных. В общем случае виды искажений можно разделить на 2 категории:

1. Групповые искажения проявляются как множество последовательных искаженных элементов, которые могут характеризоваться либо полной потерей части данных, либо наложением мешающего сигнала.

2. Одиночные искажения воспринимаются как отдельные яркие или темные точки на изображении.

Одиночные искажения представляют собой изменение значения бита на 0 или 1 случайным образом, что описывается выражением:

$$\hat{V} = \begin{cases} b_i \text{ с вероятностью } 1 - (P_1 + P_2), \\ 0 \text{ с вероятностью } P_1, \\ 1 \text{ с вероятностью } P_2, \end{cases} \quad (6)$$

где \hat{V} – искаженный вектор передачи, b_i – значение элемента i в векторе, i – индекс положения элемента в векторе, P_1 и P_2 – вероятность искажения элемента, $0 \leq (P_1 + P_2) \leq 1$.

Искажение последовательности бит, приводящие к возникновению групповых искажений в процессе передачи по каналам связи, может происходить по-разному:

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

$$\hat{V} = \begin{cases} b_i \text{ для последовательности } n \text{ с вероятностью } 1 - P, \\ \bar{b}_i \text{ для последовательности } n \text{ с вероятностью } P, \end{cases} \quad (7)$$

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 последовательность значений «0»:

$$\hat{V} = \begin{cases} b_i \text{ для последовательности } n \text{ с вероятностью } 1 - P, \\ 0 \text{ для последовательности } n \text{ с вероятностью } P, \end{cases} \quad (8)$$

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 некоторое количество значений «0», сменяющихся некоторым количеством значений «1»:

$$\hat{V} = \begin{cases} b_i \text{ для последовательности } n \text{ с вероятностью } 1 - P, \\ e \text{ для последовательности } n \text{ с вероятностью } P, \end{cases} \quad (9)$$

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, $0 \leq P \leq 1$.

В зависимости от зоны попадания искажения на вектор передачи его влияние на принятые данные может быть больше или меньше.

Во второй главе проведены анализ и разработка методов восстановления значений, искаженных групповой ошибкой. В ходе анализа рассматриваются линейные и нелинейные методы. Разработанные алгоритмы основаны на изменении одного из разрядов числа, определение искажений производится либо по анализу соседних бит, либо по вычислению закономерностей соседних значений.

Интенсивность шумов влияет на информативность данных и возможность их дальнейшего использования. В связи с этим появляется задача ослабления действия помех, то есть восстановления искаженных значений, при котором значение яркости пикселя принятого изображения заменяется некоторым другим значением, определяемым как наиболее близкое к неискаженному значению.

Восстановление искаженных значений в пространственном представлении подразумевает переход вычисления от пикселя к пикселю по предварительно заданной функции. Для линейных методов вычисление представляет собой сумму произведений весов матрицы функции на значения пикселей в окрестности. В общем случае линейные методы восстановления можно описать выражением:

$$g_{ij} = \sum_{x=i-k}^{i+k} \sum_{y=j-k}^{j+k} g_{xy} * F(x, y), \quad (10)$$

где g_{ij} – новое значение яркости пикселя, i, j – координаты пикселя, $k = \frac{\sqrt{n}-1}{2}$ – радиус окрестности, n – количество элементов окрестности, $F(x, y)$ – функция восстановления.

Распространенный пример нелинейных методов – билатеральный фильтр, вычисленное значение пикселя которого составляет взвешенную сумму интенсивностей окрестности пикселя. Вес каждой точки изменяется в зависимости от пространственного и рангового веса. Вычисление значения яркости пикселя производится в соответствии с формулой:

$$g_{ij} = \frac{\sum_{x=i-k}^{i+k} \sum_{y=j-k}^{j+k} g_{xy} * w_{xy}}{\sum_{x=i-k}^{i+k} \sum_{y=j-k}^{j+k} w_{xy}}, \quad (11)$$

где g_{ij} – новое значение яркости пикселя, i, j – координаты пикселя, $k = \frac{\sqrt{n}-1}{2}$ – радиус окрестности, n – количество элементов окрестности, w_{xy} – весовой коэффициент фильтра, вычисляемый по формуле:

$$w_{xy} = e^{-\frac{x^2+y^2}{2k^2}} * e^{-\frac{(g_{(i+x)(j+y)} - g_{ij})^2}{2d^2}}, \quad (12)$$

где g_{ij} – исходное значение яркости изменяемого пикселя, i, j – координаты пикселя, $k = \frac{\sqrt{n}-1}{2}$ – радиус окрестности, n – количество элементов окрестности, x, y – смещение в пространстве матрицы от исследуемого пикселя, d – параметр, определяющий весовую функцию, e – основание натурального логарифма.

Группа нелинейных фильтров позволяет достичь меньшего сглаживания границ объектов, однако обладает более высокой вычислительной сложностью по

сравнению с линейными фильтрами и низкой эффективностью при групповых искажениях.

Исследуемая модель передачи данных строится на группировке разрядов двоичного представления значений матрицы изображения, что позволяет обрабатывать и изменять отдельную битовую плоскость.

Анализ соседних бит отдельной битовой плоскости базируется на зависимости вида битовых плоскостей при разных представлениях:

1. Битовые плоскости пространственного представления отображают границы и силуэты объектов изображения.

2. Битовые плоскости пространственно-спектрального представления с увеличением разряда элемента образуют скопление значений в левой части плоскости, что соответствует распределению спектральных составляющих.

Выражение (13) описывает изменение бита на битовой плоскости при методе анализа соседних бит.

$$b'_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{если } b_{i,j-1} = 0 \text{ и } b_{i,j+1} = 0 \text{ и } \text{sum}(i-1:i+1, j-1:j+1) > 3 \\ 0, & \text{если } b_{i,j-1} = 1 \text{ и } b_{i,j+1} = 1 \text{ и } \text{sum}(i-1:i+1, j-1:j+1) = 0 \end{cases} \quad (13)$$

где i, j – расположение бита, $b'_{i,j}$ – новое значение бита.

Для пространственно-спектрального представления к рассмотрению берется окрестность 3×2 , так как значения спектральных составляющих имеют тенденцию к уменьшению к концу последовательности, а значит, появление справа битов «1» с большей вероятностью будет являться искажением вектора.

Описанный выше подход к исправлению групповых ошибок на основе анализа соседних бит битовой плоскости позволяет производить восстановление до перехода к десятичному представлению значений и изменять только один разряд от всего числа.

Другой подход, основанный на разделении значений на битовые плоскости, базируется на вычислении закономерностей соседних значений исследуемого элемента.

Определение нового значения включает следующие шаги:

1. Для искаженного бита выбрать соседние значения по строкам (выше и ниже) и вычислить среднее арифметическое.

2. Перевести из двоичной системы счисления искаженное значение в десятичную систему счисления.

3. Анализ вхождения в закономерность соседних значений элемента, который исследуется на подходящее значение.

4. Исправление бита в плоскости на противоположный, если значение с ошибкой не вписывается в закономерность, заданную его соседями.

Вхождение значения в закономерность его соседей определяется отношением значения с ошибкой к среднеарифметическому значению его соседей:

$$trend = \frac{f(i,j)}{\frac{(f_{(i-1,j)} + f_{(i+1,j)})}{2}}, \quad (14)$$

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

Выражение (15) описывает условия изменения разряда на битовой плоскости методом вычисления закономерности соседних значений.

$$b'_{i,j} = \begin{cases} b_{i,j}, & \text{если } 1 < trend < trend', \\ \overline{b_{i,j}}, & \text{если } 1 < trend' < trend, \end{cases} \quad (15)$$

где i,j – расположение бита, $b'_{i,j}$ – новое значение бита, $trend$ – вычисленная закономерность для исходных данных, $trend'$ – вычисленная закономерность при измененном разряде.

Таблица 1 содержит значения СКО для различных методов восстановления изображений с ошибками, накладываемыми на разные битовые плоскости. Значение разряды числа на старших плоскостях эффективно восстанавливаются описанными методами.

Таблица 1 – СКО восстановленного изображения пространственно-спектрального представления

Метод восстановления	Тип ошибки	Битовая плоскость							
		7	6	5	4	3	2	1	0
Без восстановления	ИО	8.83	17.21	9.93	5.55	3.06	1.81	1.31	1.15
	ПБ	7.15	2.45	2.02	1.79	1.53	1.29	1.17	1.12
	КО	7.14	13.13	7.5	4.28	2.43	1.53	1.22	1.13
Восстановление методом анализа	ИО	6.57	4.62	4.04	3.99	3.06	2.09	1.49	1.22
	ПБ	5	2.09	3.19	3.52	2.79	1.95	1.42	1.2
	КО	4.92	2.09	3.2	3.55	2.83	1.97	1.43	1.2
Восстановление методом вычисления закономерностей	ИО	8.83	3.33	4.27	4.33	3.66	2.63	1.8	1.38
	ПБ	7.15	2.33	2.81	3.59	3.37	2.53	1.77	1.37
	КО	7.13	2.36	3.06	3.86	3.49	2.57	1.78	1.38

В третьей главе рассматривается алгоритм кодирования битовых плоскостей помехоустойчивым кодом Рида – Соломона, который позволяет исправлять пакетные ошибки. Проведено исследование применения метода при добавлении проверочных символов к строке и к столбцу.

Многие телекоммуникационные и компьютерные системы передачи данных используют пакетную форму передачи цифровой информации. Так как в каналах передачи и, в частности, в задачах обработки изображений – множество элементов конечно, то целесообразно использовать циклические коды Рида-Соломона, которые представляют из себя элементы поля Галуа. Эти коды позволяют исправлять не только несколько одиночных ошибок, но и пакеты ошибок.

Циклические коды Рида – Соломона (коды РС) представляют из себя недвоичные циклические коды Боуза – Чоудхури – Хоквингема (коды БЧХ),

символы которых представляют собой элементы поля Галуа $GF(q)$, где $q = 2^m$ – порядок поля, m – степень поля Галуа.

Коды РС (n, k) определены на всех m -битовых символах при всех n и k , для которых верно неравенство:

$$0 < k < n \leq 2^m - 1, \quad (16)$$

где k – число информационных символов, подлежащих кодированию, а n – число кодовых символов в кодируемом блоке. Для большинства (n, k) кодов РС формирование происходит следующим образом:

$$(n, k) = (q - 1, q - 1 - 2t), \quad (17)$$

где t – количество ошибок, исправляемых кодом, $n - k = 2t = r$ – число контрольных символов.

Преимуществом кода РС является минимальное кодовое расстояние в сравнении с другими линейными кодами с одинаковыми n и k . Вычисление расстояния между двумя кодовыми словами для двоичных кодов производится так же, как и для расстояния Хэмминга: определяется число символов, отличающихся от всей последовательности. Код обладает кодовым расстоянием $d = n - k + 1$. Код Рида – Соломона позволяет исправлять одиночные и групповые искажения после передачи по каналу связи. На определение местоположения ошибки необходим один дополнительный проверочный символ. Исправление искаженного значения также выполняется с помощью одного символа. Под символьной ошибкой понимается искажение одного или нескольких разрядов числа символа. Коды РС позволяют исправить до t символьных ошибок:

$$t = \left\lfloor \frac{d - 1}{2} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{n - k}{2} \right\rfloor. \quad (18)$$

Для формирования циклического кода берется порождающий полином кодов Рида – Соломона – полином минимальной степени над полем $GF(q)$. Корнями полинома считаются идущие в порядке возрастания степени примитивного элемента поля. Если α взять как примитивный элемент поля, то порождающий полином кода, позволяющих определить и исправить t скрытых ошибок, выглядит следующим образом:

$$g(x) = \prod_{(i=1..r)} (x - \alpha^i) = (x - \alpha^1)(x - \alpha^2) \dots (x - \alpha^r). \quad (19)$$

При передаче l кодовых слов $(W_0, W_1, \dots, W_{l-1})$ по каналу передачи с помехами, при этом $W_i \in GF(2^m)$, где $i = 0, l - 1$, формируется полином:

$$C(x) = (D_0 x^{l-1} + D_1 x^{l-2} + \dots + D_{n-1} x + D_{n-1}) x^r. \quad (20)$$

Для кодирования этот полином делится на порождающий полином $g(x)$:

$$C(x) = g(x)Q(x) + R(x) \quad (21)$$

Коэффициенты полинома $R(x) = S_0 x^{l-1} + S_1 x^{l-2} + \dots + S_{r-1}$ будут являться синдромами, и итоговый полином, передаваемый по каналу, будет иметь вид:

$$U(x) = C(x) + R(x) \quad (22)$$

Передаваемое сообщение $(W_0, W_1, \dots, W_{l-1}, S_0, S_1, \dots, S_{r-1})$ представляет собой информационные и добавочные символы.

В процессе декодирования происходит вычисление синдрома принятых данных. Если синдром равен 0, то рассматриваемый вектор не содержит в себе ошибок. В противном случае осуществляется обнаружение и исправление ошибок. Для этого строится полином ошибок с помощью алгоритма Берлекэмп–Мэсси, далее происходит поиск корней (процедура Ченя) и нахождение значения ошибочного символа (алгоритм Форни). В результате коррекции на выходе получается битовая плоскость, которая была подвергнута декодированию и исправлению возможного числа ошибок.

На рисунке 1, б показано искажение в виде целой белой строки на закодированной битовой плоскости 6-го разряда с проверочными символами в строке (рисунок 1, а), которые способны исправить до 4-х ошибок. На рисунке 2, б показано искажение в виде целой белой строки на закодированной битовой плоскости 6-го разряда с 8-ю избыточными символами в столбце (рисунок 2, а). Результат декодирования представлен на рисунке 3.

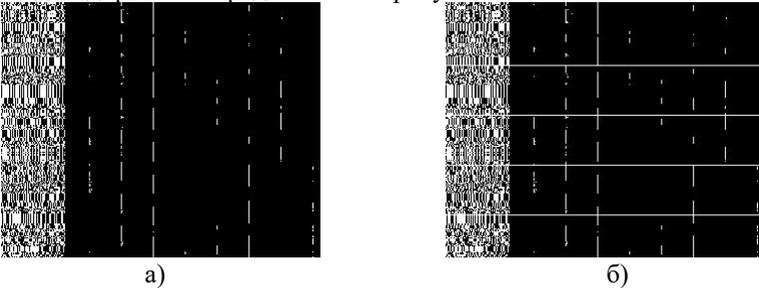


Рисунок 1 – Кодирование битовой плоскости 6-го разряда кодом Рида – Соломона по строкам: а) битовая плоскость 6-го разряда с проверочными символами, б) битовая плоскость с ошибкой

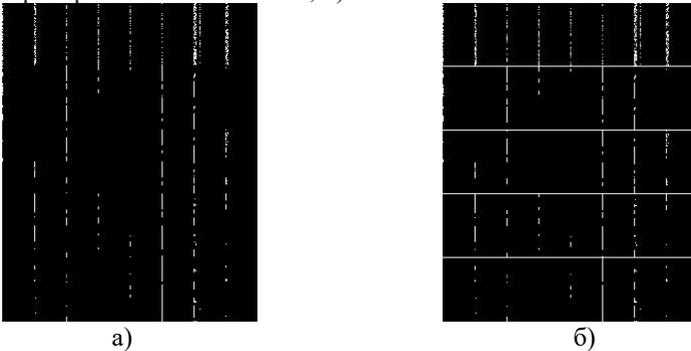


Рисунок 2 – Кодирование битовой плоскости 6-го разряда кодом Рида – Соломона по столбцам: а) битовая плоскость 6-го разряда с проверочными символами, б) битовая плоскость с ошибкой

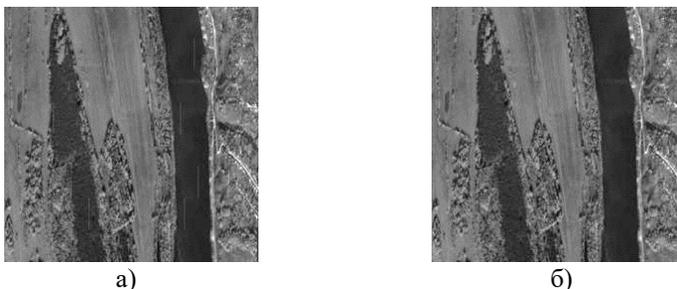


Рисунок 3 – Кодирование битовой плоскости 6-го разряда кодом Рида-Соломона: а) восстановленное изображение при кодировании битовой плоскости по строкам (1.4855), б) восстановленное изображение при кодировании битовой плоскости по столбцам (СКО = 1.0992)

Добавление избыточных символов к столбцам показывает эффективный результат по сравнению с добавлением избыточных символов к строке. Это происходит потому, что групповая ошибка попадает на всю строку и алгоритм не способен справиться с таким количеством искажений. При добавлении проверочных символов к столбцам становится возможным максимально эффективно использовать код Рида – Соломона. Для достижения большей эффективности обнаружения и исправления ошибок возможно применение подхода кодирования по столбцам и по строкам, но это приводит к увеличению информационного объема передаваемого сообщения. Так как наиболее значимыми являются старшие битовые плоскости, то целесообразно кодировать только их для уменьшения вычислительной нагрузки и скорости передачи. Таким образом, получено оптимальное соотношение числа информационных разрядов и избыточных символов в кодовом векторе при реализации алгоритма кодирования Рида – Соломона не ко всем битовым плоскостям, а только к части, при котором кодовая скорость увеличивается на 12.5 %

В четвертой главе описывается программный комплекс, предназначенный для моделирования процесса передачи изображений по цифровому каналу с помехами. Уточнены алгоритмы модулей, составляющих этап предварительной обработки, передачи по каналу связи и этап постобработки. Отдельно рассмотрено применение модели представления изображений в виде битовых плоскостей для параллелизации вычислительных процессов.

На рисунке 4 представлена структура программного комплекса моделирования процесса передачи изображений по цифровому каналу с помехами. В комплексе определен модуль для количественной оценки результата моделирования, который заключается в вычислении СКО между набором исходных изображений и принятых изображений.

В качестве исходных изображений использовались изображения с диапазоном яркостей 50-150, что характерно для подстилающей поверхности в виде растительного ландшафта.

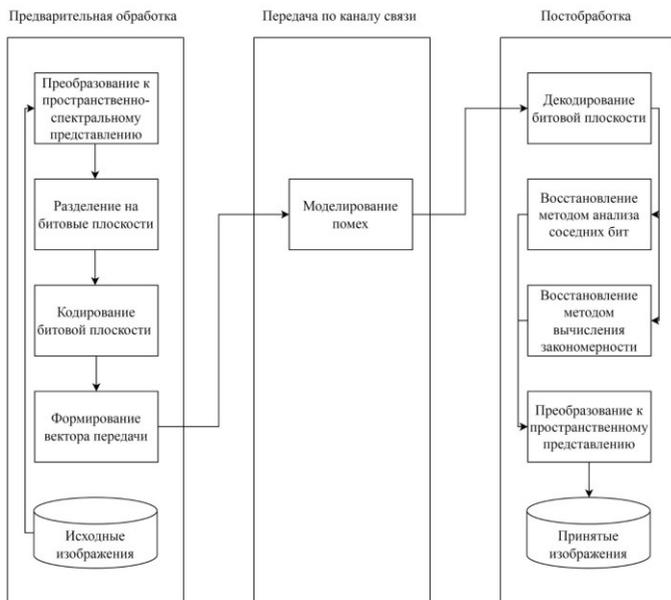


Рисунок 4 – Структура программного комплекса моделирования процесса передачи изображений по цифровому каналу с помехами

Блок предварительной обработки изображения состоит из модулей, выполнение которых приводит к формированию вектора передачи. Изображение в градациях серого является входным для модуля преобразования к пространственно-спектральному представлению. Полученная матрица в пространственно-спектральном представлении разделяется на битовые плоскости, каждая из которых передается в модуль кодирования. В зависимости от настройки конфигурации модуля кодирование может быть ограничено определенным количеством плоскостей. Битовые плоскости, дополненные избыточными значениями, распределяются в вектор передачи.

На разделенных разрядах по отдельным матрицам формирование вектора передачи возможно в двух вариантах: последовательность идущих друг за другом плоскостей (23) или смешивание плоскостей (24), при котором определенная последовательность из n значений одного разряда следует друг за другом, затем другого разряда и так далее до младшего разряда, после снова начинается последовательность с битовой плоскости старшего разряда. Разные варианты формирования вектора передачи позволяют увеличить расстояние между значениями битовых плоскостей, за счет чего вероятность попадания ошибки только на одну плоскость снижается, а эффективность применения методов обеспечения помехоустойчивости увеличивается.

$$\mathbf{V}_{1 \times (M*N*8)} = (b_{1,1}^7, b_{1,2}^7, \dots, b_{M,N}^7, b_{1,1}^6, \dots, b_{M,N}^6, \dots, b_{1,1}^0, \dots, b_{M,N}^0), \quad (23)$$

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

Формула (24) демонстрирует формирование вектора на основе смещения битовых плоскостей, где битовые плоскости последовательно добавляются по одной строке:

$$\mathbf{V}_{1 \times (M*N*8)} = \begin{pmatrix} b_{1,1}^7, b_{1,2}^7, \dots, b_{1,N}^7, b_{1,1}^6, \dots, b_{1,N}^6, \dots, b_{1,1}^0, \dots, b_{1,N}^0, \\ b_{2,1}^7, b_{2,2}^7, \dots, b_{2,N}^7, b_{2,1}^6, \dots, b_{2,N}^6, \dots, b_{2,1}^0, \dots, b_{2,N}^0, \\ \dots, \\ b_{M,1}^7, b_{M,2}^7, \dots, b_{M,N}^7, b_{M,1}^6, \dots, b_{M,N}^6, \dots, b_{M,1}^0, \dots, b_{M,N}^0 \end{pmatrix}, \quad (24)$$

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

Блок моделирования канала передачи содержит модуль наложения помех, проявляющихся в виде как одиночных, так и групповых ошибок. В зависимости от настройки групповая ошибка моделирует различные типы искажений: инверсная ошибка, потерянные биты, комбинированная ошибка. Одним из входных параметров модуля являются интенсивность ошибки и вероятность ее появления.

Номер начального бита искаженной последовательности вектора передачи $x_0 \in X_0$ представляет собой случайную величину, которая может быть описана выражением:

$$p_{X_0}(x_0) = \begin{cases} \frac{1}{\lfloor (1 - p_l)N \rfloor + 1}, & x_0 \notin X_0, \\ 0, & x_0 \in X_0, \end{cases} \quad (25)$$

где p_l – вероятность попадания ошибки на часть строки, $\lfloor \cdot \rfloor$ – наибольшее меньшее или равное целое, $X_0 = \{0, 1, \dots, \lfloor (1 - p_l)N \rfloor\}$.

Так как в последовательности вектора передачи искаженными могут быть несколько участков, соответствующих строкам или части строк матричного представления, то, вводя вероятность искажения некоторых строк p_N , можно описать модель групповых ошибок:

$$U_N = U_M \cap \{(x, y) | x_0 \leq x \leq (x_0 + \lfloor p_l N \rfloor - 1)\}, \quad (26)$$

где $\lfloor \cdot \rfloor$ – наибольшее большее или равное целое.

После принятия вектора передачи, прошедшего канал связи с помехами, выполняется блок постобработки данных. Первым шагом входной вектор проходит модуль декодирования, в котором может быть исправлен определенный набор искажений. Декодированные битовые плоскости проходят один из алгоритмов восстановления искаженных значений в зависимости от

нефункциональных требований к программному комплексу. Последний модуль производит формирование десятичных значений матрицы пространственно-спектрального представления и обратное преобразование к пространственному представлению. Результатом работы блока постобработки является изображение в градациях серого.

В ходе передачи данных помехи могут воздействовать на вектор данных по-разному, в том числе в ходе передачи могут проявляться разные типы ошибок. Рисунок 5 демонстрирует попадание ошибок типа «Комбинированная ошибка» и одиночной ошибки на часть вектора, соответствующую 6-му разряду числа. Длина последовательности ошибок и их местоположения случайны так же, как и их периодичность.

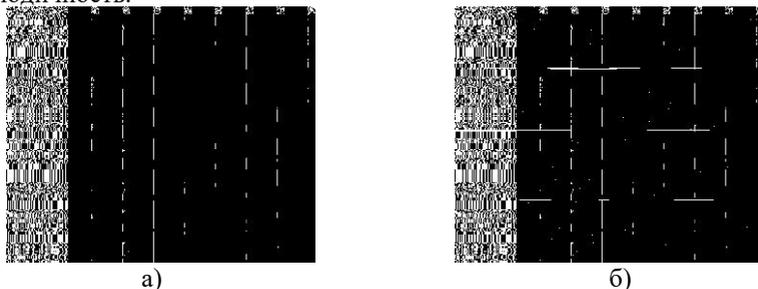


Рисунок 5 – Битовая плоскость 6-го разряда:

- а) после прохождения этапа предварительной обработки, б) после передачи по каналу связи с помехами

Рисунок 6 представляет собой сравнение исходного изображения и переданного через смоделированный канал передачи с помехами. С учетом характеристики СКО модули программного комплекса, отвечающие за защиту и восстановление данных, успешно справляются не только с отдельными типами ошибок, но и с воздействием на вектор данных различных видов искажений. Методы помехоустойчивого кодирования и восстановления позволяют обработать данные, подверженные совокупности ошибок разных типов.

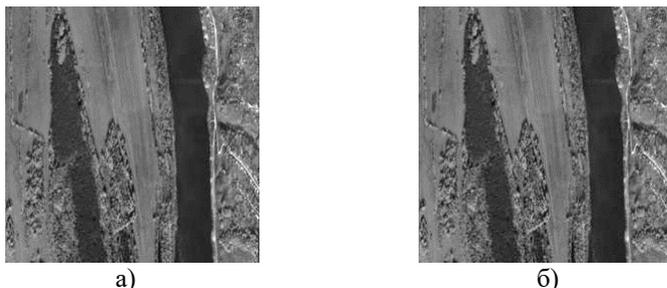


Рисунок 6 – Передаваемое изображение по каналу передачи с помехами: а) исходное изображение, б) восстановленное изображение (СКО = 1.10092)

В заключении сформулированы основные выводы и перечислены полученные в работе результаты.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В диссертационной работе выполнены исследования и разработаны метод и алгоритмы обеспечения помехоустойчивости и восстановления изображений, передаваемых по цифровому каналу с помехами, обеспечивающие улучшение визуального качества изображения с уменьшением информационной нагрузки на канал.

В ходе выполнения исследования был проведен сравнительный анализ систем передачи изображений в пространственном и пространственно-спектральном представлении. Выявлены преимущества и недостатки методов обработки изображений, представленных в разных видах, с целью обеспечения помехоустойчивости. В диссертационной работе получены следующие положения и результаты:

1. Разработана модель передачи изображений на основе битовых плоскостей, позволяющая учитывать вес значения в пространственном и пространственно-спектральном представлении.

2. Разработан метод восстановления и повышения надежности передачи данных, основанный на разработанной модели, и реализованный следующими алгоритмами:

– алгоритм восстановления изображений на основе анализа соседних бит, позволяющий снизить вычислительную нагрузку за счет рассмотрения отдельных разрядов и позволяющий восстановить 89 % искаженных бит на плоскости 6-го разряда и на 94 % в плоскостях от второго до пятого разрядов числа;

– алгоритм восстановления изображений на основе вычисления закономерностей соседних значений, позволяющий эффективно определять наличие искаженного значения в разряде за счет анализа попадания в тренд, задаваемый соседними значениями исследуемого элемента, и позволяющий восстановить 93 % искаженных бит в старших плоскостях.

– алгоритм помехоустойчивого кодирования, позволяющий снизить избыточность информационного сообщения за счет кодирования битовых плоскостей только значащих старших разрядов и увеличивающий кодовую скорость на 12.5 %.

3. Разработан программный стенд, с помощью которого было проведено моделирование и апробация предложенных метода и алгоритмов.

Работа прошла апробацию на научных конференциях и путем публикации ее результатов. Имеются свидетельства о государственной регистрации программ ЭВМ, полученные по результатам исследований, что свидетельствует о практической ценности работы. Результаты могут быть положены в основу комплекса задач, решаемых при передаче ландшафтных изображений со спутниковых каналов связи, в том числе поиска оптимального решения, направленного на усиление помехоустойчивости и восстановление изображений.

Разработанные положения и результаты диссертационной работы в виде модели представления на основе битовых плоскостей, методов и алгоритмов обеспечения надежной передачи информации внедрены в научно-исследовательскую и опытно-конструкторскую деятельность ООО «Научно-технический центр «Информатики и систем управления МВТУ», а также в учебный процесс кафедры ЭВМ Рязанского государственного радиотехнического университета имени В.Ф. Уткина для дисциплин «Методы и алгоритмы обработки изображений» направления подготовки 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника» и «Теория информации» направления подготовки 02.04.03 «Математическое обеспечение и администрирование информационных систем».

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК

1. **Вьюгина А.А.** Анализ эффективности методов восстановления групповых искажений на битовых плоскостях / Баранова С.Н., Баранчиков А.И., Вьюгина А.А., Гринченко Н.Н., Костров Б.В. // Вестник РГРТУ. – 2023. – No 85. – С.139-148.
2. **Вьюгина А.А.** Метод устранения искажений на изображениях, представленных в виде битовых плоскостей / Баранова С.Н., Вьюгина А.А., Костров Б.В. // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12, № 3(63). – С. 93-99.
3. **Вьюгина А.А.** Математическая модель процесса передачи изображений на основе битовых плоскостей / Баранова С.Н., Вьюгина А.А., Гринченко Н.Н., Лобачев М.А. // Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей». – 2023;(1):82-89. <https://doi.org/10.38013/2542-0542-2023-1-82-89>
4. **Вьюгина А.А.** Методика фильтрации ультразвуковых изображений в квазидвумерном конечном базисе / Вьюгина А.А., Костров Б.В., Свирина А.Г. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2019. – № 3. С. 3-8.

Публикации в изданиях, индексируемых в базах Scopus Web of Science

5. **Vyugina A.A.** Parallel computations in problems of reconstruction of distorted images in spatial-spectral form / Baranova S.N., Grinchenko N.N., Kostrov B.V., Vyugina A.A. // Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS. – 2023. – Vol. 35, No. 2. – P. 157-168.
6. **Vyugina A.A.** Research of Spectral Components Structure in Landscape Images Spectrum / Baranova S.N., Bodrov O.A., Khizrieva N.I., Silkin G.D., Vyugina A.A. // 10th Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO 2019 – Proceedings: Research monograph June 7th – 10th, 2021, Budva, Montenegro. – P. 379-382.
7. **Vyugina Angelina.** Landscape Images Generation Algorithm Development / Bastrychkin Alexander, Borovkov Ivan, Silkin Grigory, Vyugina Angelina // 10th Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO 2019 – Proceedings: Research monograph June 7th – 10th, 2021, Budva, Montenegro. – P. 379-382.
8. **Vyugina A.A.** Aspects of Binary Images Spectral Analysis / Babaev S.I., Bastrychkin A.S., Kostrov B.V., Koroleva E.P., Lukina N.V., Vyugina A.A. // 8th Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO 2019 – Proceedings: Research monograph June 10th – 14th, 2019, Budva, Montenegro. – P. 394-398.

9. **Vyugina A.A.** Filtration Technique of Ultrasonic Images in Quasitwo-dimensional Finite Basis / Baranchikov A.I., Baranchikova C.A., Gromov A.Y., Khizrieva N.I., Svirina A.G., Vyugina A.A. // 8th Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO 2019 – Proceedings: Research monograph June 10th – 14th, 2019, Budva, Montenegro. – P. 428-431.

Публикации в других изданиях и материалах конференций

10. **Вьюгина А.А.** Возможности оптимизации алгоритмов восстановления изображений, искаженных групповыми помехами / Баранова С.Н., Вьюгина А.А., Гринченко Н.Н. // 8-я международная научно-техническая конференция «В.Ф. Уткин – 100 лет со дня рождения. Космонавтика. Радиоэлектроника. Геоинформатика»: мат. докл. / Рязан. гос. радиотехн. ун-т им. В.Ф. Уткина. – Рязань, 2023. – С. 268-271.

11. **Вьюгина А.А.** Детектирование групповых ошибок на битовой плоскости / Баранова С.Н., Вьюгина А.А., Костров Б.В. // 8-я международная научно-техническая конференция «В.Ф. Уткин – 100 лет со дня рождения. Космонавтика. Радиоэлектроника. Геоинформатика»: мат. докл. / Рязан. гос. радиотехн. ун-т им. В.Ф. Уткина. – Рязань, 2023. – С. 357-360.

12. **Вьюгина А.А.** Бинаризация текстовых изображений на основе технологии битовых плоскостей / Баранова С.Н., Вьюгина А.А., Гринченко Н.Н., Костров Б.В., Трушина Е.А. // Вестник Ярославского высшего военного училища противоздушной обороны. – 2023. – № 2(21). – С. 75-81.

13. **Вьюгина А.А.** Ортогональное кодирование бинарных изображений / Баранова С.Н., Вьюгина А.А., Гринченко Н.Н., Костров Б.В., Трушина Е.А. // Вестник Ярославского высшего военного училища противоздушной обороны. – 2023. – № 2(21). – С. 82-87.

14. **Вьюгина А.А.** Сравнительный анализ влияния групповых и одиночных помех на вектор передачи, сформированный по принципу битовых плоскостей / Баранова С.Н., Вьюгина А.А. // Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2023: сборник трудов VI Международного научно-технического форума. – Рязань, 2023. С. 122-126.

15. **Вьюгина А.А.** Исследование эффективности применения кодирования битовых плоскостей изображения при передаче по каналам связи / Баранова С.Н., Вьюгина А.А. // Информационные технологии: межвузовский сборник научных трудов. Рязан. гос. радиотехн. ун-т им. В.Ф. Уткина. – Рязань, 2022. С. 55-61.

16. **Вьюгина А.А.** Исследование битового трафика при передаче ландшафтных изображений / Баранова С.Н., Вьюгина А.А., Гринченко Н.Н. // Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2022: сборник трудов V Международного научно-технического форума. – Рязань, 2022. С. 111-115.

17. **Вьюгина А.А.** Исследование гистограмм распределения спектральных составляющих в спектре ландшафтных изображений / Баранова С.Н., Вьюгина А.А., Гринченко Н.Н., Костров Б.В. // Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2021: сборник трудов IV Международного научно-технического форума: в 10 т. – Рязань, 2021. – С. 92-97.

Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ

18. Программа преобразования изображения к битовым плоскостям. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023669006 /

Костров Б.В., Гринченко Н.Н., Баранова С.Н., Вьюгина А.А. // Федеральная служба по интеллектуальной собственности. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 06.09.2023 г.

19. Программа для восстановления битов изображения с использованием окрестных пикселей на основе тренда. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023668792 / Костров Б.В., Гринченко Н.Н., Баранова С.Н., Вьюгина А.А. // Федеральная служба по интеллектуальной собственности. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 04.09.2023 г.

Вьюгина Ангелина Алексеевна

**МЕТОД И АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ЛАНДШАФТНЫХ
ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ
ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 24.10.2023. Формат бумаги 60x84 1/16

Бумага офсетная. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 1,25.

Тираж 100 экз.

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина.
390005, Рязань, ул. Гагарина, 59/1.

Редакционно-издательский центр РГРТУ.