

# Метод автоматизации проектирования средств обработки информации в дифракционных гиперспектральных системах дистанционного зондирования Земли

А. Ю. Кузнецов<sup>1</sup>, Е. В. Тушканов<sup>2</sup>, О. В. Кузнецова<sup>3</sup>, Ю. В. Донецкая<sup>4</sup>, Д. А. Заколдаев<sup>5</sup>  
Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий,  
механики и оптики (Университет ИТМО)

<sup>1</sup>kau1989@mail.ru, <sup>2</sup>johntv@yandex.ru, <sup>3</sup>ovkpbks@yandex.ru,  
<sup>4</sup>donetskaya\_julia@mail.ru, <sup>5</sup>d.zakoldaev@corp.ifmo.ru

**Аннотация.** Данная статья посвящена разработке метода автоматизации проектирования средств обработки изображений в дифракционных гиперспектральных системах дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Системы ДЗЗ зарекомендовали себя как исследовательские приборы способные решать широкий спектр задач. Их достоинство заключается в получении интегрированных по поверхности спектральных характеристик с высоким спектральным разрешением. Из-за низкой популярности приборов данного класса в нашей стране отсутствуют основы для разработки специализированных программ способных в полной мере использовать их потенциал. Данная работа посвящена созданию научных основ и положений для автоматизации проектирования подобных средств обработки гиперспектральной информации.

**Ключевые слова:** гиперспектральная аппаратура; дистанционное зондирование; идентификация объектов; видеоспектрометр; обработка изображений

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Одной из важных проблем настоящего времени является автоматизация проектирования в различных отраслях науки и техники. Данный факт обусловлен тем, что необходимо сокращать время проектирования и уменьшать трудозатраты. Для решения этих проблем в последнее время применяются системы автоматизированного проектирования (САПР), которые представляют собой организационно-техническую систему, предназначенную для автоматизации процесса проектирования, состоящую из персонала и комплекса технических, программных средств автоматизации. Одной из областей, в которой нашли применение подходы, методы и алгоритмы САПР, является обработка изображений в гиперспектральных системах дистанционного зондирования Земли (ГСС ДЗЗ).

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) представляет собой процесс измерения характеристик интересующих пользователя объектов с помощью чувствительных датчиков, не находящихся в непосредственном контакте с предметом исследования. На

сегодняшний день подобные датчики устанавливаются, как правило, на борту авиационных и космических носителей. Как показывает международный опыт последних десятилетий, наибольшей эффективностью при ДЗЗ обладает гиперспектральная аппаратура, основанная на поэлементной регистрации спектров и структуры изучаемых удаленных объектов. Она открывает широкие возможности зондирования Земли и околоземного пространства, преодолевая самые изощренные естественные и искусственные способы маскировки исследуемых объектов. Основным достоинством гиперспектральной аппаратуры является то, что часто она позволяет наблюдать поверхность Земли в любое время суток, независимо от состояния атмосферы. Эта аппаратура отличается от аналогичных классических приборов тем, что помимо обычной спектральной информации – измерения коэффициентов спектральной яркости (КСЯ) – позволяет получать высококачественные панорамные изображения исследуемого объекта во многих различных спектральных интервалах. При этом такая аппаратура, в отличие от аналогов, не интегрирует КСЯ по всей поверхности объекта, а обеспечивает его поэлементную регистрацию.

Гиперспектральная аппаратура, работающая на различных участках ультрафиолетового, видимого и инфракрасного спектра, в настоящее время активно используется при решении научно-исследовательских и оперативных задач по мониторингу природных комплексов и антропогенных объектов дистанционными методами. Приборы данного класса по сравнению с классическими системами оптического сканирования, существенно расширяют возможности обнаружения и распознавания объектов и фонов по их спектральным образам.

Основой гиперспектральной аппаратуры служит видеоспектрометр, компоновка которого включает в себя входной (проецирующий) объектив и полихроматор, т.е. спектральную часть, снабженную дифракционной решеткой или спектральной призмой, что позволяет

условно разделить приборы данного класса на дифракционные и призмные видеоспектрометры [1].

В нашей стране для обработки гиперспектральных изображений, получаемых средствами ДЗЗ первоначально использовалось готовое программное обеспечение, поставляемое зарубежными фирмами. В начале 2000-х годов в России начались разработки программных продуктов, предназначенных для обработки изображений, получаемых посредством отечественных ГСС ДЗЗ [2].

## II. ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ

Разработка средств обработки изображений в дифракционных ГСС ДЗЗ является весьма трудоемким процессом. Основные используемые на сегодняшний день алгоритмы распознавания образов на гиперспектральных снимках требуют много времени и не являются оптимальными для решения конкретных задач обнаружения. Применение методологии САПР позволяет решить эти проблемы.

В связи с этим возникла необходимость разработки новых методов автоматизации проектирования средств обработки изображений в дифракционных ГСС ДЗЗ и сокращения времени получения пользователем необходимых данных об объектах Земли.

В целях автоматизации проектирования средств обработки гиперспектральной информации при анализе спектральных характеристик следует применять вегетационные индексы [3–5]. На сегодняшний день существует множество различных вегетационных индексов, но наиболее эффективными из них считаются следующие:

- Вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), который рассчитывается по следующей формуле:

$$NDVI = \frac{R_{nir} - R_{red}}{R_{nir} + R_{red}},$$

где  $R_{nir}$  и  $R_{red}$  – усредненные значения спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ) или КСЯ в ближнем инфракрасном и красном диапазонах спектра конкретной точки изображения.

- Вегетационный индекс ARVI (Atmospherically Resistant Vegetation Index), который рассчитывается по формуле:

$$ARVI = \left( \frac{R_{nir} - R_{blue}}{R_{nir} + R_{blue}} \right),$$

где  $R_{blue}$  и  $R_{nir}$  – усредненные значения СПЭЯ или КСЯ в синем и ближнем инфракрасном диапазонах спектра конкретной точки изображения.

- Вегетационный индекс RENDVI (Red Edge Normalized Difference Vegetation Index), который также обозначается как NDVI<sub>705</sub> и рассчитывается по формуле:

$$NDVI_{705} = \left( \frac{R_{750} - R_{705}}{R_{750} + R_{705}} \right),$$

где  $R_{750}$  и  $R_{705}$  – значения СПЭЯ или КСЯ в областях длин волн 750 и 705 нм соответственно.

- Вегетационный индекс WBI (Water Band Index), который рассчитывается по формуле:

$$WBI = \frac{R_{900}}{R_{970}},$$

где  $R_{900}$  и  $R_{970}$  – значения СПЭЯ или КСЯ в областях длин волн 900 и 970 нм соответственно.

- Вегетационный индекс TVI (Transformed Vegetation Index), который рассчитывается по формуле:

$$TVI = \sqrt{NDVI + 0,5},$$

где  $NDVI$  – значения вегетационного индекса  $NDVI$  для конкретной точки изображения.

- Вегетационный индекс TCHVI (Three-channel Vegetation Index), который рассчитывается по формуле:

$$TCHVI = \frac{(R_{red} - R_{gr}) - (R_{nir} - R_{red})}{(R_{red} - R_{gr}) + (R_{nir} - R_{red})},$$

где  $R_{gr}$ ,  $R_{nir}$  и  $R_{red}$  – усредненные значения СПЭЯ или КСЯ в зеленом, ближнем инфракрасном и красном диапазонах спектра конкретной точки изображения.

Схема выбора вегетационного индекса изображена на рисунке 1, где  $V$  – множество вегетационных индексов,  $X$  – множество объектов решения прикладных задач,  $S(X)$  – множество спектральных диапазонов, подвергающихся анализу,  $R$  – множество диапазонов, по которым различаются объекты анализа.

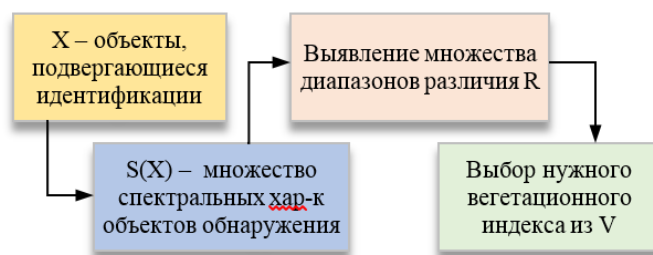


Рис. 1. Проектная процедура выбора вегетационного индекса

Данная процедура позволяет грамотно производить выбор необходимых вегетационных индексов из их множества. С точки зрения автоматизации проектирования здесь необходимо ввести дополнительный критерий различия спектральных интервалов [6]. Таким критерием предлагается выбрать среднее квадратичное отклонение. Для того, чтобы определить уровень различимости узких спектральных интервалов необходимо ввести пороговое значение, по которому данные интервалы будут признаны различными. После чего, в соответствии с найденными различными интервалами, подбирается подходящий вегетационный индекс или задается новый критерий различия двух разных объектов.

### III. МЕТОД АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СРЕДСТВ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Проектирование средств обработки изображений в дифракционных ГСС ДЗЗ включает выполнение следующих этапов:

- Разработку алгоритма обработки информационного параллелепипеда для получения полноформатного изображения.
- Разработку алгоритма получения спектральных характеристик в значениях отсчетов аналогового цифрового преобразователя.
- Радиометрическую калибровку получаемых спектральных характеристик.
- Разработку алгоритма получения спектральных характеристик в соответствии с проведенной калибровкой.
- Анализ спектральных характеристик для решения задачи обнаружения в соответствии с тактико-техническим заданием.
- Определение наиболее подходящего для обнаружения критерия различия спектральных характеристик.
- Анализ плотности распределения критериев обнаружения и получение статистических характеристик.
- Синтез алгоритма решения задачи обнаружения на основе полученных статистических данных и математических моделей систем распознавания образов.
- Разработку программного средства обработки изображений на основе полученных алгоритмов.

При решении поставленных задач и выполнения сформулированных ранее этапов проектирования был разработан метод автоматизации проектирования средств обработки изображений, основанный на систематизированном подходе к процессу проектирования специализированных приложений и положенный в основу САПР средств обработки изображений в дифракционных ГСС ДЗЗ.

Архитектура САПР состоит из трех основных подсистем: подсистема анализа спектральных характеристик, подсистема распознавания спектральных характеристик и подсистема обработки гиперспектральной информации.

Подсистема обработки гиперспектральной информации формирует основу для всего программного средства. В нее закладываются алгоритмы, учитывающие все технические особенности дифракционных видеоспектрометров. Данная подсистема отвечает за грамотное формирование спектральных характеристик в процессе обработки гиперспектральной информации.

Подсистема анализа спектральных характеристик анализирует проектную документацию на предмет прикладной задачи обнаружения. Для этого в соответствии с входящей информацией берет из базы данных спектральные характеристики нужных объектов и выявляет тонкие спектральные различия. После чего проводится процедура выбора подходящего вегетационного индекса для реализации процесса обнаружения.

Подсистема распознавания спектральных характеристик содержит в себе все существующие на сегодняшний день алгоритмы распознавания и выбирает наиболее подходящий для решения прикладных задач обнаружения в соответствии с входящей информацией от подсистемы анализа спектральных характеристик.

На последнем этапе проектирования происходит синтез всех полученных алгоритмов в конечное средство обработки гиперспектральной информации. Схема САПР средств обработки изображений в дифракционных ГСС ДЗЗ изображена на рис. 2.

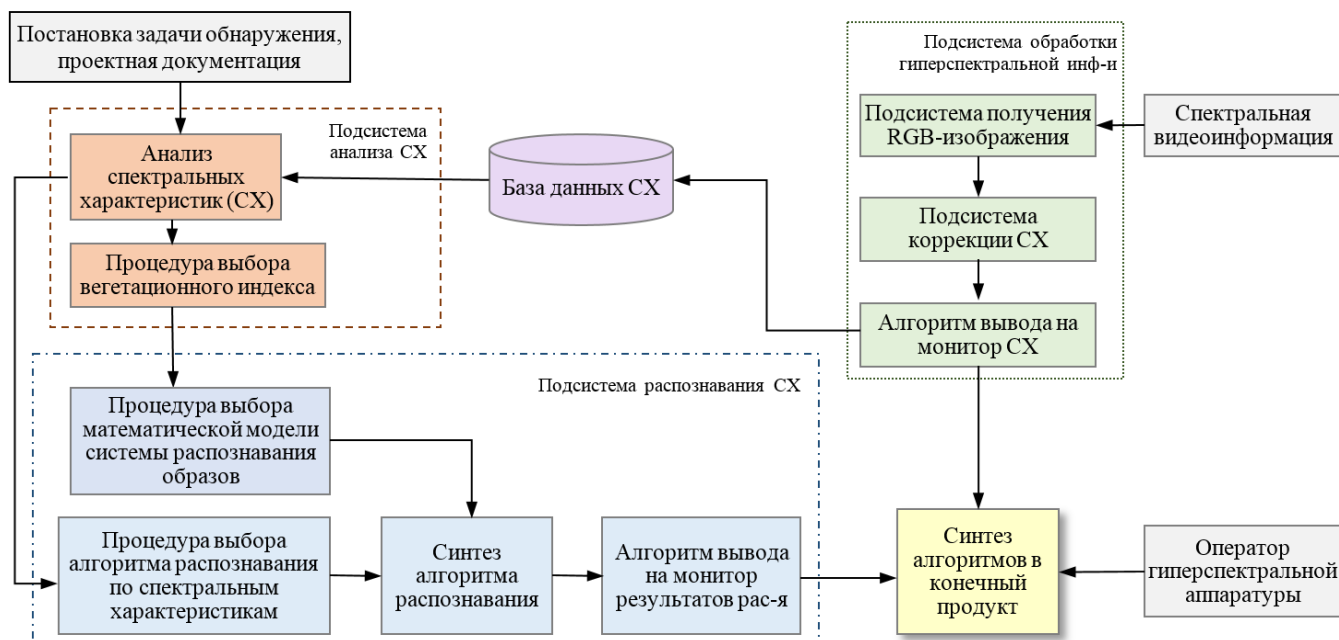


Рис. 2. Структурная схема САПР средств обработки изображений в дифракционных ГСС ДЗЗ

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дифракционные ГСС ДЗЗ позволяют обрабатывать гиперспектральную информацию менее затратно. Это обусловлено тем, что для их полноценной работы не нужно применять алгоритмы оптимизации отношения сигнал/шум и бининга.

Проектирование средств обработки изображений в таких системах должно учитывать особенности конкретных задач обнаружения. С этой целью, в процессе проектирования, в средства обработки изображений необходимо закладывать нужную информацию по анализируемым спектральным характеристикам и алгоритмы, ориентированные на их обнаружение. Для этого лучше всего подходят вегетационные индексы и математические модели систем распознавания образов. Также следует учитывать тот факт, что для оптимального и быстрого проектирования таких средств необходимо накопление базы данных спектральных характеристик, которая является частью предложенной САПР средств обработки изображений в дифракционных ГСС ДЗЗ.

Таким образом, разработанный метод автоматизации проектирования позволит универсализировать и систематизировать процесс разработки приложений для ГСС ДЗЗ и применять их для всего спектра существующих задач обнаружения объектов земной поверхности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУР

- [1] Кузнецов А.Ю. Проблемы создания отечественных видеоспектрометров на примере гиперспектрального комплекса «Фрегат» // Научное обозрение. Москва. 2015г. №2. С. 118–123.
- [2] Чиков К.Н., Гуд В.В., Красавцев В.М. Бортовой видеоспектральный комплекс для целей геолого- и экологического картирования // Научные исследования высшей школы по экологии и рациональному природопользованию. Сборник статей / Санкт-Петербургский горный ин-т. СПб, 2000. С.173–175.
- [3] Козодеров В.В., Кондранин Т.В., Дмитриев Е.В., Тематическая обработка многоспектральных и гиперспектральных аэрокосмических изображений: учебное пособие для студентов вузов по направлению подготовки "Прикладная математика и физика". Москва: МФТИ, 2013. 223 с.
- [4] Goryainov S.V., Kuznetsov A.Y., Tushkanov E.V., Kuznetsova O.V., Romanova E.B. Analysis of Bayes mathematical systems of pattern recognition for identifying the objects on hyperspectral photographs // Proceedings of the 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2017. 2017, pp. 40–42.
- [5] Krasilnikov A.V., Kuznetsov A.Y., Tushkanov E.V., Kuznetsova O.V., Romanova E.B. Method of detection the prevent coating on hyperspectral representation by Neumann-Pearson criterion // Proceedings of the 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2017. 2017, pp. 64–66.
- [6] Кузнецов А.Ю. Проблемы создания отечественных видеоспектрометров на дифракционных решетках и перспективы их использования для контроля состояния природной среды // Труды 3 Всероссийской научной конференции «Проблемы военно-прикладной 87 геофизики и контроля состояния природной среды». СПб: ВКА им А.Ф. Можайского. 2014г. С. 313–319.