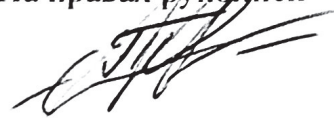


На правах рукописи

Тычинкин Сергей Алексеевич



**Исследование методов обработки двумерных сигналов на основе
фрактальных алгоритмов**

Направление подготовки

11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Программа магистратуры – Сети, системы и устройства телекоммуникаций

АВТОРЕФЕРАТ

магистерской диссертации

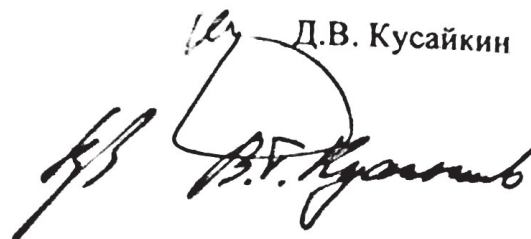
на соискание квалификации (степени) магистра

Екатеринбург 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» Уральский технический институт связи и информатики (филиал) в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ)

Научный руководитель:
кандидат технических наук

Рецензент:

 Д.В. Кусайкин

Защита состоится «28» июня 2021 г. в 09:00 часов в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» Уральский технический институт связи и информатики (филиал) в г. Екатеринбурге (УрТИСИ СибГУТИ), г. Екатеринбург, ул. Репина, д. 15.

Секретарь государственной аттестационной комиссии:

 О.А. Шумилова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования и степень ее разработанности.

Методы цифровой обработки изображений охватывают широкий круг задач, при решении которых используются как универсальные методы, так и методы, ориентированные на определенные классы. Данные методы позволяют анализировать и классифицировать изображения, выявляя в них определенные структуры и закономерности.

Зачастую изображения имеют сложную структуру, и чтобы их исследовать, могут применяться методы фрактального анализа. Вычисление числовых характеристик геометрических множеств на изображении позволяет провести анализ и классификацию спутниковых снимков местности. Но реальные изображения, как правило, не укладываются в рамки одного фрактала, а представляют собой объединение нескольких фракталов, которые имеет свою размерность. Поэтому, для определения характеристик подобных объектов, разработаны различные методы обработки цифровых изображений, которые взаимодействуют сразу с несколькими различными по характеристикам областями на изображении. Данные методы дают возможность провести анализ и классификацию спутниковых снимков и при помощи алгоритмов сжатия в разы уменьшить размер исходного изображения.

Алгоритмы сжатия изображений достаточно развивающаяся область в компьютерной графике, и основной объект в ней – это цифровые изображения. И чтобы понять, почему алгоритмы сжатия настолько эффективны, нужно знать, что человеческое зрение при анализе изображения выделяет лишь контуры и нечувствительно к малым изменениям в изображении. Поэтому данная особенность человеческого зрения позволила создавать определенные алгоритмы сжатия цифровых изображений, которые позволяют сжимать изображения с незначительными потерями и высокой степенью сжатия.

Актуальность исследования состоит в том, чтобы изучить возможность применения алгоритмов фрактального кодирования для цифровой обработки снимков, полученных космическими аппаратами.

Среди зарубежных работ многие авторы проводят исследование алгоритмов фрактального кодирования для обработки двумерных сигналов, но мало где исследуются алгоритмы фрактального кодирования для цифровой обработки именно спутниковых изображений. Также во многих работах не приводятся результаты эффективного использования фрактальных алгоритмов в спутниковых системах связи.

Несмотря на большое количество работ по тематике исследования, необходимо изучение алгоритмов фрактального кодирования для их эффективного применения в спутниковых системах связи для цифровой обработки изображений.

Объект исследования – цифровая обработка двумерных сигналов.

Предмет исследования – алгоритмы фрактального кодирования.

Целью работы является исследование методов обработки двумерных сигналов на основе фрактальных алгоритмов для их применения в цифровой обработке изображений, полученных со спутниковых аппаратов.

Для достижения означенной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) выявить актуальность исследования и привести практические примеры методов цифровой обработки двумерных сигналов;
- 2) изучить процесс цифровой обработки спутниковых изображений;
- 3) провести анализ классических методов масштабирования изображений;
- 4) рассмотреть основные стадии и компоненты цифровой обработки изображений;
- 5) рассмотреть методы обработки двумерных сигналов на основе фрактальных алгоритмов;
- 6) провести анализ научных публикаций по теме исследования;
- 7) привести описание алгоритмов фрактального кодирования;
- 8) выбрать программную среду для исследования модели;
- 9) привести описание работы программных реализаций;
- 10) провести исследование программных реализаций и сделать соответствующие выводы о возможности применения фрактального кодирования в обработке спутниковых изображений.

Теоретическая значимость исследования обоснована следующим:

- исследованы параметры, при изменении которых меняется общее качество и вес изображения;
- использованы современные программные средства для построения и анализа алгоритмов фрактального кодирования;
- изложены идеи, которые можно исследовать для дальнейшего развития алгоритмов фрактального кодирования.

Практическая значимость.

Практическая ценность магистерской диссертации состоит в изучении вопросов применения алгоритмов фрактального кодирования для использования их в цифровой обработке изображений в спутниковых системах связи.

Методология и методы исследования. Решение поставленных задач осуществлялось с использованием программных сред Microsoft Visual Studio Code и IntelliJ IDEA, которые представляют единый интерфейс для разработки программ на многих языках программирования, позволяют упростить процесс разработки программного обеспечения, улучшить качество кода и минимизировать ошибки при работе. Также для решения поставленных задач применялся анализ схем и графиков.

Положения, выносимые на защиту:

- анализ методов алгоритмов фрактального кодирования;
- результаты исследования программных реализаций алгоритмов фрактального кодирования;
- возможности использования результатов исследования алгоритмов фрактального кодирования.

Степень достоверности результатов исследования обусловлена следующими фактами:

- теория построена на известных и проверяемых данных с использованием методов теории моделирования, теории эксперимента и согласуется с экспериментальными данными по теме диссертации;

- для экспериментальных работ результаты получены в специальной программной среде для исследования алгоритмов фрактального кодирования при различных параметрах;

- использованы сравнения данных полученных при разных параметрах;

- использованы современные средства сбора и обработки данных.

Апробация результатов.

Основные результаты диссертации были получены и использованы в рамках научно-исследовательских работ (НИР), в том числе:

В рамках сборника научных трудов I Международной научно-практической конференции «Инфокоммуникационные технологии: актуальные вопросы цифровой экономики» (Екатеринбург, 2021), которая проходила 17-18 февраля 2021 года.

В рамках сборника трудов III Всероссийской научно-практической конференции «Стратегия современного научно-технологического развития России: проблемы и перспективы реализации» (Петрозаводск, 2021), которая проходила 17 мая 2021 года.

В рамках сборника научных трудов VII Всероссийской научно-практической конференции «Информационные технологии и когнитивная электросвязь» (Екатеринбург, 2021), которая проходила 18 мая 2021 года.

По теме диссертации опубликовано 3 научные работы, в том числе 3 статьи в научных журналах, рекомендованных РИНЦ.

Диссертационная работа включает введение, три главы, заключение, список литературы из 37 наименований. Объем диссертации 84 страницы, включены также 45 рисунков и 5 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** изложена общая характеристика диссертационной работы: показана ее актуальность, сформулирована цель работы, отражена практическая ценность. Также описаны основные вопросы и проблемы связанные с темой диссертации.

В **первой главе (Анализ методов обработки двумерных сигналов и их классификация)** выявлена актуальность исследования и приведены практические примеры использования фрактальных алгоритмов. Рассмотрена цифровая обработка спутниковых изображений, приведены классические методы масштабирования изображений. Рассмотрены основные стадии и компоненты цифровой обработки изображений, методы обработки двумерных сигналов на основе фрактальных алгоритмов, и проведен обзор научных публикаций по теме исследования.

Актуальность исследования ориентирована в сторону двух направлений: повышения качества изображений для их лучшего визуального восприятия человеком и обработка изображений для более емкого хранения информации, ее передачи и представления. Использование фрактальных алгоритмов в прикладных областях зависит от применения источников, которые формируют изображения. Так, для различных источников используется разная область их применения:

- формирование изображений при помощи гамма-лучей – используются в основном в медицинской радиологии и астрономических наблюдениях;
- рентгеновские изображения – применяются для медицинской диагностики, ангиографии и в других промышленных областях;
- изображения в ультрафиолетовом диапазоне – используются в основном во флуоресцентной микроскопии;
- изображения в микроволновом диапазоне – главным образом применяются в радиолокации;
- изображения в диапазоне радиоволн – основной областью применения являются медицина и астрономия;
- изображения в видимом и инфракрасном диапазоне – данные источники нашли наиболее широкое применение, нежели другие, так как данные диапазоны наиболее привычны для восприятия человеком. Применение цифровой обработки изображений для данных источников применяется в: фармацевтике, микроскопических методах, определении характеристик материалов, дистанционном зондировании земной поверхности и многих других областях.

Далее были рассмотрены принципы цифровой обработки спутниковых изображений. Приведены методы цифровой обработки изображений как для передачи данных из глубокого космоса, так и на околоземной орбите. Интересующей областью является передача данных со спутникового аппарата с околоземной орбиты на земные станции. Приведено описание технологии дистанционного зондирования Земли, при которой передача данных на земную станцию осуществляется со скоростью 300 Мбит в секунду и происходит по схеме цифровой системы связи, которая представлена на рисунке 1.

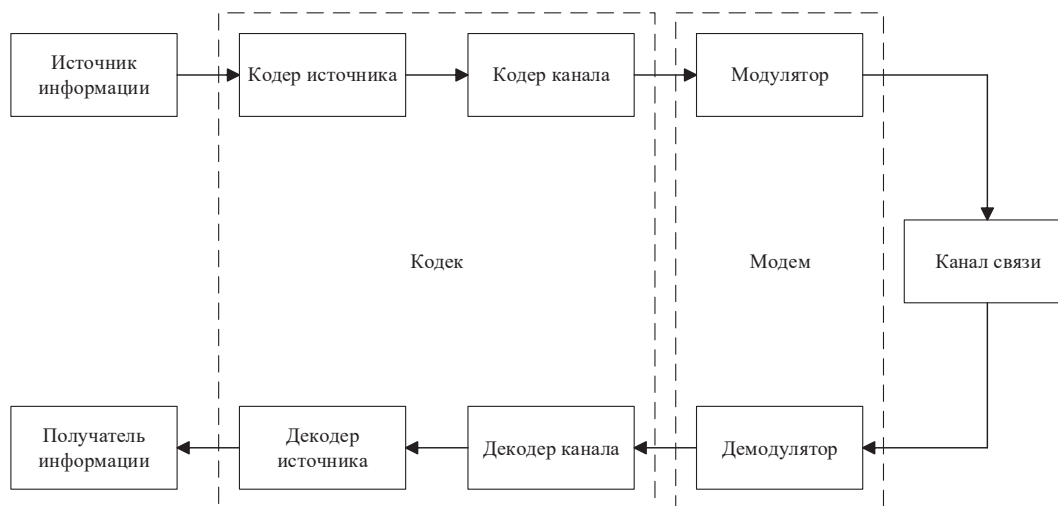


Рисунок 1 – Структурная схема цифровой системы связи

Оборудование, которое устанавливается на космический аппарат, в первую очередь должно быть защищено от различных воздействий космического пространства и потреблять мало энергии. На данный момент самым мощным процессором, который защищен от воздействия излучения в космическом пространстве, является BAE RAD5545. Платформы на основе данных процессоров предназначены для использования в условиях высокой радиационной обстановки на борту спутников и космических кораблей. Процессор представляет собой 64-битное четырехядерное оборудование, сделанное по техпроцессу 45 нм, работающее с тактовой частотой в 466 МГц и рассеиваемой мощностью до 20 Вт.

Далее были рассмотрены классические методы масштабирования изображений.

Применяя методы обработки цифровых изображений можно добиться того, чтобы на изображении было возможным видеть то, что не видно на кадрах низкого разрешения. Методы обработки двумерных сигналов позволяют получить изображения с высоким разрешением и приемлемым качеством.

К таким методам относятся:

1) однокадровые пространственные методы:

1.1 линейные:

- метод ближайшего соседа;
- билинейная интерполяция;
- бикубическая интерполяция.

Прежде чем преобразовать исходное изображение, в линейных методах необходимо произвести вычисление для соседних пикселей в зависимости от выбранного алгоритма.

1.2 адаптивные нелинейные методы (не используются из-за специфичности применения).

- многокадровые методы;
- итерационные методы суперразрешения;
- прямые быстрые методы суперразрешения.

Во всех методах и алгоритмах масштабирования изображений есть ряд недостатков, таких как:

- алиасинг (неровности на изображении);
- размытие изображения;
- эффект Гиббса (проявляется на изображении в виде резких перепадов интенсивности)

Среди линейных методов обработки двумерных сигналов лучшим является метод бикубической интерполяции, так как методы ближайшего соседа и билинейной интерполяции в большей степени искажают изображения, образуя эффект лесенки.

Сравнение линейных методов обработки изображений представлено на рисунке 2.

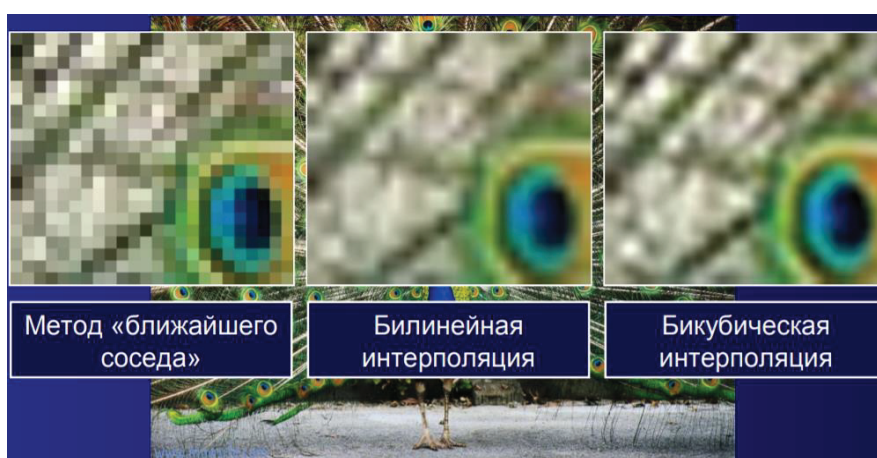


Рисунок 2 – Сравнение линейных методов обработки изображений

В отличие от однокадровых методов, методы суперразрешения используют информацию сразу с нескольких изображений, поэтому конечное изображение будет содержать в себе больше полезной информации. Основным источником информации для суперразрешения является изображение одного и того же объекта, который на кадрах движется последовательно.

Следующим этапом рассматриваются основные стадии и компоненты цифровой обработки изображений.

В первую очередь, чтобы обработать цифровое изображение, его нужно зарегистрировать (перевести в цифровую форму). Если изображение уже представлено в цифровой форме, то стадия регистрации изображения, как правило, включает только масштабирование и выбор среды обработки. Далее изображение улучшают – происходит манипуляция изображением, чтобы оно подходило для конкретно-выбранной задачи.

После улучшения изображение проходит стадию восстановления, где повышается визуальное качество изображения при помощи математических или вероятностных моделей.

После предварительных стадий обработки изображений наступают основные стадии, которые выбираются в зависимости от требуемых условий:

- сжатие изображений – относится к методам уменьшения объемов памяти для компактного хранения данных и более быстрой передачи данных по каналам связи;

- сегментация – разделение изображения на составные объекты или части для более качественной обработки изображения, и чем точнее сегментация, тем более качественной получится изображение после обработки;

- стадия представления – следует за стадией сегментации, после которой информация об изображении сохраняется лишь в данных о пикселях, либо точках областей. На этой стадии данные необходимо преобразовать в нужную форму для последующей компьютерной обработки. Способ представления – это лишь часть принятого решения по преобразованию пиксельных данных, необходимо еще указать метод описания данных, при котором выбирается необходимая информация на изображении;

- стадия распознавания – процесс, направленный на распознавание объектов, находящихся на изображении. Объекты получают свой идентификатор и данные об объектах записываются на носитель для последующей обработки.

Чем выше сложность поставленной задачи, тем больше потребуется стадий для выполнения этой задачи.

Так как для обработки крупных изображений требуется большая вычислительная мощность, то общая тенденция направлена на оснащение малых рабочих станций для решения задач по обработке изображений. Основные компоненты универсальной системы обработки цифровых изображений представлены на рисунке 3.

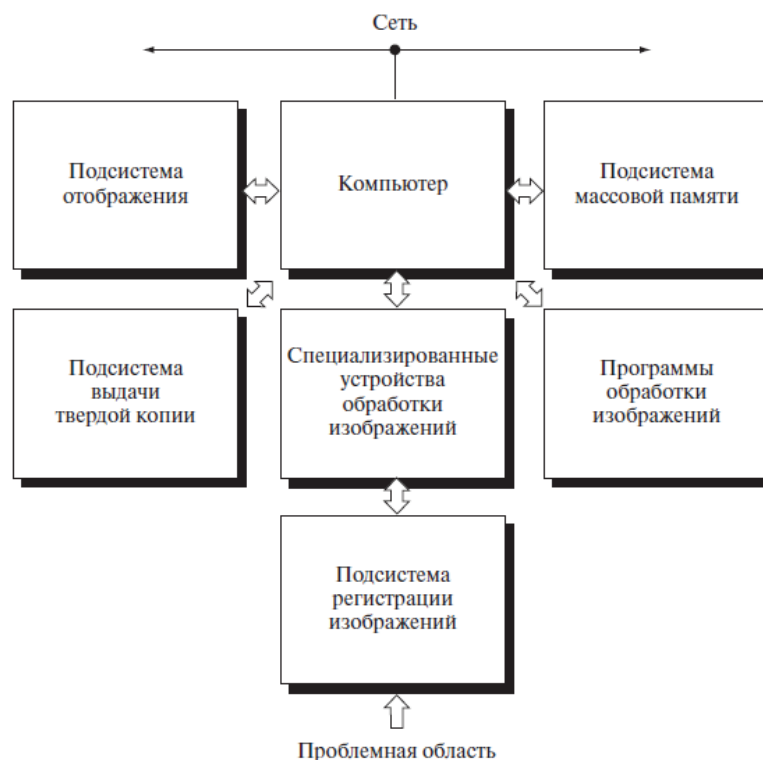


Рисунок 3 – Основные компоненты универсальной системы обработки цифровых изображений

Далее были рассмотрены методы обработки двумерных сигналов на основе фрактальных алгоритмов.

Самые первые фрактальные методы были очень медлительными и вычисления на самых мощных станциях занимали достаточное количество времени, от нескольких часов до нескольких дней. Все это препятствовало практическому использованию фрактальных методов для обработки изображений. Увеличение скорости кодирования делалось в двух направлениях: классификации доменов и сравнении ранговых и доменных областей.

При фрактальном кодировании изображений нужно найти множество сжимающих преобразований, которые будут отображать доменные блоки в множество ранговых блоков. Ранговые блоки могут быть как одинакового размера, так и разного. Базовый фрактальный метод кодирования изображений выполняется следующим образом:

- 1) изображение разбивается на неперекрывающиеся ранговые блоки;
- 2) изображение покрывается последовательностью доменных блоков, которые могут перекрываться. Общее количество доменных блоков может исчисляться сотнями и тысячами;
- 3) для каждого рангового блока находится доменный блок и соответствующее преобразование, которое покрывает ранговый блок. После этого настраиваются параметры яркости и контрастности для наилучшего соответствия;
- 4) если точного соответствия не получилось, то ранговые блоки разбиваются на меньшие ранговые блоки. Процесс продолжается до тех пор, пока не будет достигнуто необходимое соответствие или предел, который устанавливается заранее.

Итогом будет закодированный список ранговых блоков с соответствующими доменными блоками и преобразованиями.

Для проведения сравнительного анализа различных алгоритмов масштабирования изображений важно знать основу фрактальных алгоритмов. Основой является параметр самоподобия, то есть обнаружение самоподобных участков в изображении.

Далее был проведен обзор научных публикаций по теме исследования, где рассмотрены основные моменты по каждой из публикаций.

Вначале рассматривается основная теория, затем приводятся результаты, приведенные в публикациях, а далее выводы на основе анализа публикаций.

Фрактальный анализ применяется для анализа изображений, где присутствуют самоподобные структуры, например, городская местность. Наиболее широкое применение фрактальный анализ получил в радиолокации и обнаружении объектов. В данных задачах фрактальная размерность используется, чтобы описать топологию объектов и обнаружения этих объектов на малоконтрастных изображениях. Главной особенностью обнаружения малоконтрастных объектов является оценка фрактальной размерности изображения местности при различных масштабах, где фрактальная размерность искусственного объекта изменяется вместе с изменением масштаба изображения.

Фрактальные признаки обладают свойством инвариантности – они не изменяются с изменением масштаба фрактального объекта, поэтому определение набора возможных фрактальных признаков и разработка новых алгоритмов их вычисления является перспективным методом цифрового анализа двумерных сигналов.

Далее приводится описание анализа фрактальных размерностей при помощи различных методов. Анализ показывает, что многие изображения обладают фрактальными характеристиками, что позволяет для их эффективной обработки использовать теорию фракталов. Поэтому, если рассматривать контур изображения как кривую, то существует возможность оценить фрактальную размерность этого контура.

Методы определения фрактальной размерности кривых и поверхности позволяют анализировать соответствующие математические объекты. Изображение может быть представлено как поверхность и серия одномерных сигналов, а в случае одномерного сигнала объект представляется в виде кривой.

С помощью данных способов можно вычислить три вида фрактальной размерности: фрактальную размерность контура, фрактальную размерность поверхности и фрактальную размерность подобия.

Далее рассматривается алгоритм поиска информативных участков на спутниковых изображениях, который включает в себя два этапа, которые представлены на рисунке 4.

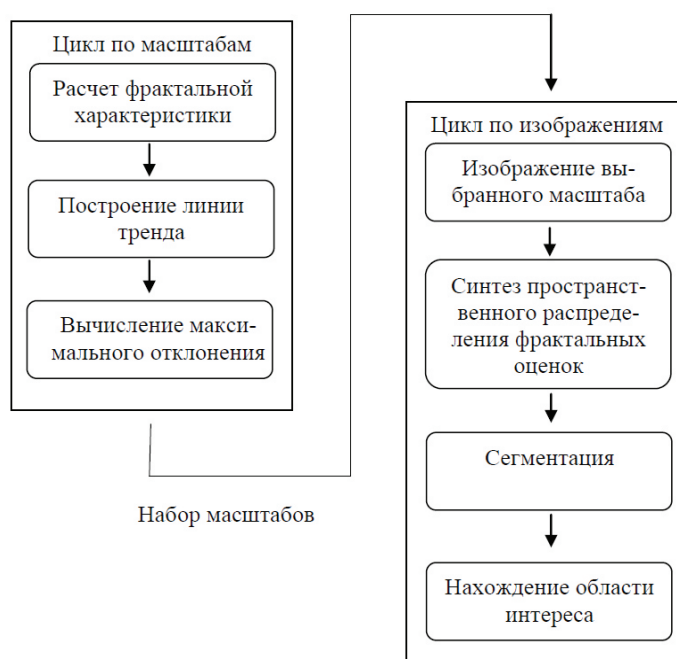


Рисунок 4 – Схема алгоритма поиска информативных участков на сложно структурируемых спутниковых изображениях

Расчет фрактальных характеристик осуществляется для различных масштабов изображения, и уже на основе полученных данных строится график изменения фрактальных характеристик, а также производится расчет

максимального отклонения значений фрактальной характеристики по построенной линии тренда.

Далее приведено описание метода фрактального сжатия сигналов в спутниковых системах X-SAR, где исходное изображение спутника размером 435 КБ и разрешением 473×314 пикселей было представлено после обработки с временем сжатия $t = 6$ секунд, коэффициентом сжатия 40 и размером файла 11 КБ.

Сжатие с потерями позволяет регулировать качество изображений, кроме этого, при разархивации изображение можно масштабировать. Уникальной особенностью фрактального сжатия является то, что увеличенное изображение не будет дробиться на квадраты.

Алгоритм ориентирован как на полноцветные изображения, так и изображения в градациях серого цвета. Недостаток этого метода заключается в больших вычислительных мощностях, требуемых при архивации изображений.

Далее приводится описание алгоритма вейвлет-фрактального сжатия изображений, где после сжатия тысячи изображений, полученных со спутниковой РЛС (радиолокационной станции) X-SAR общим размером 110 МБ, размер этих изображений составил 9 МБ.

Алгоритм вейвлет-обработки изображения сводится к построению фильтров вейвлетной декомпозиции и реконструкции. В результате получаются четыре вектора, в которые записываются коэффициенты фильтров, осуществляющих низкочастотную и высокочастотную декомпозицию и реконструкцию. В ходе проведения эксперимента авторы получили изображение с увеличенной контрастностью, что позволило рассмотреть рельеф поверхности, зондированной с помощью системы X-SAR.

Далее приведен алгоритм увеличения спутниковых изображений на основе фрактального метода.

Суть алгоритма заключается в следующем. Рассмотрим элементы цифрового изображения, пиксели которого расположены по строкам i и столбцам j . Элементы изображения, расположенные на пересечении строк и столбцов представлены на рисунке 5.



Рисунок 6 – Элементы изображения, расположенные на пересечении строк и столбцов

Чтобы реализовать алгоритм, рассмотрим изображение как матрицу 5×5 , где каждый элемент этого массива задан набором цифровых комбинаций, представляющих цвет и интенсивность пикселя. Матрица 5×5 может быть расширена до матрицы 9×9 по формуле:

$$n_{i+1} = 2n_i - 1, \quad i = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

Для каждого пикселя рассчитывается средняя интенсивность I_{ave} угловых точек. А случайное число, выбранное из гауссова распределения G , используется для генерации нового значения интенсивности I_{new} по формуле:

$$I_{new} = I_{ave} + G \cdot Z^{(3-D)}, \quad (2)$$

где Z – расстояние от центральной точки до вершины;
 D – фрактальная размерность.

После того, как алгоритм применен для каждого пикселя, интенсивность будет известна по диагональной решетке, которая содержит как исходные значения интенсивности, так и вновь полученные (закрашенные окружности на рисунке 7а).

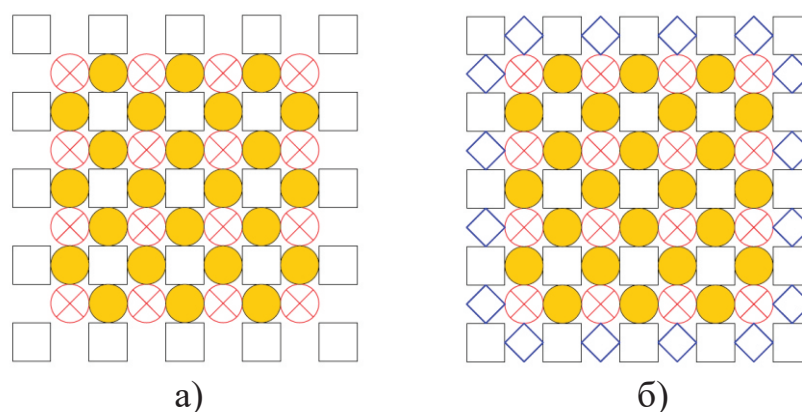


Рисунок 7 – Новые значения интенсивности

Данная процедура повторяется снова для интенсивностей центральных точек этой сетки. На этом этапе создается новое увеличенное изображение (рисунок 7б).

Полученное изображение содержит в три раза больше точек, чем исходное изображение. Процедуру можно повторять снова и снова, используя формулы (1) и (2). Так, полученная матрица 9×9 может быть увеличена до матрицы 17×17 , 33×33 , 65×65 и более, пока не будет достигнуто требуемое увеличение.

Алгоритм также используется для сжатия и восстановления исходных изображений, сделанных со спутника, чтобы увеличить емкость хранения на компьютере для дальнейшей передачи изображений на земные станции. Алгоритм может использоваться и для других объектов, где присутствуют фракталы.

Далее был рассмотрен способ фрактального сжатия изображений с модифицированной схемой покрытия ранговых блоков доменными.

Идея способа состоит в том, что вначале пользователь задает допустимую разницу между ранговым и доменным блоком. Затем на первом этапе ранговые блоки выбираются максимально большими, и в случае, если для них находится подходящий доменный блок, из которого ранговые блоки можно восстановить с потерями, не превышающими допустимую разницу, то происходит переход к следующему ранговому блоку такого же размера. Если блок не находится, то ранговый блок разбивается на стороны в два раза меньше начальной и уже для них ищутся доменные блоки, из которых можно восстановить ранговые.

Таким образом большие монотонные блоки кодируются малым числом записей в файле, а детализированные области на изображении будут кодироваться большим числом записей, что гарантирует высокое качество восстановленного изображения. Процесс показывает, как будет меняться нумерация блоков при разбиении на меньшие с целью улучшения качества восстановленного изображения.

На рисунке 8 представлен процесс разбиения изображения на ранговые блоки в различных итерациях с учетом допустимой ошибки.

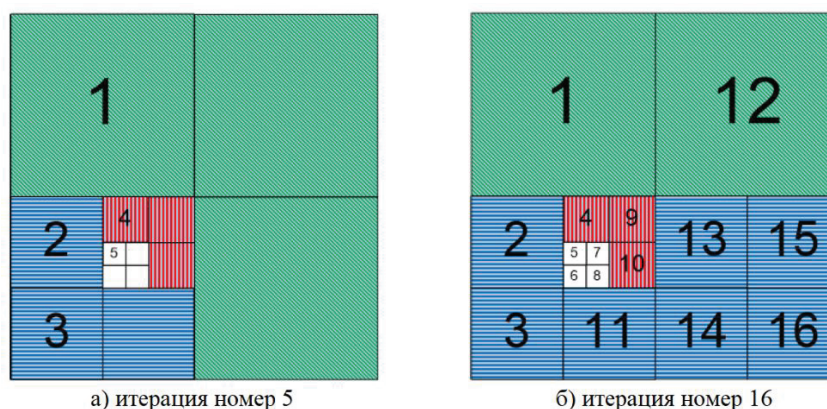


Рисунок 8 – Процесс разбиения изображения на ранговые блоки

Пятая итерация показывает, что номера записей присвоены тем ранговым блокам, для которых удалось найти подходящий доменный блок и преобразование. На последней итерации ранговым блокам уже присвоены номера записей.

Авторами публикации был проведен сравнительный анализ классического способа фрактального кодирования и модифицированного. Экспериментально показано, что способ с использованием дерева квадрантов ничем не уступает классическому способу сжатия. Наилучшие результаты модифицированный способ показывает для изображений, где присутствует монотонные области.

Далее приводится новый метод фрактально-скейлинговой или масштабно-инвариантной радиолокации.

Данный метод влечет за собой изменения в структуре теоретической радиолокации и в ее математическом аппарате.

Главное отличие предложенных автором фрактально-скейлинговых методов от классических связано с принципиально иным подходом к основным

составляющим физического сигнала. Это позволило перейти на новый уровень информационной структуры реальных сигналов и полей.

Идеология перехода к фрактально-скейлинговым обнаружителям базируется на концепции фрактальных радиосистем. В случае комплексирования классического обнаружителя с фрактальным обнаружителем повышается вероятность правильного распознавания и обнаружения.

Таким образом, использование фрактального принципа привело к переоценке ценностей в области обнаружения подвижных и неподвижных объектов на фоне интенсивных шумов и помех.

В научных работах авторами не была рассмотрена информация о том, насколько эффективно применять алгоритмы фрактального кодирования в спутниковой связи и какие при этом потребуются вычислительные ресурсы для обработки изображений. Поэтому изучение вопросов об эффективности алгоритмов фрактального кодирования для их применения в спутниковых системах связи является актуальной задачей на фоне рассмотренных научных публикаций, так как передача объемных данных по спутниковому каналу связи может быть долгой, и, теоретически, сжатие данных позволило бы ускорить процесс передачи информации с космических аппаратов.

Во второй главе (Программные реализации алгоритмов фрактальной обработки двумерных сигналов) описаны алгоритмы фрактального кодирования, произведен выбор программной среды для исследования модели и описана работа программных реализаций.

Прежде всего, для эффективного хранения и представления данных, необходимо выявить их структуру, что является важной особенностью для этих процессов. Методы фрактального кодирования используют определенный подход к обнаружению структуры в цифровом изображении.

Алгоритм кодирования для каждого рангового блока R_i находит подходящий доменный блок D_i и аффинное преобразование w_i , которое переводит доменный блок в данный ранговый блок (рисунок 9). При этом ранговые блоки покрывают все изображение.

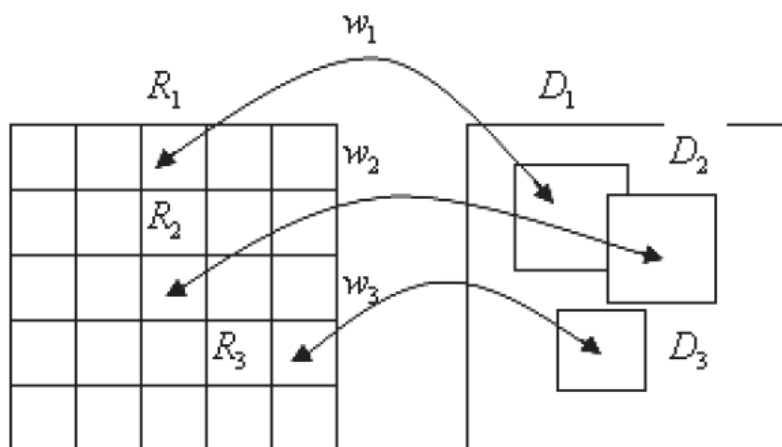


Рисунок 9 – Перевод доменных блоков в ранговые блоки

Среди программных сред для исследования модели были выбраны: Microsoft Visual Studio Code и IntelliJ IDEA, так как данные среды представляют собой единый интерфейс для разработки программ на различных языках программирования, позволяют обеспечить простую и быструю разработку, улучшить качества кода и минимизировать ошибки при разработке.

Далее приводится описание работы программных реализаций алгоритмов фрактального кодирования.

Всего были выбраны три программные реализации, написанные на трех разных языках программирования: Python, JavaScript и Java. Алгоритмы на языках программирования Python и JavaScript исследовались в программной среде Microsoft Visual Studio Code, а на языке Java в IntelliJ IDEA.

Реализация алгоритмов фрактального кодирования на языках программирования JavaScript и Java происходит по такому же принципу, как и у алгоритма на языке Python. Три алгоритма представлены с помощью метода классификации доменов, что делает их схожими друг с другом, но различными в практической реализации.

Описание полной работы алгоритмов на JavaScript и Java, к сожалению, авторами не приводится, но из представленного описания к работам можно понять, что данные реализации основываются по единому принципу.

В третьей главе (Результаты исследования программных реализаций обработки двумерных сигналов на основе фрактальных алгоритмов) изложены результаты исследования программных реализаций на трех языках программирования.

Так как кодирование у фрактальных алгоритмов занимает достаточное количество времени для обработки больших изображений, то было решено уменьшить размер изображения до 512×512 пикселей и показать работу алгоритмов. Время, потраченное на обработку у программной реализации №1 на языке Python, составляет примерно семь минут на каждый снимок, а у программной реализации №2 на языке JavaScript время обработки составляет три минуты на каждый снимок. После обработки алгоритмами размер исходных изображений был уменьшен приблизительно в четыре раза.

Программная реализация №3 на языке программирования Java требует большой вычислительной мощности машины, на которой запускается, поэтому изображение местности было так же уменьшено до размера 512×512 пикселей.

При тестировании реализации №3 было установлено, что при изменении параметров доменных областей и мозаичных пикселей можно добиться лучшего качества обработанного изображения и вес изображения может уменьшиться достаточно ощутимо. С исходных 463 КБ вес изображения стал 37,5 КБ, но на обработку изображения вычислительной машине потребовался целый час.

Среди всех программных реализаций показала лучшую эффективность реализация №2, так как процесс кодирования у нее занимает меньше всего времени и качество изображений ухудшается незначительно, но при этом вес исходного изображения может меняться достаточно ощутимо.

Чтобы понять, насколько эффективно применять алгоритмы фрактального кодирования изображений для обработки спутниковых снимков, необходимо

сравнить скорость передачи изображений на земные станции без применения алгоритмов фрактального кодирования и с ними.

Процесс передачи снимков с космического аппарата был описан в первой главе, таким образом, скорость передачи по каналу связи на орбите Земли будет равна 300 Мбит в секунду, то есть 37,5 МБ в секунду.

Для примера будет использован объем информации одного изображения без сжатия 10 МБ, а объем одного изображения сжатого с использованием фрактальных алгоритмов будет 2,5 МБ, то есть одно изображение будет сжато в четыре раза. Минимальное время, потраченное на кодирование одного изображения, будет равняться трем минутам.

Для сравнения эффективности передачи ста изображений с помощью алгоритмов фрактального кодирования и без них, нужно воспользоваться формулами (3) и (4).

$$t_1 = \frac{i_1 \times 100}{v_1}, \quad (3)$$

$$t_2 = \frac{i_2 \times 100 \times 180}{v_1}, \quad (4)$$

где t_1 – время передачи данных без использования фрактального кодирования;

t_2 – время передачи данных с использованием фрактального кодирования;

i_1 – объем информации без сжатия изображений алгоритмами фрактального кодирования;

i_2 – объем информации с использованием сжатия изображений алгоритмами фрактального кодирования;

v_1 – скорость передачи данных по каналу связи между спутниковым аппаратом и земной станцией.

Таким образом, с помощью формул (3) и (4), можно рассчитать скорость для каждого вида передачи данных:

$$t_1 = \frac{10 \times 100}{37,5} = 27 \text{ секунд},$$

$$t_2 = \frac{2,5 \times 100 \times 180}{37,5} = 20 \text{ минут}.$$

Из расчетов видно, что применение рассмотренных алгоритмов фрактального кодирования неэффективно в цифровой обработке спутниковых изображений, так как время, необходимое для кодирования, очень велико и оказывает большое влияние на нужный результат. Но, если доработать фрактальные алгоритмы в сторону уменьшения времени кодирования до нескольких секунд, то можно будет добиться хороших результатов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения магистерской диссертации была достигнута цель по исследованию методов обработки двумерных сигналов на основе фрактальных алгоритмов. Алгоритмы были исследованы на эффективность в цифровой обработке изображений, полученных со спутника. В ходе выполнения работы был поставлен и решен ряд задач.

Первой задачей является выявление актуальности исследования и приведение практических примеров методов обработки двумерных сигналов. В ходе выполнения первой задачи были рассмотрены области применения методов обработки двумерных сигналов и приведена их классификация в соответствии с применением источников, формирующих изображения. Источники в видимом и инфракрасном диапазоне получили более широкое применение, так как они являются наиболее привычными для восприятия человеком и именно с помощью данных источников осуществляется процесс дистанционного зондирования поверхности планеты.

Второй задачей было изучение процесса цифровой обработки спутниковых изображений. Так, в ходе изучения поставленной задачи, было установлено, что прежде чем увидеть снимки с космического аппарата на компьютере, необходимо выполнить три важных этапа: осуществить процесс съемки, передать информацию с космического аппарата на земную станцию и уже потом принять данные на земной станции.

Космические аппараты связываются с земными станциями как в глубоком космосе, так и на околоземной орбите. Именно на орбите осуществляется процесс дистанционного зондирования Земли, при котором ученые получают снимки поверхности планеты, помогающие эффективно использовать ее ресурсы и управлять ими. Передача данных на земные станции происходит по схеме цифровой системы связи, где важную роль играет блок кодера источника, в котором осуществляется сжатие информации с целью повышения скорости передачи. На данный момент скорость передачи сигнала с орбиты Земли на земную станцию составляет 300 Мбит в секунду. Так же, важным фактором является то, что оборудование на спутниковом аппарате должно быть защищено от негативного воздействия окружающей среды и потреблять минимум энергии. На сегодняшний день самым мощным и защищенным от различных воздействий в космическом пространстве является процессор RAD5545 от компании BAE Systems.

В третьей задаче необходимо было провести анализ классических методов масштабирования изображений. В ходе выполнения задачи были изучены однокадровые и многокадровые методы масштабирования, а также было установлено, что во всех методах масштабирования есть ряд недостатков, таких как неровности, размытие и перепады интенсивности на изображении.

В четвертой задаче рассматривались основные стадии и компоненты цифровой обработки изображений. В ходе выполнения задачи были рассмотрены основные стадии, такие как: перевод изображения в цифровую форму, выбор среды обработки, улучшение изображения, восстановление, сжатие, сегментация, стадия представления и стадия распознавания. Были рассмотрены основные

компоненты универсальной системы обработки цифровых изображений, такие как: подсистема регистрации изображений, специализированные устройства обработки, компьютер или вычислительная машина, подсистема отображения, подсистема массовой памяти, подсистема обработки изображений и подсистема выдачи твердых копий. Было установлено, что от сложности поставленной задачи обработки изображения зависит количество стадий и компонентов для ее выполнения.

В пятой задаче рассматривались методы обработки двумерных сигналов на основе фрактальных алгоритмов. При рассмотрении методов обработки сигналов было установлено, что главное отличие фрактального кодирования от классических методов в высокой степени сжатия и высокой скоростью восстановления данных. Недостатком фрактального кодирования является большой объем вычислений, а также продолжительное время кодирования, которое будет зависеть от сложности доменно-рангового сопоставления и их количества.

Шестой задачей было проведение анализа научных публикаций по теме исследования. На основе обзора публикаций был также проведен анализ состояния области исследования и сделан вывод, что потенциально применение алгоритмов фрактального кодирования в спутниковых системах связи является актуальной задачей и сжатие данных такими алгоритмами могло бы ускорить процесс передачи информации с космических аппаратов.

Седьмой задачей необходимо было привести описание алгоритмов фрактального кодирования. В ходе выполнения задачи было определено, что методы фрактального кодирования используют определенный подход к обнаружению структуры в цифровом изображении, такой как поиск самоподобных участков. Алгоритм кодирования для каждого рангового блока находит подходящий доменный блок и аффинное преобразование, которое переводит доменный блок в ранговый, и при этом ранговые блоки будут покрывать все изображение. Но, так как фрактальные алгоритмы требуют большой вычислительной мощности, то в настоящее время используются два подхода увеличения скорости кодирования: классификация доменов и поиск определенных особенностей, по которым оцениваются доменные и ранговые области.

В восьмой задаче нужно было выбрать программную среду для построения модели. При выборе среды исследования необходимо было руководствоваться производительностью и качеством машинного кода, который будет генерироваться в среде. Среди массы средств разработки кода были выбраны наиболее подходящие под работу фрактального кодирования – это Microsoft Visual Studio Code и IntelliJ IDEA. Данные среды представляют собой единый интерфейс для разработки программ на различных языках программирования, позволяют обеспечить простую и быструю разработку, улучшить качества кода и минимизировать ошибки при разработке.

В девятой задаче нужно было привести описание работы программных реализаций. Всего для исследования были выбраны три программные реализации, написанные на языках программирования Python, JavaScript и Java. Данные

реализации имеют схожую теоретическую основу фрактального кодирования, но различны в практическом использовании. В ходе выполнения задачи было приведено описание работы каждого алгоритма и примеры их работы в программных средах.

Последняя задача состояла в проведении исследования программных реализаций и написании соответствующих выводов о возможности применения фрактального кодирования в обработке спутниковых изображений. В ходе выполнения задачи было выявлено, что среди рассмотренных программных реализаций лучшую эффективность показала программная реализация №2. Скорость обработки одного изображения размером 512×512 составила три минуты, что в разы меньше чем у других программных реализаций. Но время, для применения рассмотренных фрактальных алгоритмов в цифровой обработке спутниковых изображений, достаточно велико, чтобы эффективно обработать и передать изображение на земную станцию. Так, было установлено, что для передачи ста изображений без использования фрактального кодирования, с размером одного изображения 10 МБ, потребуется всего 27 секунд, а для передачи ста изображений, сжатых в четыре раза, и размерами одного изображения 2,5 МБ, потребуется 20 минут. Поэтому применение рассмотренных алгоритмов фрактального кодирования неэффективно в цифровой обработке спутниковых изображений из-за времени кодирования. Фрактальные алгоритмы необходимо дальше исследовать и искать возможные решения по устранению проблемы с требуемой большой вычислительной мощностью и временем кодирования изображений.

Практическая ценность магистерской диссертации состоит в изучении вопросов применения алгоритмов фрактального кодирования для использования их в цифровой обработке изображений в спутниковых системах связи.

Основные теоретические и практические результаты работы.

- 1) Исследованы алгоритмы фрактального кодирования в цифровой обработке изображений;
- 2) Исследованы программные реализации алгоритмов фрактального кодирования;
- 3) Проведен анализ методов повышения скорости фрактального кодирования;
- 4) Рассмотрены и выявлены проблемы алгоритмов фрактального кодирования для применения в спутниковых системах связи;

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1 Тычинкин, С. А. Рациональность применения методов масштабирования изображений на основе фрактальных алгоритмов в спутниковых системах связи / С. А. Тычинкин, Д. В. Кусайкин // «Инфокоммуникационные технологии: актуальные вопросы цифровой экономики»: Сборник научных трудов I Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 17–18 февраля 2021 года.

2 Тычинкин, С. А. О программных реализациях фрактальных методов сжатия цветных изображений / С. А. Тычинкин // «Стратегия современного научно-технологического развития России: проблемы и перспективы реализации»: сборник статей III Всероссийской научно-практической конференции, Петрозаводск, 17 мая 2021 года.

3 Тычинкин, С. А. О методах повышения скорости фрактального кодирования изображений / С. А. Тычинкин, Д. В. Кусайкин // «Информационные технологии и когнитивная электросвязь»: Сборник научных трудов VII Всероссийской научно-практической конференции, Екатеринбург, 18 мая 2021 года.