

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.391

Новицкий
Виталий Владимирович

Сжатие и передача мультиспектральных изображений

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук

по специальности 1-45 80 02 Телекоммуникационные системы
и компьютерные сети

Научный руководитель

Цветков Виктор Юрьевич
кандидат технических наук, доцент

Минск 2017

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время дистанционное зондирование Земли – это быстро развивающаяся отрасль, использующая передовые технологии и разработки. Снимки, получаемые в процессе дистанционного зондирования Земли, представляют ценность в различных областях человеческой деятельности, таких как картография, сельское хозяйство, мониторинг чрезвычайных ситуаций, строительство сотовых сетей связи и так далее. Однако для получения более полной и полезной информации об окружающем мире необходимо вести съемку в нескольких спектральных диапазонах, поэтому современные спутники оснащаются мультиспектральной и гиперспектральной съемочной аппаратурой.

В задачах передачи, обработки и хранения изображений важную роль занимают методы сжатия данных, потому что даже незначительное сокращение информации позволит увеличить объем передачи и хранения данных. В случае с космическими аппаратами ДЗЗ, это еще и позволяет увеличить маршрут съёмки, что является важной характеристикой съёмочной аппаратуры. В этом случае качество работы алгоритмов сжатия непосредственно сказывается на эффективности применения съёмочных систем.

В мультиспектральной съёмочной аппаратуре поток выходных данных существенно больше, чем в панхроматической, поэтому сжатие здесь приобретает ключевое значение. В то же время информация в каждом спектральном канале МСИ имеет равнозначную степень важности, поэтому для сжатия МСИ рекомендуют в первую очередь методы без потерь.

Существующие алгоритмы сжатия обеспечивают хорошую степень компрессии, однако они как правило имеют высокую вычислительную сложность и не подходят для реализации в специализированной аппаратуре. Поэтому задача разработки аппаратно-ориентированного алгоритма сжатия мультиспектральных изображений является актуальной.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность выбранной темы обусловлена необходимостью сжатия высокоскоростного потока мультиспектральных изображений в условиях ограниченных вычислительных ресурсов съемочной системы спутника ДЗЗ. В процессе выполнения диссертационной работы соискателем предложен новым алгоритм вейвлет-сжатия изображений НВСТ и структурная схема многоканального кодека сжатия МСИ на его основе.

В работе изложен подробный анализ свойств дискретного вейвлет-преобразования, лучшего варианта кодирования вейвлет-коэффициентов с точки зрения быстродействия и вычислительной сложности, а также рассмотрены варианты по улучшению качества сжатия без существенного ущерба для основных достоинств предложенного алгоритма. Кроме этого, в работе проанализирована структура МСИ, степень корреляции битовых плоскостей его спектральных каналов, и на основании этого анализа предложена структурная схема кодека сжатия МСИ.

Степень разработанности проблемы

Исследования, посвященные разработке и усовершенствованию методов сжатия изображений на основе дискретного вейвлет-преобразования широко освещены в работах зарубежных ученых: И. Добеши, С. Молла, Д. Шапиро, В. Перлмана, А. Саида, Д. Таубмана и др.

Среди отечественных ученых весомый вклад в решение данной проблемы внесли В. Цветков и А. Борискевич. Именно их метод сжатия изображений МЕСТ послужил прототипом для разработки НВСТ.

Недостатками большинства существующих алгоритмов вейвлет-сжатия является низкое быстродействие и неспособность к распараллеливанию вычислений, что препятствует их реализации в аппаратуре ДЗЗ. В процессе устранения этих недостатков и был разработан алгоритм НВСТ.

Цель и задачи исследования

Целью диссертации является разработка кодека сжатия мультиспектральных изображений Земной поверхности.

Для выполнения поставленной цели в работе были сформулированы следующие задачи:

- выбор прототипа для разработки аппаратного алгоритма сжатия аэрокосмических снимков, который способен давать хорошие результаты как в режиме сжатия без потерь, так и с потерями;
- разработка алгоритма аппаратного сжатия на основе выбранного прототипа, его программное моделирование и анализ результатов;

- анализ возможностей по усовершенствованию разработанного алгоритма за счет квантования и энтропийного кодирования;
- разработка многоканального кодека на основе усовершенствованного алгоритма для сжатия мультиспектральных изображений.

Объектом исследования являются методы и средства сжатия изображений земной поверхности.

Предметом исследования являются методы и средства прогрессивного и вложенного сжатия мультиспектральных изображений земной поверхности.

Область исследования. Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-45 80 02 «Телекоммуникационные системы и компьютерные сети».

Теоретическая и методологическая основа исследования

В основу диссертации легли результаты исследований различных ученых специализирующихся на разработке алгоритмов вейвлет-сжатия изображений.

Для получения теоретических результатов исследования широко использовалось моделирование в интегрированной среде Matlab/C++ и САПР ActiveHDL.

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке нового метода сжатия спутниковых изображений и многоканального кодека на его основе.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Метод сжатия спутниковых изображений на основе вложенного кодирования координат значимых бит, отличающийся способом препроцессинга и кодирования, что обеспечивает повышение быстродействия до 10 раз и коэффициента сжатия до 5%.

2. Модификация метода сжатия спутниковых изображений на основе вложенного кодирования координат значимых бит, отличающаяся использованием энтропийного кодирования и скалярного квантования, что обеспечило повышение пикового соотношения сигнал/шум до 1 дБ и коэффициента сжатия до 7%.

Теоретическая значимость диссертации состоит в разработке нового метода вейвлет-сжатия изображений НВСТ и предложении вариантов по его усовершенствованию.

Практическая значимость диссертации состоит в разработке структуры многоканального кодека сжатия МСИ на основе метода НВСТ, который может быть использован в целевой аппаратуре спутника ДЗЗ.

Апробация и внедрение результатов исследования

Результаты исследований, включенные в диссертацию были доложены на международном научно-техническом семинаре «Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных».

Публикации

Основные положения работы и результаты диссертации изложены в трех опубликованных работах общим объемом 20 с. (авторский объем 20 с.).

Структура и объем работы

Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка и приложения. Общий объем диссертации – 65 страниц. Работа содержит 11 таблиц, 43 иллюстрации. Библиографический список включает 35 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель диссертации и задачи для ее достижения, изложены основные положения.

В первой главе дан детальный анализ зарубежной и отечественной научно-технической литературы по выбранной теме. Приведены аргументы в пользу дискретного вейвлет-преобразования как лучшего базиса для декорреляции пикселей изображения и получения хорошего качества восстановленного изображения. Рассмотрено быстрое ДВП на основе лифтинговой схемы и показаны способы для обобщения ее на случай двумерного сигнала (изображения). Также рассмотрены наиболее известные алгоритмы вейвлет-сжатия такие как EZW, SPIHT, SPECK, EBCOT, JPEG2000 и проанализированы их преимущества и недостатки. На основании данного анализа выбран прототип для разработки собственного метода. В конце главы были освещены технологии формирования и свойства мультиспектральных изображений.

Во второй главе проанализированы недостатки прототипа – алгоритма МЕСТ и сформулированы требования к разработке нового метода НВСТ. Данный метод состоит из трех основных этапов:

- сканирование матрицы вейвлет-коэффициентов исходного изображения в одномерный массив по прогрессивной Z-развертке;
- вложенное кодирование сегментов массива с возможностью множественного распараллеливания;

– формирование прогрессивного потока из выходных данных этапа вложенного кодирования (сегментов знаков значащих бит и сегментов вложенного кода трех типов);

Выходной поток в методе НВСТ получается отсортированным по убыванию важности закодированной информации слева направо, поэтому сжатие с потерями осуществляется простым отсечением части потока справа пропорционально коэффициенту сжатия. Далее приводится численное сравнение методов НВСТ, МЕСТ и JPEG2000 и показывается, что НВСТ превосходит прототип, но уступает стандарту.

В третьей главе приводится анализ возможностей по усовершенствованию метода НВСТ для того, чтобы нивелировать его отставание от JPEG2000 без существенного ущерба для основных преимуществ. С этой целью детально рассматривается энтропийное кодирование и скалярное квантование. Показано, что с помощью простых, но дифференцированных префиксных кодов Хаффмана можно получить выигрыш в сжатии без потерь над методом JPEG2000. Скалярное квантование позволяет сократить отставание от стандарта и существенно упрощает третий этап кодирования по методу НВСТ.

В четвертой главе детально рассматривается структура мультиспектрального изображения и делается анализ корреляции спектральных каналов и их битовых плоскостей на основании значения средней ошибки. Результаты анализа показывают, что наиболее коррелированы между собой пиксели соседних каналов, поэтому выгодно кодировать опорный спектральный канал как отдельное изображение, а для оставшихся каналов вычислять разность соседей и кодировать ее ядром метода НВСТ. Также выяснено, что на битовом уровне наиболее коррелированы между собой старшие битовые плоскости, а младшие представляют собой некоррелированный шум, поэтому их выгодно передавать без кодирования. Конечный вариант многоканального кодека сжатия МСИ предполагает выполнять декорреляцию старших и средних битовых плоскостей соседних каналов с помощью операции поразрядного или и сжимать их ядром метода НВСТ, а младшие битовые плоскости передавать без дополнительного кодирования. Данный кодек обладает низкой вычислительной сложностью и высоким быстродействием и позволяет получать выигрыш до двух раз при сжатии МСИ по сравнению со сжатием спектральных каналов по отдельности.

В заключении подводятся итоги диссертационной работы и делается вывод о ее соответствии цели и поставленным задачам, а также теоретической и практической значимости.

В приложении приводится листинг кода C++ для целочисленного арифметического кодера с адаптивной кумулятивной моделью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В магистерской диссертации детально рассмотрены наиболее известные алгоритмы вейвлет-сжатия изображений и проанализированы их достоинства и недостатки. На основании данного анализа был выбран прототип для разработки собственного алгоритма сжатия изображений – алгоритм МЕСТ.

Целью разработки собственного алгоритма было получение быстрого аппаратно-ориентированного алгоритма с небольшой вычислительной сложностью для реализации его в кристалле ПЛИС целевой аппаратуры спутника ДЗЗ. В результате устранения недостатков МЕСТ был разработан такой алгоритм и получил название НВСТ. Программное моделирование НВСТ показало, что он уступает алгоритму JPEG2000 как в сжатии с потерями, так и без потерь, однако НВСТ существенно быстрее за счет высокой степени параллелизма и лучше подходит для реализации в ПЛИС.

Следующим этапом была задача поиска возможностей по улучшению алгоритма НВСТ без существенного ущерба для его высокой скорости и небольшой вычислительной сложности. Это предлагалось сделать за счет дополнительного энтропийного кодирования и скалярного квантования. В результате было показано, что дифференцированное кодирование Хаффмана четырехбитных кластеров вложенного кода позволяет догнать JPEG2000 в сжатии без потерь, при этом несущественно ухудшая основные достоинства НВСТ. Также хорошо себя зарекомендовало скалярное квантование, которое позволяет улучшить качество восстанавливаемых изображений и имеет потенциал для того, чтобы вплотную приблизиться к JPEG2000 по метрике PSNR.

Заключительным этапом настоящей магистерской диссертации была разработка многоканального кодека для сжатия МСИ. В процессе была проанализирована структура МСИ и показано, что битовые плоскости соседних спектральных каналов достаточно сильно коррелированы между собой. Поэтому можно использовать ядро алгоритма НВСТ для кодирования разности битовых плоскостей, не используя при этом трехмерного ДВП, что существенно упрощает вычислительную сложность кодека сжатия МСИ.

Таким образом, в процессе подготовки данной магистерской диссертации были успешно решены все задачи, поставленные во введении. Результаты настоящей магистерской диссертации могут быть применены в съемочной аппаратуре спутника ДЗЗ для уменьшения избыточности целевой информации и увеличения пропускной способности ВРЛ.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА

А1. Новицкий, В.В. Реализация кодека кластерного вейвлет-сжатия спутниковых изображений в интегрированной среде Matlab/C / В.В. Новицкий, Х.К. Аль-Бахдили, М.Х. Салек, Е.Г. Макейчик // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных: материалы междунар. научно-технич. семинара. Минск, апрель–декабрь 2014 г. – Мн.: БГУИР, 2014. – С. 16-20.

А2. Новицкий В.В., Цветков В.Ю. Сжатие полутонных изображений на основе кластеризации и прогрессивного вложенного кодирования вейвлет-коэффициентов / В.В. Новицкий, В.Ю. Цветков // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных: материалы междунар. научно-технич. семинара. Минск, апрель–декабрь 2015 г. – Мн.: БГУИР, 2015. – С. 45-51.

А3. Новицкий, В.В. Аппаратно-ориентированный алгоритм сжатия изображений на основе адаптивной иерархической кластеризации вейвлет-коэффициентов / В.В. Новицкий, В.Ю. Цветков, К.М.О. Аль-Гертани, А.А.Р. Аль-Аббуди // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных: материалы междунар. научно-технич. семинара. Минск, апрель–декабрь 2016 г. – Мн.: БГУИР, 2016. – С. 43-50.