

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

УДК 621.391

Лопато  
Андрей Геннадьевич

Реализация на ПЛИС и исследование эффективности кодека вейвлет-сжатия спутниковых изображений

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук

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

Научный руководитель

Дворников Виктор Дмитриевич  
кандидат технических наук, доцент

Минск 2019

## КРАТКОЕ 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.

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.

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 изображений является актуальной.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность выбранной темы** обусловлена необходимостью сжатия высокоскоростного потока аэрокосмических изображений в условиях ограниченных вычислительных ресурсов съёмочной системы спутника ДЗЗ. В процессе выполнения диссертационной работы соискателем предложен новым алгоритм вейвлет-сжатия изображений Адаптивный *RLE*, а так же разработана его аппаратная реализация на ПЛИС.

В работе изложен подробный анализ свойств дискретного вейвлет-преобразования, лучших вариантов 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.

### **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.Ю. Цветков и А.А. Борискевич.

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 Адаптивного *RLE*.

#### **Цель и задачи исследования**

Целью данной работы является разработка аппаратного алгоритма сжатия аэрокосмических снимков, который способен давать хорошие результаты как в режиме сжатия без потерь, так и с потерями, а так же иметь оптимальный объём используемых ресурсов и высокое быстродействие.

Для выполнения поставленной цели в работе были сформулированы следующие задачи:

- выбор прототипа для разрабатываемого алгоритма;
- разработка алгоритма аппаратного сжатия на основе выбранного прототипа, его программное моделирование и анализ результатов;
- оценка результатов и выводы о качестве созданного аппаратного алгоритма сжатия аэрокосмических снимков.

**Объектом** исследования являются методы и средства сжатия изображений земной поверхности.

**Предметом** исследования являются методы и средства кодирования длин серий.

**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 *Xilinx Vivado 2016.4*.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в разработке нового алгоритма сжатия спутниковых изображений и его аппаратной реализации на ПЛИС.

#### **Основные положения, выносимые на защиту**

1. Метод сжатия спутниковых изображений на основе *RLE*, отличающийся переменной разрядностью счётчика длин серий, что обеспечивает повышение коэффициента сжатия до 20%.

2. Аппаратная реализация разработанного алгоритма на ПЛИС в виде конвейеризированного параметризуемого поточного процессора данных, занимающего минимальный объем ресурсов кристалла при максимальной скорости обработки и широкий диапазон пропускной способности.

**Теоретическая значимость** диссертации состоит в разработке нового метода вейвлет-сжатия изображений Адаптивного *RLE*.

**Практическая значимость** диссертации состоит в разработке аппаратной реализации кодека сжатия адаптивного *RLE*, который может быть использован в целевой аппаратуре спутника ДЗЗ.

### **Публикации**

Основные положения работы и результаты диссертации изложены в двух опубликованных работах общим объемом 8 с.

### **Структура и объем работы**

Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, трёх глав, заключения, библиографического списка и приложения. Общий объем диссертации – 92 страниц. Работа содержит 17 таблиц, 54 иллюстрации. Библиографический список включает 31 наименование.

## **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 *RLE*, *EZW*, *SPIHT*, *SPECK*, *EBCOT*, *JPEG2000* и проанализированы их преимущества и недостатки. На основании данного анализа выбраны прототипы для разработки собственного метода.

Во второй главе проанализированы недостатки и преимущества прототипов – алгоритмов *SPECK*, *JPEG2000* и *RLE*, разработан новый алгоритм на их базе – Адаптивный *RLE*. Данный алгоритм состоит из двух основных этапов:

– сканирование матрицы вейвлет-коэффициентов исходного изображения в одномерный массив;

– кодирование длин серий с переменной длиной счётчика и переход к вставке несжатой последовательности при нецелесообразности дальнейшего кодирования.

Далее приводится численное сравнение методов *SPECK*, *JPEG2000* и Адаптивного *RLE* и показывается, что адаптивный *RLE* превосходит *JPEG2000* по простоте реализации, и не уступает *SPECK* по степени сжатия..

В третьей главе приводится описание применённых средств реализации аппаратной модели кодера, устройство микросхем ПЛИС и особенности среды разработки, ход процесса реализации. Уделено внимание важным деталям аппаратного модуля, приведены структурные схемы отдельных её частей. Так же рассмотрена реализация предыдущих этапов системы сжатия – вейвлетного преобразования, транспонирования, буферизации, квантования изображений. При сравнении аппаратной реализации разработанного алгоритма и аппаратной реализации *JPEG2000* было продемонстрировано более эффективное использование ресурсов кристалла ПЛИС.

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 *Verilog* для аппаратной реализации разработанного кодера.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В магистерской диссертации детально рассмотрены наиболее известные алгоритмы вейвлет-сжатия изображений и проанализированы их достоинства и недостатки. На основании данного анализа были выбраны прототипы для разработки собственного алгоритма сжатия изображений – алгоритмы *RLE*, *SPECK* и *JPEG2000*.

В результате был разработан алгоритм, получивший название Адаптивный *RLE*. Программное моделирование показало, что он уступает алгоритму *JPEG2000* как в сжатии с потерями, так и без потерь, однако существенно быстрее за счет высокой степени параллелизма и лучше подходит для реализации в ПЛИС.

Заключительным этапом настоящей магистерской диссертации была разработка аппаратной реализации полученного алгоритма. Полученная аппаратная реализация многократно превосходит реализацию *JPEG2000* по соотношению скорость обработки/занимаемые ресурсы, не требует дополнительных этапов буферизации, а так же позволяет варьировать пропускную способность и объём используемых ресурсов для конкретных задач.

## ОПУБЛИКОВАННЫЕ РАБОТЫ

A1. Лопато А.Г. Вейвлет-сжатие гиперспектральных изображений земной поверхности / Новицкий В.В., Лопато А.Г., Юницкая А.А., Мирончик Д.Ю. // Наука – образованию, производству, экономике: Материалы 15-й Международной научно-технической конференции. Минск, апрель – декабрь 2017 г. – Мн.: БНТУ, 2017. – С. 267.

A2. Лопато А.Г., Цветков В.Ю. Сжатие полутоновых изображений на основе адаптивного RLE-кодирования с переменной разрядностью счётчика серий / Лопато А.Г., Цветков В.Ю. // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных. Материалы международного научно-технического семинара. Минск, ноябрь – декабрь 2018 г. – Мн.: БГУИР, 2018. – С. 5 – 9.