**Министерство образования и науки Российской федерации**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

**«Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет»**

Институт кибернетики  
Направление – информатика и вычислительная техника  
Кафедра автоматизации и компьютерных систем

**МОДУЛЬ СЖАТИЯ ГИПЕР- И МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА GEOIMAGEFACTORY НА ОСНОВЕ ДВУМЕРНОГО ВЕЙВЛЕТ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ**

**Выпускная квалификационная работа  
на соискание квалификации бакалавр**

Студент гр. 8В84 ИК ТПУ  А.М. Турдубаев

Руководитель

Аспирант каф. ОСУ ИК ТПУ Э.В. Малахов

**Допустить к защите**

Зав. кафедрой АиКС ИК ТПУ,

д.т.н., профессор Г.П. Цапко

Томск – 2012

**Министерство образования и науки Российской федерации**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

**«Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет»**

Кафедра АиКС ИК ТПУ

**УТВЕРЖДАЮ:**  
Зав. каф. АиКС / Г.П. Цапко

**ЗАДАНИЕ  
на выполнение выпускной квалификационной работы**

Студенту гр. 8В84 Турдубаеву Алтынбеку Маматшариповичу

1. **Тема выпускной квалификационной работы** «Модуль сжатия гипер- и мультиспектральных данных для программного комплекса GeoImageFactory на основедвумерного вейвлет преобразования» утверждена приказом №\_\_\_\_\_ от «\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_2012 г.
2. **Срок сдачи студентом готовой работы:** 08 июня 2012 г.
3. **Исходные данные к работе:**
   1. Ознакомиться с процессом дистанционного зондирования Земли.
   2. Изучить метод вейвлет-преобразования для подготовки данных к сжатию.
   3. Программно реализовать метод вейвлет-преобразования Хаара в виде модуля комплекса GeoImageFactory.
   4. Выполнить тестирование разработанного модуля.
4. **Содержание текстового документа (перечень подлежащих проработке вопросов):**
   1. Процесс дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).
   2. Проблема обработки данных дистанционного зондирования Земли.
   3. Архитектура программного комплекса GeoImageFactory.
   4. Вейвлет-преобразование как метод подготовки данных для сжатия.
   5. Описание применения вейвлета Хаара для сжатия двумерных аэрокосмических изображений.
5. **Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы:** 20 января 2012 г.

Руководитель

Аспирант каф. ОСУ ИК ТПУ / Э.В. Малахов

Задание принял к исполнению / А.М. Турдубаев

Реферат

Дипломная работа на тему «Модуль сжатия гипер- и мультиспектральных данных для программного комплекса GeoImageFactory на основе двумерного вейвлет-преобразования» решает задачу сжатия данных дистанционного зондирования Земли на основе дискретного вейвлет-преобразования Хаара.

Исходя из поставленной задачи, в работе подробно рассмотрена область дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в целом и проблема хранения данных ДЗЗ в частности, архитектурные особенности системы GeoImageFactory, а также дискретное вейвлет-преобразование, как метод подготовки данных для сжатия.

В работе также рассматривается процесс дистанционного зондирования, задача эффективного хранения данных ДЗЗ, а также предлагается метод решения этой задачи с использованием двумерных вейвлет-преобразований.

Работа представляет интерес для специалистов, работающих в области обработки данных ДЗЗ, а также для всех, кому интересна данная тематика. Работа содержит 1таблицу, 9 рисунков и 2 приложения. Общий объем работы составляет 51 страницу. Структура работы представлена списком определений, введением, тремя главами, заключением, списком литературы, а также приложениями

# Содержание

[Содержание 4](#_Toc327297312)

[Определения 6](#_Toc327297313)

[Введение 8](#_Toc327297314)

[1. Введение в предметную область и постановка задачи 9](#_Toc327297315)

[1.1 Введение в дистанционное зондирование Земли 9](#_Toc327297316)

[1.1.1 Процесс дистанционного зондирования Земли 9](#_Toc327297317)

[1.1.2 Искусственные спутники Земли 10](#_Toc327297318)

[1.1.3 Аппаратура дистанционного зондирования 12](#_Toc327297319)

[1.1.4 Средства передачи данных на Землю по каналу радиосвязи 13](#_Toc327297320)

[1.1.5 Виды аэрокосмических изображений 13](#_Toc327297321)

[1.1.6 Характеристики мульти- и гиперспектральных аэрокосмических избражений 15](#_Toc327297322)

[1.2 Задача приема, обработки и хранения данных ДЗЗ 19](#_Toc327297323)

[1.2.1 Восстановление (коррекция) видеоинформации 20](#_Toc327297324)

[1.2.2 Классификация 21](#_Toc327297325)

[1.2.3 Преобразование изображений 23](#_Toc327297326)

[1.2.4 Специализированная тематическая обработка 23](#_Toc327297327)

[1.3 Программный комплекс GeoImageFactory 24](#_Toc327297328)

[1.3.1 GeoImageFactory API 25](#_Toc327297329)

[1.3.2 Фильтры 25](#_Toc327297330)

[1.3.3 Создание экземпляров фильтра 26](#_Toc327297331)

[1.3.4 Монтирование фильтров 26](#_Toc327297332)

[1.3.5 Взаимодействие фильтров 26](#_Toc327297333)

[1.4 Постановка задачи 27](#_Toc327297334)

[2. Вейвлет-преобразование, как метод подготовки данных для сжатия 28](#_Toc327297335)

[2.1 Требования к вейвлетам 29](#_Toc327297336)

[2.2 Свойства вейвлет-преобразования 30](#_Toc327297337)

[2.3 Виды вейвлет-преобразований 31](#_Toc327297338)

[3. Модуль вейвлет-преобразования 35](#_Toc327297339)

[3.1 Принципиальная схема процесса сжатия в терминах комплекса GeoImageFactory 35](#_Toc327297340)

[3.2 Реализация модуля вейвлет-преобразования (WLT) 36](#_Toc327297341)

[3.3 Схема и порядок тестирования 40](#_Toc327297342)

[Заключение 41](#_Toc327297343)

[Список использованных источников 44](#_Toc327297344)

[Приложение А. Листинг программного кода 46](#_Toc327297345)

[Приложение Б. Блок-схемы алгоритма 52](#_Toc327297346)

# Определения

1. *GeoImageFactory* – это технология, позволяющая пользователям создавать хорошо настраиваемые программные модули для обработки данных дистанционного зондирования.
2. *Вейвлеты* (от *англ.* wavelet) – это математические функции, позволяющие анализировать различные частотные компоненты данных.
3. *Вейвлет-преобразование (ВП)* – это [интегральное преобразование](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5), представляющее собой [свертку](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%BA%D0%B0) [вейвлет](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B5%D0%B9%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D1%82)-функции с сигналом и позволяющее выделить в исходных данных высокочастотную и низкочастотную составляющие.
4. *Вендор* – компания, специализирующаяся на создании или продаже программного обеспечения, разработанного для продажи его на массовом рынке или на специализированных (нишевых) рынках.
5. *Временное разрешение* – периодичность сбора данных на одном и том же участке поверхности.
6. *ДЗЗ* *(дистанционное зондирование Земли)* – это процесс получения информации о земной поверхности (включая расположенные на ней объекты) без непосредственного контакта с ней путем регистрации ее электромагнитного излучения
7. *Пространственное разрешение* – разрешение аппарату ДЗЗ, определяющее размер наименьшего объекта, поддающегося идентификации на спутниковом снимке.
8. *Радиометрическое разрешение* – чувствительность сенсора к вариациям интенсивности электромагнитного излучения.
9. *Солнечно-синхронная орбита* – геоцентрическая орбита с такими параметрами, что объект, находящийся на этой орбите, проходит над любой точкой земной поверхности приблизительно в одно и то же местное солнечное время.
10. *Спектральное разрешение* – разрешение аппаратуры ДЗЗ, характеризующее способность системы различать определенные интервалы длин волн.
11. *Спутниковый снимок* – это двумерное растровое изображение, полученное в результате дистанционной регистрации техническими средствами собственного или отраженного излучения и предназначаемое для обнаружения, качественного и количественного изучения объектов, явлений и процессов путем дешифрирования, измерения и картографирования.
12. *Фильтр* – объект специального вида системы GeoImageFactory, выполняющий обработку данных дистанционного зондирования.

# Введение

Использование средств дистанционного зондирования Земли позволяет с минимальными временными и материальными затратами получать актуальные данные об изменении погодных условий, параметрах морских течений, скорости сползания ледников, осуществлять постоянный контроль состояния природных ресурсов, а также принимать эффективные решения по устранению последствий различных чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Космическое зондирование, интенсивно развивающиеся в последние десятилетия, предоставило наукам о Земле новые возможности для исследования земной поверхности. За этот период существенно возросли объем, разнообразие и качество материалов дистанционного зондирования. К настоящему времени накоплен огромный фонд (более 100 миллионов) аэрокосмических снимков, полностью покрывающих всю поверхность Земли, а для значительной части районов с многократным перекрытием. Увеличение числа аэрокосмических снимков, а также объема занимаемого ими дискового пространства, в свою очередь, приводит к проблеме их эффективного хранения. В связи с этим возникает вопрос о реализации метода сжатия данных дистанционного зондирования с минимальными потерями.

Логика работы рассматриваемого метода проста и основывается на использовании двумерного дискретного вейвлет-преобразвания Хаара, предложенного венгерским математиком Альфредом Хаара в 1909 году. Разрабатываемый программный компонент предназначен для использования в системе GeoImageFactory, которая представляет собой фрэймворк для обработки данных дистанционного зондирования Земли и позволяет легко конфигурировать процесс обработки данных под нужды пользователя.

# Введение в предметную область и постановка задачи

## Введение в дистанционное зондирование Земли

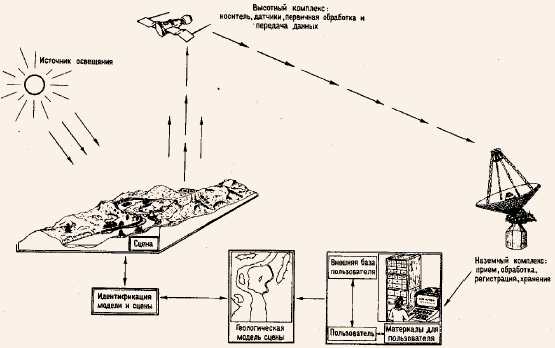
### Процесс дистанционного зондирования Земли

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ, *англ.* Remote Sensing) – это процесс получения информации о земной поверхности (включая расположенные на ней объекты) без непосредственного контакта с ней путем регистрации ее электромагнитного излучения [1].

Данные дистанционного зондирования Земли являются эффективным инструментом, позволяющим оперативно решать задачи в области метеорологии, контроля состояния лесов, сельхозугодий, землепользования, состояния технических объектов, территорий с активной нефтедобывающей инфраструктурой, при создании земельного кадастра, картографических продуктов, при территориальном планировании, геологоразведке, отслеживании положения судов в любой части Мирового океана и т.д.

Системы получения и распространения данных дистанционного зондирования включают в себя следующие компоненты:

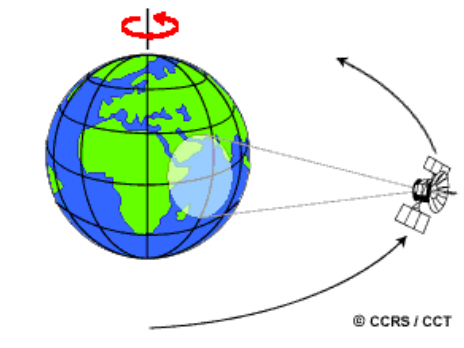
* носители съемочной аппаратуры (в данном случае – искусственные спутники Земли);
* аппаратуру дистанционного зондирования;
* бортовые средства передачи данных на Землю по радиоканалу;
* наземные комплексы приема информации, ее обработки и предоставления потребителям.

****

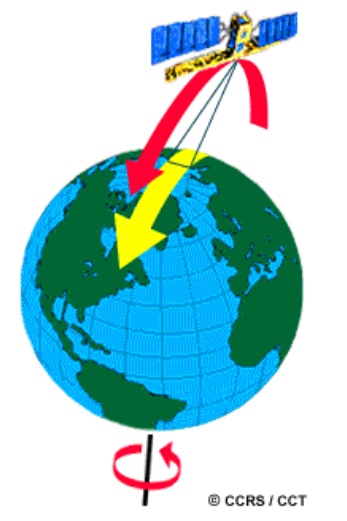
**Рис.1. Процесс получения и распространения данных ДЗЗ [2]**

### ****Искусственные спутники Земли****

Для дистанционного зондирования обычно используют два основных типа спутников: геостационарные и полярноорбитальные. Искусственные спутники Земли (ИСЗ) первого рода постоянно обеспечивают обзор одной и той же части планеты, сохраняя неизменное положение относительно определенной точки на экваторе. Вторые, находясь на орбите, плоскость которой примерно перпендикулярна плоскости вращения Земли, через определенный период времени, продолжительность которого зависит от ширины полосы обзора ИСЗ, оказываются над заданным районом наблюдения. Полярноорбитальные спутники запускаются обычно на низкие полярные орбиты высотой от 500 до 1 000 км, геостационарные спутники – на геостационарные 24-часовые орбиты высотой 36 тыс. км (спутники с аппаратурой для обзорных метеонаблюдений видимой поверхности Земли). Соответственно, зона обзора со спутника на геостационарной орбите ограничивается широтным районом 50°СШ – 50°ЮШ [3]; полярноорбитальная же система наблюдения сталкивается с иной трудностью: спутник может оказаться над одним и тем же районом съемки в различные периоды «местного» или солнечного времени. При этом сопоставление данных, полученных при различных условиях солнечного освещения, оказывается весьма затруднительным, поэтому такие спутники выводят, как правило, на так называемые «солнечно-синхронные» орбиты[[1]](#footnote-1).



**Рис.2. ИСЗ на геостационарной орбите Земли [CCRS/CCT]**



**Рис.3. Полярно-орбитальный ИСЗ [CCRS/CCT]**

По назначению спутники съемки Земли подразделяются на:

* метеорологические с датчиками низкого разрешения;
* картографические (обычно с двухкамерными стереосистемами для оценки плановых координат и высотных параметров объектов, изображенных на снимке);
* многоцелевые (с аппаратурой ДЗЗ разного назначения).

По источникам финансирования и применению спутники дистанционного зондирования могут быть:

* гражданскими;
* коммерческими;
* военными;
* двойного назначения.

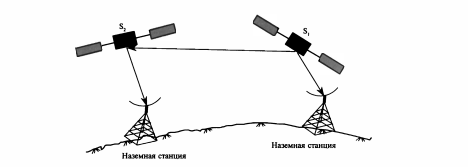
### Аппаратура дистанционного зондирования

Съемочная аппаратура ДЗЗ, устанавливаемая на спутниках, может работать в четырех основных диапазонах (ультрафиолетовом, видимом, инфракрасном и микроволновом): только в этих областях спектра земная атмосфера прозрачна для электромагнитных волн [3]. В видимом диапазоне датчики регистрируют отраженное от земных покровов и прошедшее через атмосферу солнечное излучение; в ИК-диапазоне превалирует собственное тепловое излучение поверхности Земли; в микроволновом диапазоне используют собственное излучение планеты, либо отраженные сигналы искусственных источников облучения, установленных на борту ИСЗ.

Возможности аппаратуры дистанционного зондирования в различных спектрах электромагнитного излучения существенно различаются: оптические системы дают наиболее качественные, привычные для наблюдателя цветные изображения с высоким пространственным разрешением (см. подраздел «разрешающая способность систем ДЗЗ»), скомпонованные из нескольких монохроматических снимков; инфракрасную съемку можно проводить в темное время суток, наблюдая температурные аномалии поверхности Земли; а для специфических случаев зондирования в микроволновом диапазоне не является помехой даже облачный покров.

### Средства передачи данных на Землю по каналу радиосвязи

Существует три основных способа передачи данных со спутника на Землю. Первый способ – прямая передача данных на наземную станцию, которая находится в зоне прямой видимости спутника (рис. 3)



**Рис.4. Процесс передачи данных ДЗ на Землю [4]**

Если прямая передача невозможна, можно воспользоваться вторым способом: полученные данные сохраняются на спутнике, а затем передаются с некоторой задержкой по времени на Землю. Наконец, третий способ передачи данных основан на использовании системы геостационарных спутников связи TDRSS (Tracking and Data Relay Satellite System). В этом случае данные передаются с одного спутника на другой до тех пор, пока в зоне прямой видимости одного из них не появится наземная станция.

### Виды аэрокосмических изображений

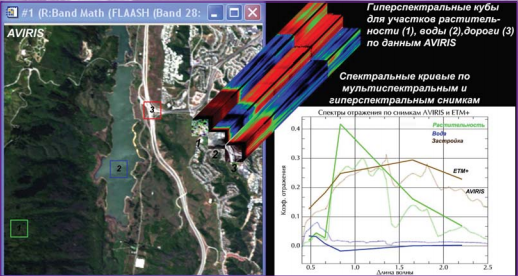
В последнее время все большее внимание привлекают мультиспектральные (многозональные) снимки, позволяющие исследовать многие качественные характеристики объектов на земной поверхности (в том числе, скрытые от глаз). Эти особенности находят применение во многих областях современной деятельности человека: в лесном хозяйстве, в геологии при поиске полезных ископаемых и т.д.

Современная мультиспектральная и гиперспектральная сканирующая аппаратура, с помощью которой выполняют космическую съемку, представляет собой радиометрически откалиброванные многоканальные видеоспектрометры. Для каждого пикселя изображения регистрируется набор яркостей в 4, 6, десятках или сотнях каналов, охватывающих диапазон электромагнитных волн от видимого до теплового. Значения яркости, зафиксированные съемочной системой для одного объекта в разных спектральных зонах, и их графическое отображение в виде спектральных кривых позволяют уверенно отличать и выделять данный объект на снимке. Большое количество спектральных зон позволяет получить более сложную спектральную кривую и делает возможным применения сложных алгоритмов субпиксельного анализа.

Мультиспектральные съемочные системы формируют несколько отдельных изображений для широких спектральных зон в диапазоне электромагнитных излучений от видимого до инфракрасного. Мультиспектральные снимки в синей, зеленой, красной и ближней инфракрасной и других спектральных зонах могут быть использованы для получения цветного изображения (RGB синтез). Различные варианты синтеза отдельных изображений (например «красный-зеленый-синий», «ближний ИК-красный-зеленый» и т.д.) позволяют решать многочисленные тематические задачи и облегчают процесс визуального дешифрирования снимков.

В отличие от мультиспектральных, гиперспектральные съемочные системы одновременно формируют изображения для узких спектральных зон на всех участках спектрального диапазона. Для гиперспектральной съемки важно не количество спектральных зон (каналов), а ширина зоны (чем меньше, тем лучше) и последовательность измерений, т. е. съемочная система с 20 каналами будет гиперспектральной, если она покрывает диапазон 500—700 нм, при этом ширина каждой спектральной зоны не более 10 нм, а съемочная система с 20 отдельными каналами, покрывающими видимую область спектра, ближнюю, коротковолновую, среднюю и длинноволновую ИК области, будет считаться мультиспектральной [5].

Анализ гиперспектральных изображений стал одной из самых эффективных и быстро развивающихся направлением при использовании ДДЗ. Гиперспектральные снимки, в отличие от других данных ДЗЗ, позволяют извлекать более точную и детальную информацию. Данные о величине отражения энергии от объектов земной поверхности дают обширный материал для подробного анализа и создания на их основе новой производной продукции. Гиперспектральные снимки доступны не так широко, как другие данные ДЗЗ.



**Рис.5. Сравнение информативности мультиспектральных и гиперспектральных кривых [5]**

### Характеристики мульти- и гиперспектральных аэрокосмических изображений

Основной продукт аппаратуры ДЗЗ – снимки земной поверхности. Спутниковый снимок – это двумерное растровое изображение, полученное в результате дистанционной регистрации техническими средствами собственного или отраженного излучения и предназначаемое для обнаружения, качественного и количественного изучения объектов, явлений и процессов путем дешифрирования, измерения и картографирования.

Космические снимки можно классифицировать по разным признакам:

* в зависимости от выбора регистрируемых излучательных и отражательных характеристик, что определяется спектральным диапазоном съемки;
* по спектральному диапазону съемки;
* по параметрам орбиты космического носителя и съемочной аппаратуры, определяющих масштаб съемки, обзорность, разрешение снимков и т.п.

**По спектральному диапазону:**

* в видимом и ближнем инфракрасном (световом) диапазоне;
* в тепловом инфракрасном диапазоне;
* снимки в радиодиапазоне.

**По обзорности:**

* глобальные (охватывающие всю планету);
* региональные, на которых отображаются части материков;
* локальные, на которых отображаются части регионов.

**По разрешению:**

* очень низкого разрешения (десятки километров);
* низкого разрешения (километры);
* среднего разрешения (сотни метров);
* высокого разрешения (10–100 метров):
* сверхвысокого разрешения (менее 10 метров).

**По детальности изображения, определяемой размерами элементов изображения и их количеством на единицу площади:**

* малой детальности;
* средней детальности;
* большой детальности;
* очень большой детальности.

**По масштабу:**

* мелкомасштабные;
* среднемасштабные;
* крупномасштабные.

**По повторяемости съемки:**

* снятые через несколько минут;
* снятые через несколько часов;
* снятые через несколько суток;
* снятые через несколько лет.
  + 1. **Разрешающая способность систем дистанционного зондирования Земли**

Пространственная разрешающая способность является одной из важных характеристик систем дистанционного зондирования, которая характеризует способность сенсора различать детали в пространственных данных [4]. Вообще, разрешающая способность как аналоговых, так и цифровых систем дистанционного зондирования определяется следующими параметрами: пространственное разрешение, спектральное разрешение, радиометрическое разрешение и временное разрешение. Понимание этих характеристик чрезвычайно важно для правильного использования данных дистанционного зондирования.

Пространственное разрешение является аналогом резкости обычного фотоснимка. Пространственное разрешение определяется размером наименьшего объекта, который поддается идентификации. Факторами, которые влияют на пространственное разрешение, являются: высота расположения платформы, размер элементов сенсора и фокусное расстояние оптической системы. Для вычисления пространственного разрешения используется следующая формула [4]:

,

где А – размер проекции элементов сенсора на поверхность в метрах, Н – высота расположения платформы в метрах, В – размер мгновенного поля обзора в милирадианах.

Спектральное разрешение характеризует способность системы дистанционного зондирования различать определенные интервалы длин волн. Чем выше спектральное разрешение, тем более узкий диапазон длин волн регистрируется определенным каналом. При оценке спектрального разрешения рассматриваются две характеристики: количество диапазонов (каналов) и ширина каждого диапазона.

Радиометрическое разрешение определяется чувствительностью сенсора к вариациям интенсивности электромагнитного излучения, т.е. наименьшей разницей в уровнях энергии излучения, которую можно зарегистрировать с помощью аппаратуры ДЗЗ. Эта характеристика указывает на действительное количество полезной информации, содержащейся в изображении. Она применима как к обычным фотографическим, так и к цифровым снимкам.

Временное разрешение определяется периодичностью сбора данных. Получение снимков одних и тех же участков поверхности с определенной периодичностью является одной из основных областей применения дистанционного зондирования Земли. При этом от частоты съемки зависит возможность обнаружения тех или иных изменений, которые происходят на исследуемой территории.

Абсолютная временная разрешающая способность системы дистанционного зондирования определяется периодом обращения спутника вокруг Земли, при котором возможна повторная съемка участков земной поверхности под тем же углом обзора. Этот период может составлять несколько суток. Сравнивая снимки объекта или явления, полученные в разное время, можно наблюдать изменения его характеристик.

## Задача приема, обработки и хранения данных ДЗЗ

После того как данные в исходном формате поступают на наземную станцию, выполняется их обработка, в результате которой устраняются систематические ошибки и геометрические искажения, а также искажения, связанные с влиянием атмосферы. Затем данные преобразовываются к стандартному цифровому формату и сохраняются. Как правило, архивы данных формируются на наземных станциях, а базы данных дистанционного зондирования находятся в ведении либо государственных организаций, либо коммерческих компаний.

Вообще говоря, качество данных, получаемых в результате дистанционного зондирования, зависит от их пространственного, спектрального, радиометрического и временного разрешения. Для создания точных карт на основе данных дистанционного зондирования, необходима трансформация, устраняющая геометрические искажения. Снимок поверхности Земли аппаратом, направленным точно вниз, содержит неискаженную картинку только в центре снимка. При смещении к краям расстояния между точками на снимке и соответствующие расстояния на Земле все более различаются. Коррекция таких искажений производится в процессе фотограмметрии.

В рамках программы NASA «Earth Observing System» были сформулированы следующие уровни обработки данных дистанционного зондирования (см. табл. 1).

Цифровую обработку ДДЗ можно разделить на следующие основные (типовые) группы операций:

* Восстановление или коррекция.
* Предварительная обработка.
* Классификация.
* Преобразование изображений.
* Специализированная тематическая обработка.

**Таблица 1. Уровни обработки данных ДЗЗ**

|  |  |
| --- | --- |
| **Уровень** | **Описание** |
| 0 | Данные, поступающие непосредственно от устройства, без служебных данных (синхронизационные фреймы, заголовки, повторы) |
| 1a | Реконструированные данные устройства, снабженные маркерами времени, радиометрическими коэффициентами, эфемеридами (орбитальными координатами) спутника |
| 1b | Данные уровня 1a, преобразованные в физические единицы измерения |
| 2 | Производные геофизические переменные (высота океанических волн, влажность почвы, концентрация льда) с тем же разрешением, как у данных уровня 1 |
| 3 | Переменные, отображенные в универсальной пространственно-временной шкале, возможно дополненные интерполяцией |
| 4 | Данные, полученные в результате расчетов на основе предыдущих уровней |

### Восстановление (коррекция) видеоинформации

Основной задачей восстановления изображений является коррекция получаемых данных для достижения как можно более правдоподобного изображения земной поверхности. Данные, получаемые с ИСЗ, содержат целый ряд случайных, системных и систематических искажений, связанных с влиянием атмосферы, кривизны Земли, движением съемочного аппарата относительно ее поверхности в момент съемки, физическими характеристиками используемых датчиков и каналов связи. Для устранения этих искажений, с учетом их специфики, используется коррекция нескольких видов: радиационная, радиометрическая, геометрическая и калибровка. Радиационное восстановление связано с корректировкой количества электромагнитной энергии, принимаемой каждым датчиком, поскольку атмосфера не одинаково пропускает излучение различных участков спектрального диапазона. Калибровка заключается в преобразовании безразмерных данных, получаемых с датчиков отдельных спектральных зон в истинные нормализованные значения отраженной или излучаемой энергии. Еще одна операция радиометрической коррекции связана с устранением искажений, вносимых самими датчиками и устройствами передачи и приема данных (системных искажений). Геометрическая коррекция или трансформирование снимков предназначено для устранения искажений вызванных кривизной и вращением Земли, а также углом наклона орбиты спутника к плоскости экватора. Данный вид коррекции на первом этапе может выполняться автоматически по информации о параметрах орбиты спутника [6]. Более точное трансформирование и привязка снимка к определенной координатной системе обычно выполняется с использованием интерактивно задаваемых опорных точек. При геометрической коррекции фотографических изображений высокого разрешения устраняются искажения, возникающие за счет рельефа местности.

### Классификация

Классификация позволяет производить разбиение снимков на однородные по какому-либо критерию области. Получающееся при этом изображение называется тематической картой. Процедура классификации основывается чаще всего на статистическом анализе различных характеристик изображения: пространственных, спектральных или временных [6].

Существует два основных подхода к проведению данной процедуры:

* классификацию с обучением;
* автоматическую классификацию.

При классификации с обучением, задача состоит в обнаружении на изображении объектов уже известных типов, что требует некоторых предварительных знаний об исследуемом участке земной поверхности. Однако большей популярностью пользуется второй тип классификации, не требующий дополнительной наземной информации и глубокого знания дистанционных методов обработки. Основой автоматической классификации является кластерный анализ, в ходе которого пытаются определить все встречаемые типы объектов при некотором уровне обобщения, а задача их интерпретации решается на втором этапе. Также, существуют алгоритмы сочетающие элементы обоих подходов.

По способу отнесения отдельных элементов изображения к тому или иному классу объектов, различают жесткие и мягкие классификаторы. В случае жестких (традиционных) классификаторов, принимается строго определенное решение относительно принадлежности пикселей к некоторому классу. Мягкие же классификаторы оценивают вероятность, с которой анализируемый элемент изображения может принадлежать ко всем рассматриваемым классам покрытий (включая и неизвестные).

Еще один сравнительно новый вид классификации связан с обработкой гиперспектральных данных. Такие данные поступают с экспериментальных систем ДЗ работающих с очень узкой шириной зон спектрального диапазона, что увеличивает количество спектральных каналов до десятков и даже сотен. В этом случае для автоматизированного выделения классов объектов покрытий используются библиотеки спектральных кривых различных земных материалов [6].

Важным этапом в процессе классификации является оценка точности полученных изображений, которая может выполняться как по данным полевых измерений, так и путем сравнения с соответствующими тематическими картами.

Данная область обработки данных дистанционного зондирования в настоящее время довольно интенсивно развивается: появляются новые классификаторы, основанные на последних достижениях в области моделирования искусственного интеллекта и других областях прикладной математики (например, нейронные сети).

### Преобразование изображений

Эта группа операций позволяет создавать новые (вторичные) изображения в процессе математических преобразований нескольких спектральных зон исходного (первичного) изображения. Данный вид операций часто называют алгеброй изображений. Одним из примеров использования вторичных изображений является изображение главных компонент первичного снимка. Анализ главных компонент используется для преобразования нескольких спектральных зон снимка таким образом, чтобы новые зоны вторичного изображения (называемые компонентами) не коррелировали друг с другом и располагались в порядке убывания количества информации, которую они содержат. Каждая такая компонента всегда несет только уникальную информацию, причем первые несколько новых зон содержат большую часть информации о первичном изображении [6].

### Специализированная тематическая обработка

К этой группе относятся операции выделения каких-либо специфических природных или антропогенных объектов. Обычно такие объекты детектируются именно по их характерным особенностям. К этому типу относятся, например, операции, предназначенные для обнаружения и выделения линейных или кольцевых структур [6].

Важнейшей характеристикой аэро и космоснимков является их пространственное разрешение – чем оно выше, тем лучше; второй по важности характеристикой является количество спектральных зон. В каждой такой зоне одна и та же местность должна быть снята как можно больше раз, это даст больше возможностей для получения информации (это значит, что у оператора – дешифровщика будет несколько идентичных снимков, сделанных в различных зонах спектра электромагнитного излучения).

Космические снимки сейчас могут иметь практически те же масштабы и разрешение, что и аэро, однако аэросъемка имеет свою нишу. Это наиболее оперативный способ для получения данных высокого разрешения для конкретных небольших территорий и аэросъемка обычно дешевле в случае очень высоких разрешений (десятки сантиметров). Кроме того, при съемке длиннофокусной оптикой равнинной местности геометрическая точность аэроснимка настолько высока, что можно обойтись без геометрической коррекции.

## Программный комплекс GeoImageFactory

GeoImageFactory – это технология, позволяющая пользователям создавать хорошо настраиваемые программные модули обработки данных дистанционного зондирования. Основная идея этой технологии заключается в разделении процесса обработки данных на шаги, каждый из которых реализован в отдельном модуле, называемом *фильтр*. Каждый такой фильтр реализует одну (хорошо определенную) процедуру, на вход которой поступает поток данных предназначенный для обработки, а на выход - один или несколько потоков данных, преобразованных в соответствии с логикой, реализованной в фильтре.

Модульный подход позволяет пользователям с легкостью реализовывать различные процессы обработки данных, комбинируя фильтры из GeoImageFactory, сторонних наборов фильтров и при необходимости создавать свои собственные фильтры.

GeoImageFactory автоматизирует процесс создания подложки, сети фильтров, их конфигурирования и обработки потоков данных ДЗЗ в этой сети. Данный подход имеет несколько преимуществ по сравнению с традиционными (процедурными или объектно-ориентированными) реализациями алгоритмов обработки данных:

* гибкость – благодаря высокой степени детализации каждый шаг может быть модифицирован путем замены соответствующего фильтра;
* надежность – любой компонент фильтра легко спроектировать, тестировать и отлаживать, обеспечивая высокое качество оценки;
* интуитивность – прикладной программный интерфейс (API) для управления фильтрами интуитивно понятен и прост в использовании;
* возможность повторного использования компонентов – реализованный однажды фильтр может быть использован в различных задачах.

GeoImageFactory – технология с открытой архитектурой – это значит, что сторонние вендоры могут создавать новые фильтры с необходимой функциональностью.

### GeoImageFactory API

Взаимодействие с пользователем осуществляется с помощью специальных объектов, называемых *Factory*. Factory – это среда, содержащая фильтры и предоставляющая интерфейс для установки новых и замены существующих фильтров, включения их в сеть и запуска процесса обработки потоков данных.

Новый объект *Factory* создается путем вызова функции CreateFactory(). Функция размещает объект Factory и возвращает указатель на него. После использования объект Factory должен быть уничтожен.

### Фильтры

Обработка данных в GeoImageFactory выполняется в сети объектов специального вида, называемых фильтрами. Фильтр может быть определен как объект, реализующий интерфейс *IFilter*.

### Создание экземпляров фильтра

Фильтры поставляются в составе библиотеки фильтров системы GeoImageFactory, а также вместе со сторонними библиотеками. Сторонние фильтры поставляются как отдельные DLL-библиотеки. Как правило, в одной библиотеке находится один фильтр, размещать несколько фильтров в одной библиотеке также разрешено.

Для каждого фильтра DLL-библиотека экспортирует функцию без аргументов, возвращающую указатель на интерфейс IFilter. Все базовые фильтры, также как и фильтры от сторонних разработчиков, сертифицированные для использования в системе GeoImageFactory, следуют определенным соглашениям по именованию объектов. Согласно этому соглашению конструктор класса должен иметь имя в следующей форме CreateFilter\_<filtername>,где <filtername> - это название класса фильтра.

### Монтирование фильтров

Технология GeoImageFactory предоставляет два способа установки фильтров в уже созданную среду Factory. Первый подход предполагает, что пользователь явно создает экземпляр фильтра с помощью функции-конструктора и передает указатель на IFilter методу Mount вместе с названием фильтра. Второй подход заключается в передаче конструктора методу Mount напрямую, вместе с именем фильтра. Второй подход является более предпочтительным с точки зрения безопасности.

### Взаимодействие фильтров

Взаимодействие между фильтрами осуществляется через специальные «граничные» объекты: выходные – pins, входные – ports. Каждый фильтр имеет фиксированное количество входов и выходов. Фильтр также может не иметь портов или выводов, но не одновременно (фильтр без портов и выходов не сможет вводить и выводить данные, соответственно).

При необходимости соединения двух фильтров pin одного фильтра устанавливаются на port другого фильтра (тем самым обеспечивается их взаимодействие).

## Постановка задачи

Постоянное увеличение количества и качества спутниковых снимков приводит к проблеме их рационального хранения, в связи с чем, возникает необходимость реализации метода, отвечающего за сжатие данных дистанционного зондирования с минимальными потерями качества. Разрабатываемый программный компонент предназначен для использования в системе GeoImageFactory.

Для решения поставленной задачи необходимо:

* 1. ознакомиться с процессом дистанционного зондирования Земли;
  2. ознакомиться с архитектурой программного комплекса GeoImageFactory;
  3. изучить вейвлет-преобразовнаие Хаара;
  4. разработать и реализовать программный компонент (фильтр) для сжатия данных ДЗЗ на основе двумерного преобразования Хаара.

# Вейвлет-преобразование, как метод подготовки данных для сжатия

Поскольку растровое изображение является двумерным дискретным сигналом, то одним из путей решения проблемы является использование дискретных вейвлет-преобразований. Вейвлет (от *англ.* wavelet) – это математические функции, позволяющие анализировать различные частотные компоненты данных. В свою очередь, вейвлет-преобразование (ВП) – это [интегральное преобразование](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5), представляющее собой [свертку](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%BA%D0%B0) [вейвлет](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B5%D0%B9%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D1%82)-функции с сигналом и позволяющее выделить в исходных данных высокочастотную и низкочастотную составляющие. Данные, полученные в результате такого преобразования, более пригодны для сжатия, поскольку амплитуды высокочастотной компоненты сигнала, как правило, невелики, что позволяет хранить их в более компактной форме.

Вейвлет-преобразование похоже на преобразование Фурье, однако имеет совершенно иную оценочную функцию. Основное различие заключается в том, что преобразование Фурье раскладывает сигнал на составляющие в виде косинусов и синусов, т.е. функций, локализованных в Фурье-пространстве, а вейвлет-преобразование использует функции, локализованные как в реальном, так и в Фурье-пространстве.

В общем случае, вейвлет-преобразование можно выразить следующим уравнением [7]:

F(a, b) = ,

где \* – символ комплексной сопряженности и функция Ψ – некоторая произвольная функция, удовлетворяющая определенным критериям (см. пункт «требования к вейвлет-преобразованиям»).

Исходя из формулы, можно заметить, что вейвлет-преобразование является бесконечным множеством различных преобразований в зависимости от оценочной функции, используемой при его расчете. Этот факт объясняет его широкое применение в различных областях.

## Требования к вейвлетам

Для осуществления вейвлет-преобразования вейвлет-функции должны удовлетворять следующим критериям [8]:

1. Ограниченность. Квадрат нормы функции должен был конечным:
2. Локализация. ВП в отличии от преобразования Фурье используют локализованную исходную функцию и во времени и по частоте. Для этого достаточно, чтобы выполнялись условия:

и при ε ˃ 0.

Это значит, что если вейвлет в пространстве сужается, то его средняя частота повышается, спектр вейвлета перемещается в область более высоких частот и расширяется. Этот процесс должен быть линейным – сужение вейвлета вдвое должно повышать его среднюю частоту и ширину спектра также вдвое.

1. Нулевое среднее. График исходной функции должен быть знакопеременным (т.е. осциллировать) вокруг нуля на оси времени и иметь нулевую площадь.

Обобщая данное условие, можно получить формулу ,которая определяет степень гладкости функции Считается, что чем выше степень гладкости базисной функции, тем лучше ее аппроксимационные свойства.

## Свойства вейвлет-преобразования

Вейвлет-преобразование позволяет получить объективную информацию о сигнале, потому что некоторые свойства ВП не зависят от выбора анализирующего вейвлета. Независимость от вейвлета делает эти простые свойства очень важными [8].

1. Линейность (следует из скалярного произведения):
2. Сдвиг. Смещение во временной области на ведет к сдвигу вейвлет образа на :

.

1. Масштабирование. Растяжение (сжатие) сигнала приводит к растяжению (сжатию) его в области W(a, b) – области вейвлет спектра сигнала:
2. Дифференцирование:

*,*

где , . Из этого свойства следует, что проигнорировать, например, крупномасштабные составляющие и проанализировать особенности высокого порядка или мелкомасштабные вариации сигнала S(t) можно дифференцированием нужное число раз либо вейвлета, либо самого сигнала. Если учесть, что часто сигнал задан цифровым рядом, а анализирующий вейвлет-формулой, то это свойство весьма полезное.

1. Масштабно-временная локализация. Данное свойство обусловлено тем, что элементы базиса вейвлет-преобразования хорошо локализованы и обладают подвижным частотно-временным окном. За счет изменения масштаба (увеличение приводит к сужению Фурье-спектра функции ) вейвлеты способны выявлять различие в характеристиках на разных частотах, а за счет сдвига проанализировать свойства сигнала в разных точках на всем исследуемом интервале. Это дает существенное преимущество при анализе нестационарных сигналов перед преобразованием Фурье, которое дает только глобальные сведения о частотах анализируемого сигнала, так как используемая при этом система функций (комплексная экспонента или синусы и косинусы) определена на бесконечном интервале. Неслучайно многие исследователи называют вейвлет-анализ «математическим микроскопом» [8]. Это название хорошо отражает замечательные свойства метода сохранять хорошее разрешение на разных масштабах.

## Виды вейвлет-преобразований

С точки зрения классификации все вейвлеты можно разделить на ортогональные (для разработки дискретного вейвлет-преобразования) и неортогональные (для разработки непрерывного ВП). Оба вида преобразований можно охарактеризовать следующим образом:

1. Непрерывное вейвлет-преобразование (Continues Wavelet Transform – CWT) возвращает массив на одно измерение больше входных данных. В итоге, для одномерных данных мы получаем изображение плоскости время-частота. Это позволяет проследить изменение частот сигнала в течение его длительности и сравнивать этот спектр со спектрами других сигналов. Поскольку здесь используется неортогональный набор вейвлетов, данные высоко коррелированны и обладают большой избыточностью. Это помогает видеть результат в более близком человеческому восприятию виде.
2. Дискретное вейвлет-преобразование (Discrete Wavelet Transform), в отличии от непрерывного ВП, возвращает вектор данных той же длины, что и входной. Обычно, в этом векторе многие данные равны нулю. Это объясняется тем, что он раскладывается на набор вейвлетов (функций), ортогональных к их параллельному переносу и масштабированию. Следовательно, мы раскладываем подобный сигнал на то же самое или меньшее число коэффициентов вейвлет-спектра, что и количество точек данных сигнала. Подобный вейвлет-спектр весьма хорош для обработки и сжатия сигналов, потому что мы не получаем здесь избыточной информации.

Дискретное вейвлет-преобразование (DWT) – это реализация вейвлет-преобразования с использованием дискретного набора масштабов и переносов вейвлета, подчиняющихся некоторым определённым правилам. Это преобразование раскладывает сигнал на взаимно ортогональный набор вейвлетов, что является основным отличием от непрерывного вейвлет-преобразования, или его реализации для дискретных временных рядов, называемой непрерывным вейвлет-преобразованием дискретного времени (DT-CWT).

Первое дискретное вейвлет-преобразование было придумано венгерским математиком Альфрэдом Хаара. Данный вейвлет используется для сжатия гладких и кусочно-гладких сигналов, компрессии изображений (цветных и черно-белых) с плавными переходами.Сжатие при этом осуществляется путем удаления из высокочастотных компонент разложения близких к нулю коэффициентов. Суть такого преобразования заключается в том, что для входного сигнала, представленного массивом из 2ⁿ чисел, каждой паре соседних элементов вейвлет Хаара ставит в соответствие два числа:

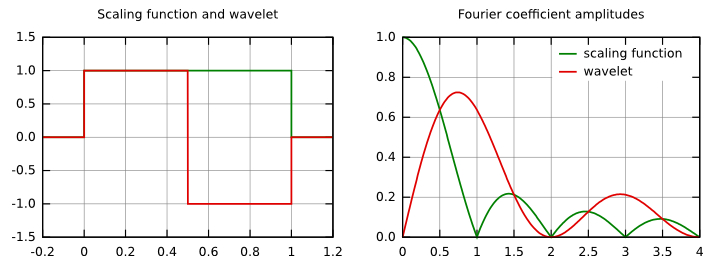
и

Повторяя данную операцию для каждого элемента исходного сигнала, на выходе получают два сигнала, один из которых является огрубленной версией входного сигнала – ai, а второй содержит детализирующую информацию, необходимую для восстановления исходного сигнала (). Аналогично, преобразование Хаара может быть применено к полученному сигналу ai для получения более высокой степени сжатия.Если не производить никаких дополнительных действий с этими компонентами, то по ним с помощью шага обратного преобразования можно полностью восстановить исходное изображение.

Вейвлет Хаара может быть построен из функции масштаба, которая описывает свойства его масштабируемости. Материнская вейвлет-функция с нулевым значением интеграла , определяющая детали сигнала, задается следующим образом:

Масштабирующая функция с единичным значением интеграла , определяющая грубое приближение (аппроксимацию) сигнала, постоянна:

Графически масштабирующую функцию и вейвлет Хаара можно представить следующим образом:



**Рис.6. Функция масштабирования Хаара и вейвлет (слева) и их частотные составляющие (справа) [8]**

# Модуль вейвлет-преобразования

## Принципиальная схема процесса сжатия в терминах комплекса GeoImageFactory

Так как процесс обработки данных дистанционного зондирования в системе GeoImageFactory базируется на использовании фильтров, каждый из которых реализует одну, строго определенную логику, то для решения поставленной задачи необходимо реализовать программный компонент (фильтр), который может быть использован для построения программных решений задачи сжатия данных ДЗЗ. Логика работы реализуемого фильтра проста и основывается на алгоритме вейвлет-преобразования Хаара.

Данный программный компонент, названный WLT (*от англ*. wavelet transform), предназначен для размещения в цепочке других фильтров, изображенных на рис. 7 (принципиальная схема сжатия данных ДЗЗ), в соответствии с поточной моделью программирования**[[2]](#footnote-2)**:

**Рис.7. Принципиальная схема сжатия данных дистанционного зондирования для поточной модели программирования**

Данная схема включает в себя следующие компоненты:

* Source – источник данных, служит интерфейсом для ввода данных в систему;
* Demultiplexor – фильтр, разделяющий входной поток на две последовательности: метаданные, характеризующие входной поток и, непосредственно, сами сжимаемые данные;
* WLT – фильтр, реализующий вейвлет-преобразование Хаара;
* Compression – модуль сжатия данных;
* MetaData compression –модуль сжатия метаданных аэрокосмического снимка;
* Multiplexor – фильтр, объединяющий несколько потоков в один;
* Sink – модуль, предназначенный для вывода данных.

## Реализация модуля вейвлет-преобразования (WLT)

В системе GeoImageFactory существует некоторая иерархия классов, позволяющих с легкостью создавать новые пользовательские фильтры на основе уже существующих (рис.8). Это достигается за счет использования такого механизма объектно-ориентированного программирования, как наследование.

**Рис.8. Иерархия классов пользовательских фильтров системы GeoImageFactory**

Таким образом, для решения поставленной задачи необходимо описать класс WaveletTransform, являющийся производным от класса GenericPacketTransform. Для этого переопределим все виртуальные функции базового класса, а также напишем методы, реализующие прямое вейвлет-преобразование Хаара.

**Конструктор класса**

Конструктор класса WaveletTransform предназначен для создания экземпляров данного класса. Конструктор имеет следующий прототип:

WaveletTransform::WaveletTransform(LPCSTR name);

где name – имя фильтра.

**Инициализация фильтра**

Функция Init() класса WaveletTransform предназначена для инициализации атрибутов класса определенными значениями. К числу таких атрибутов относится:

depth – глубина сжатия данных (число прогонов алгоритма);

width – ширина сжимаемого изображения (кадра);

height – высота сжимаемого изображения (кадра);

processor – тип сжимаемых данных.

Функция имеет следующий прототип:

void WaveletTransform::Init();

**Инициализация портов фильтра**

Port – это специальные объекты, предназначенные для ввода данных в фильтр. Для инициализации портов используется метод InitPorts(), унаследованный от базового класса GenericPacketTransform. Прототип данного метода имеет следующий вид:

void WaveletTransform::InitPins();

**Инициализация выводов (Pins) фильтра**

Для вывода данных из фильтра используются специальные объекты, называемые Pins. Для инициализации данных объектов используется функция-член класса InitPins(), унаследованная от базового класса. Ее прототип имеет вид:

void WaveletTransform::InitPorts();

**Обработка пакетов данных**

Функция-член ProcessPacket класса WaveletTransform предназначена для обработки пакетов кадров. Фильтр ждет, пока накопится пакет соответствующего размера и затем передает этот пакет на обработку (для 2D-преобразования Хаара размер пакета равен 1). Функция имеет следующий прототип:

void WaveletTransform::ProcessPacket(DataFrame\*\* packet, int size);

где DataFrame \*\*packet представляет собой пакет кадров, поступающий на обработку, а size – размер этого пакета.

**Уничтожение объектов фильтра**

По завершении работы, фильтр должен быть удален. Для его уничтожения и высвобождения занимаемой им памяти используется метод Finalize() класса WaveletTransform. Метод имеет следующий прототип:

void WaveletTransform::Finalize();

**Одномерное вейвлет-преобразование Хаара**

За осуществление одномерного преобразования Хаара отвечает функция-член xTransform() класса WaveletTransform. Суть такого преобразования заключается в том, что для входного одномерного массива данных двум соседним элементам ставится в соответствии два числа: одно из которых является огрубленной версией первоначального сигнала, а второе – представляет собой детализирующую информацию, необходимую для восстановления первоначального сигнала.

Прототип функции xTransform() имеет вид:

void WaveletTransform::XTransform(const float\* input, float\* output, int block, int blockDistr, int posDistr, int trSize);

где input – массив входных данных; output – результат преобразования; block – сегмент; blockDistr – расстояние между соседними сегментами; posDistr – расстояние между соседними элементами; trSize – длина строки.

**Двумерное преобразование Хаара**

Двумерное преобразование Хаара представляет собой поочередное одномерное вейвлет-преобразование Хаара строк и столбцов. Сначала выполняется одномерное преобразование над каждой строкой, затем – над каждым столбцом.

За двумерное преобразование отвечает функция-член Transform() класса WaveletTransform. Прототип функции имеет следующий вид:

void WaveletTransform::Transform(float \*input, float \*output, int width, int height, int depth);

где input – массив входных данных, output – результат преобразования, width – ширина кадра, height –высота кадра, depth –глубина сжатия изображения.

**Обратное вейвлет-преобразование**

За выполнение обратного преобразования отвечает метод RTransform() класса WaveletTransform, предназначенный для подтверждения корректности реализации прямого преобразования Хаара. Метод имеет следующий прототип:

void WaveletTransform::RTransform(float \*input, float \*output, int width, int height, int depth);

где input – массив входных данных, output – результат преобразования, width – ширина кадра, height –высота кадра, depth – глубина сжатия изображения.

## Схема и порядок тестирования

Для подтверждения правильности работы компонента, а также для контроля качества преобразования была реализована следующая система процессов, представленных отдельными компонентами-фильтрами:

**Рис.9. Схема компонента, реализующего сжатие на основе вейвлета Хаара**

где Source – это источник данных; Splitter – фильтр, разделяющий данные на 2 одинаковых потока, xTransform – прямое вейвлет-преобразование; rTransform – обратное вейвлет-преобразование; BiComporator – компонент (процесс), осуществляющий сравнение двух сигналов (исходного и обработанного).

При такой схеме результат прямого преобразования подается на вход процесса, отвечающего за обратное преобразование. Исходные данные и данные, полученные в результате последовательного прямого и обратного преобразования, затем сравниваются при помощи компонента BiComparator. Таким образом, была осуществлена проверка реализации прямого и обратного преобразований на предмет взаимного соответствия.

# Заключение

В ходе выполнения данной работы был разработан программный компонент (фильтр) для комплекса GeoImageFactory на основе двумерного вейвлет-преобразования Хаара. Разработанный компонент будет в дальнейшем использован при построении программных решений для сжатия данных дистанционного зондирования Земли.

Для исследования характеристик разработанного модуля был проведен ряд экспериментов, в ходе которых было показано, что преобразование данных происходит с допустимой для данной задачи потерей точности. Эти потери обусловлены ограниченностью разрядной сетки вычислительных машин и их нельзя избежать. Однако, эти потери минимальны и в большинстве случаев не являются значимыми. Вейвлеты Хаара – достаточно мощный и универсальный инструмент для обработки растровых изображений. Их реализация проста, а алгоритмы не содержат сложных вычислений, что в свою очередь, увеличивает ценность данного типа преобразований.

В ходе работы были достигнуты следующие результаты:

1. Разработан и реализован программный компонент, выполняющий прямое и обратное вейвлет-преобразование Хаара.
2. Разработана схема проверки соответствия реализации прямого и обратного преобразования.
3. Реализован компонент, выполняющий сравнение двух потоков данных.
4. Проведено тестирование, показавшее правильность предлагаемой реализации преобразования Хаара.
5. Написана статья на тему «Разработка и реализация программного компонента, выполняющего прямое и обратное вейвлет-преобразование Хаара».

В дальнейшими работа в этом направлении будет продолжена. В частности, в целях повышения степени сжатия планируется реализация компонента, на основе 3D-преобразования Хаара, а также исследование его свойств по сравнению с двумерным преобразованием.

Conclusion

In the frame of this thesis a software module called filter for the GeoImageFactory framework has been developed. This module implements the 2D Haar wavelet transform and will be used further for building software solutions compression of remotely sensed data.

A series of experiments have been conducted to study the characteristics of this component. These tests have shown that data transformation is performed at acceptable accuracy losses. These losses are caused by the limitations of computer machine bit grid.

Haar wavelet – is a powerful and widely applicable tool for image processing. This is a simple tool and the algorithms do not contain difficult computations, increasing the value of this type of transformations.

The following results have been produced in the course of this work:

1. a software module implementing Haar wavelet transforms has been developed;
2. a scheme for testing the direct and reverse transforms for mutual compliance has been developed and implemented;
3. a module for data flow comparison has been implemented;
4. the implementation of the Haar transform has been tested for correctness;
5. the article “Development and implementation of program component executing direct and reverse Haar wavelet transform” has been prepared for publication.

Further work shall be conducted to improve the current implementation in terms of compression rates by means of 3D Haar transform.

# Список использованных источников

1. В. Андрианов. Свойства данных дистанционного зондирования *[Электронный ресурс].* – Режим доступа: http://www.dataplus.ru/arcrev/Number\_17/3\_Svoistva.htm, свободный. Дата обращения: 25.05.2012.
2. А.В. Тевелев. Общая схема дистанционного зондирования. Методы получения дистанционной информации *[Электронный ресурс]*. – Режим доступа: http://geo.web.ru/~tevelev/remsen.htm, свободный. Дата обращения. 07.05.2012.
3. Образовательный геопортал *[Электронный ресурс]*. – Режим доступа: http://www.spacestudy.ru/, свободный Дата обращения: 12.05.2012.
4. А.М. Чандра, С.К. Гош. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. – Москва: Техносфера, 2008. – 312 с.
5. Геоматика.– Москва: Компания «СовЗонд», 2009 – . – выходит ежемесячно.
6. Введение в дистанционное зондирование *[Электронный ресурс]*. – Режим доступа: http://www.gasu.ru/resour/eposobia/posob/7.html, свободный. Дата обращения: 12.05.2012
7. П. Клапетик, Д.Некас, К.Андерсон. Руководство пользователя Gwyddion : портал *[Электронный ресурс]*. – Режим доступа:. http://gwyddion.net/documentation/user-guide-ru/index.html, свободный. Дата обращения: 21.05.2012.
8. А. Н. Яковлев. Введение в вейвлет-преобразования: учеб. пособие. – Новосибирск: Издательство НГТУ, 2003.–104 с.
9. Daniel T.L. Lee, Akio Yamamoto, Wavelet Analysis: Theory and Applications, Hewlett-Packard Journal, December 1994
10. Дискретное вейвлет–преобразование *[Электронный ресурс]*. – Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/дискретное\_вейвлет-преобразование, свободный. Дата обращения: 23.05.2012.
11. Вейвлеты *[Электронный ресурс]*. – Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Вейвлет, свободный. Дата обращения: 23.05.2012.

# Приложение А. Листинг программного кода

**Листинг исходного кода файла WaveletTransform.h:**

#include "GenericFilters\GenericPacketTransform.h"

const char SHORT\_NAME[] = "WLTTransform";

const char LONG\_NAME[] = "Filters.Transforms.WLTTransform";

class WaveletTransform : public GenericPacketTransform {

template <typename T> friend DataFrame\* TProcess(GenericSimpleTransform\* filter, DataFrame\* frame);

protected:

int depth;

int width;

int height;

public:

WaveletTransform(LPCSTR name);

virtual void ProcessPacket(DataFrame\*\* packet, int size);

virtual void Init();

virtual void Finalize();

virtual void InitValues();

virtual void InitPins();

virtual void InitPorts();

template<typename T>

static DataFrame\* ConvertDataToFloat(DataFrame\* frame) {

DataFrame\* result = CreateDataFrame(0, sizeof(float) \* frame->size / sizeof(T));

T\* input = CastDataFrame<T>(frame);

float\* output = CastDataFrame<float>(result);

int size = frame->size;

while (size--) {

\*output = (float)\*input;

input++;

output++;

}

return result;

}

virtual processor\_t ChooseProcessor(LPCTSTR dataType) {

if (wcsicmp(dataType, L"int8") == 0) {

pins[0]->GetValue(L"DataType").Set(L"int8");

return &TProcess<char>;

} if (wcsicmp(dataType, L"uint8") == 0) {

pins[0]->GetValue(L"DataType").Set(L"uint8");

return &TProcess<unsigned char>;

} else

if (wcsicmp(dataType, L"int32") == 0) {

pins[0]->GetValue(L"DataType").Set(L"int32");

return &TProcess<int>;

} else

if (wcsicmp(dataType, L"uint32") == 0) {

pins[0]->GetValue(L"DataType").Set(L"uint32");

return &TProcess<unsigned int>;

} else

throw 0;

};

public:

static void XTransform(const float\* input, float\* output, int block, int blockDistr, int posDistr, int trSize);

static void RXTransform(const float\* input, float\* output, int block, int blockDistr, int posDistr, int trSize);

void Transform(float \*input, float \*output);

static void Transform(float \*input, float \*output, int width, int height, int depth);

static void RTransform(float \*input, float \*output, int width, int height, int depth);

virtual void ForwardStreamValues();

};

template <typename T>

DataFrame\* TProcess(GenericSimpleTransform\* filter, DataFrame\* frame) {

DataFrame\* input = WaveletTransform::ConvertDataToFloat<T>(frame);

input->seq = frame->seq;

DataFrame\* output = CreateDataFrame(frame->seq, input->size);

if (input != frame)

FreeDataFrame(frame);

((WaveletTransform\*)filter)->Transform(CastDataFrame<float>(input), CastDataFrame<float>(output));

FreeDataFrame(input);

return output;

}

#ifdef \_DEBUG

extern "C" \_\_declspec(dllexport) void Run();

#endif

**Листинг исходного кода файла WaveletTransform.cpp:**

// WaveletTransform.cpp : Defines the exported functions for the DLL application.

//

#include "stdafx.h"

#include "WaveletTransform.h"

WaveletTransform::WaveletTransform(LPCSTR name)

: GenericPacketTransform(name, 1, 1) {

}

void WaveletTransform::Init(){

depth = values[L"Depth"];

width = ports.GetItem(0)->GetValue(L"Width");

height = ports.GetItem(0)->GetValue(L"Height");

processor = ChooseProcessor(ports.GetItem(0)->GetValue(L"DataType").ToW());

pins[0]->GetValue(L"Width").Set(width);

pins[0]->GetValue(L"Height").Set(height);

}

void WaveletTransform::Finalize(){

}

void WaveletTransform::InitValues(){

values[L"Depth"].Set(1);

}

void WaveletTransform::InitPins(){

}

void WaveletTransform::InitPorts(){

}

void WaveletTransform::ProcessPacket(DataFrame\*\* packet, int size){

for (int i = 0; i < size; i++) {

DataFrame\* output = processor(this, \*packet);

packet++;

Forward(output);

}

}

void WaveletTransform::XTransform(const float\* input, float\* output, int block, int blockDistr, int posDistr, int trSize) {

int baseShift = block \* blockDistr;

for (int pos = 0; pos < trSize; pos += posDistr) {

\*(output + baseShift + pos / 2) = (\*(input + baseShift + pos) + \*(input + baseShift + pos + posDistr)) / 2;

\*(output + baseShift + pos / 2 + trSize/2) = (\*(input + baseShift + pos) - \*(input + baseShift + pos + posDistr)) / 2;

}

}

void WaveletTransform::RXTransform(const float\* input, float\* output, int block, int blockDistr, int posDistr, int trSize) {

int baseShift = block \* blockDistr;

for (int pos = 0; pos < trSize; pos += posDistr) {

\*(output + baseShift + pos) = \*(input + baseShift + pos / 2) + \*(input + baseShift + pos / 2 + trSize/2);

\*(output + baseShift + pos + posDistr) = \*(input + baseShift + pos / 2) - \*(input + baseShift + pos / 2 + trSize/2);

}

}

void WaveletTransform::RTransform(float \*input, float \*output, int width, int height, int depth){

int div = pow(2.0, depth);

int trWidth = width ;

int trHeight = height;

float\* buf;

while (depth) {

trWidth = width / div;

if (trWidth) {

for (int pos = 0; pos < trHeight; pos++) {

RXTransform(input, output, pos, width, 1, trWidth);

}

buf = input;

input = output;

output = buf;

}

trHeight = height / div;

if (trHeight) {

for (int pos = 0; pos < trWidth; pos++) {

RXTransform(input, output, pos, 1, width, trHeight);

}

buf = input;

input = output;

output = buf;

}

depth--;

}

}

void WaveletTransform::Transform(float \*input, float \*output, int width, int height, int depth){

int trWidth = width;

int trHeight = height;

float\* buf;

while (depth) {

if (trWidth) {

for (int pos = 0; pos < trHeight; pos++) {

XTransform(input, output, pos, width, 1, trWidth);

}

buf = input;

input = output;

output = buf;

trWidth /= 2;

}

if (trHeight) {

for (int pos = 0; pos < trWidth; pos++) {

XTransform(input, output, pos, 1, width, trHeight);

}

buf = input;

input = output;

output = buf;

trHeight /= 2;

}

depth--;

}

}

void WaveletTransform::ForwardStreamValues() {

throw 0;

}

#ifdef \_DEBUG

void Run() {

//int input[] = { 10, 10, 10, 10,

// 10, 10, 10, 10,

// 10, 10, 10, 10,

// 10, 10, 10, 10

//};

//int output[16];

//WaveletTransform::XTransform(input, output, 4, 1, 4, 2, 4, 1);

//WaveletTransform::XTransform(output, input, 4, 1, 4, 2, 1, 4);

}

#endif

# Приложение Б. Блок-схемы алгоритма





1. Солнечно-синхронная орбита – геоцентрическая орбита с такими параметрами, что объект, находящийся на этой орбите, проходит над любой точкой земной поверхности приблизительно в одно и то же местное солнечное время. Таким образом, угол освещения земной поверхности будет приблизительно одинаковым на всех проходах спутника. Такие постоянные условия освещения очень хорошо подходят для спутников, получающих изображения земной поверхности (в том числе спутников дистанционного зондирования земли, метеоспутников). [↑](#footnote-ref-1)
2. Поточная модель программирования – это парадигма программирования, моделирующая программу как направленный граф потоков данных между операциями (методами). [↑](#footnote-ref-2)