



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала: <http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 528.81

ВЫБОР ДАТЧИКОВ ДЛЯ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Ткачева Е.Г., ¹Калашников В.С.

ФГБОУ ВО "МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Э. БАУМАНА (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)",
Москва, Россия, (105005, город Москва, 2-Я Бауманская ул, д. 5 стр. 1), e-mail:
¹akm543@mail.ru

В статье рассматриваются ключевые компоненты и принципы работы гиперспектральных систем, включая блок оптики, дисперсионный элемент и детекторы. Описаны различные типы сенсоров, такие как PMT, CCD и CMOS, с акцентом на их особенности и области применения. Особое внимание уделено выбору подходящего сенсора в зависимости от требований к чувствительности, скорости и эффективности системы. В статье также анализируются преимущества и ограничения каждого типа сенсора в зависимости от условий эксплуатации и специфики измерений. Подчеркнута важность баланса между производительностью и экономической эффективностью при выборе сенсора для гиперспектральных систем.

Ключевые слова: Гиперспектральные системы, оптические сенсоры, дисперсионные элементы, фотоумножители, приборы с зарядовой связью, комплементарные металл-оксид-полупроводниковые структуры.

SENSOR SELECTION FOR HYPERSPECTRAL SYSTEMS

Tkacheva E.G., ¹Kalashnikov V.S.

BAUMAN MOSCOW STATE TECHNICAL UNIVERSITY (NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY),
Moscow, Russia, (105005, Moscow, 2nd Baumanskaya ul, 5 bld. 1), e-mail: ¹akm543@mail.ru

The article discusses the key components and principles of hyperspectral systems, including the optics module, dispersive element, and detectors. Various sensor types, such as PMT, CCD, and CMOS, are described with a focus on their characteristics and applications. Special attention is given to selecting the appropriate sensor based on the system's requirements for sensitivity, speed, and efficiency. The article also analyzes the advantages and limitations of each sensor type based on operating conditions and measurement specifics. The importance of balancing performance and cost-effectiveness when selecting a sensor for hyperspectral systems is emphasized.

Keywords: Hyperspectral systems, optical sensors, dispersive elements, photomultiplier tubes, charge-coupled device, complementary metal-oxide-semiconductor.

Гиперспектральный датчик (hyperspectral sensor, HSS) представляет собой оптико-электронную многоканальную систему, предназначенную для сбора информации в виде набора изображений, представляющих разные диапазоны электромагнитного спектра. Эти изображения затем объединяются в куб гиперспектральных данных, при этом каждый пиксель такого изображения содержит информацию о спектре (Рисунок 1).

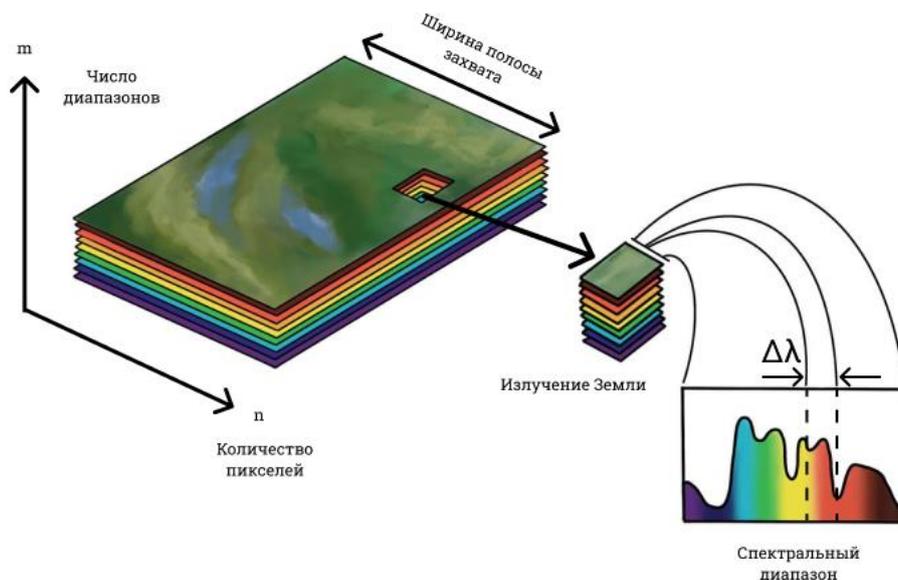


Рисунок 1. - Концепция гиперкуба, состоящего из отдельных изображений, записанных в «m» спектральных диапазонах

Работа гиперспектральной системы может быть понята лучше, если разделить ее на основные блоки, такие как блок оптики, дисперсионный элемент, детекторы, а также системы управления и обработки данных. Рассмотрим подробнее, что происходит в каждом из этих блоков (Рисунок 2.).

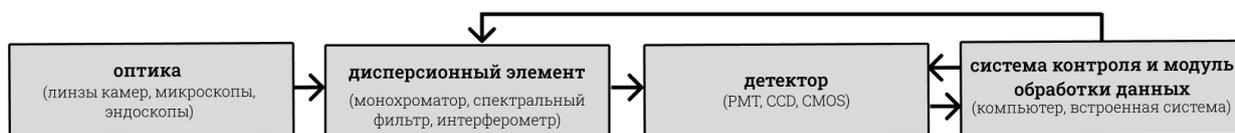


Рисунок 2. Блок-схема гиперспектральной системы отображения

Блок оптики в гиперспектральных системах отвечает за сбор входного светового сигнала от наблюдаемого объекта. [1] Это начальный этап, где свет, отраженный или излученный объектом, фокусируется и направляется на дисперсионный элемент. Используются различные типы оптических систем, включая линзы и зеркала, чтобы эффективно собрать и передать свет с минимальными потерями качества и искажениями.

Дисперсионный элемент является ключевой частью гиперспектральной системы, его задача – разделить входящий световой поток на отдельные спектральные компоненты (полосы). Такое разделение возможно благодаря использованию дифракционных решеток, призм или других оптических устройств, которые по-разному преломляют свет различных длин волн. [2]

Детекторный блок предназначен для преобразования разделенного спектрального сигнала в электронные данные. Детекторы захватывают световые сигналы в различных спектральных диапазонах и преобразуют их в цифровую форму для дальнейшей обработки. Ключевым моментом является высокая чувствительность и точность детекторов,

позволяющая эффективно регистрировать информацию даже при низком уровне светового сигнала.

Последний этап работы гиперспектральной системы включает в себя управление процессом сбора данных и их последующую обработку. Системы управления координируют работу всех элементов устройства, обеспечивая оптимальные условия для получения качественных данных. [3] Мощное программное обеспечение позволяет эффективно обрабатывать большие объемы информации, выделять интересующие признаки и проводить комплексный анализ с целью получения ценных сведений о наблюдаемом объекте.

Существуют различные типы гиперспектральных сенсоров, среди которых основными являются: фотоэлектронные умножители или фотоумножители (photomultiplier tube, PMT), приборы с зарядовой связью или ПЗС-матрицы, (charge-coupled device, CCD), и комплементарные металл-оксид-полупроводниковые структуры (complementary metal-oxide-semiconductor, CMOS). Рассмотрим, как каждый этих сенсоров обрабатывает поступающую на них энергию.

Фотоумножители

PMT – это высокочувствительные детекторы, которые могут обнаруживать слабые световые сигналы, даже отдельные фотоны. [4] Они работают путем преобразования светового сигнала в электронный сигнал через серию фотокатодов и динодов, что позволяет усиливать сигнал в миллионы раз. PMT особенно полезны в приложениях, где требуется высокая чувствительность и быстрая временная реакция, однако их использование ограничено низкой эффективностью квантового выхода в некоторых спектральных диапазонах и высокой стоимостью.

ПЗС – матрицы

CCD – это тип фоточувствительных микросхем, который преобразует и накапливает поступающий световой сигнал в видимом, ближнем инфракрасном и ультрафиолетовом диапазонах в электрический заряд в каждом из своих пикселей. Затем эти заряды последовательно перемещаются через схему сенсора и преобразуются в электрический сигнал, который может быть усилен и обработан. CCD обеспечивают высокое качество изображения с низким уровнем шума, но требуют значительных энергозатрат и более сложных систем охлаждения для поддержания оптимальной работы.

Комплементарные металл-оксид-полупроводниковые структуры

CMOS работают по принципу, схожему с CCD, но используют другую технологию обработки сигнала. В CMOS каждый пиксель обрабатывает свои заряды независимо, что позволяет проводить аналого-цифровое преобразование непосредственно на чипе. Это приводит к более высокой скорости считывания и меньшему энергопотреблению по сравнению с CCD. CMOS сенсоры стали более популярными из-за их стоимости, универсальности и эффективности, хотя они могут уступать CCD в качестве изображения и чувствительности при некоторых условиях. Однако CMOS сенсоры более восприимчивы к шуму и темновому току по сравнению с CCD, что связано с использованием встроенной микросхемы для передачи и усиления сигналов. Это приводит к снижению динамического диапазона и чувствительности. Темновой ток, который зависит от температуры, является

распространенным источником шума в показаниях сенсора и требует учета при калибровке для выполнения корректных измерений.[5]

Выбор между PMT, CCD и CMOS сенсорами зависит от специфических требований, включая чувствительность, скорость, диапазон детектирования, стоимость и физические размеры. Для гиперспектральных систем выбирают тип датчика в зависимости от целей измерения и условий эксплуатации, стремясь достичь наилучшего баланса между высокой производительностью и экономической эффективностью.

Список литературы

1. Сутырина Е. Н. Дистанционное зондирование земли: учеб. пособие – Иркутск : Изд-во ИГУ, 2013. – 165 с.
2. Гиперспектральная визуализация. Что это и где применяется? // lenlasers.ru URL: <https://lenlasers.ru/novosti-i-stati/giperspektralnaya-vizualizatsiya-cto-eto-i-gde-primenyaetsya/> (дата обращения: 24.09.2024).
3. Гиперспектральная съемка // ИННОТЕР URL: <https://innoter.com/articles/giperspektralnaya-semka/> (дата обращения: 30.09.2024).
4. Hyperspectral Imaging for Clinical Applications // SpringerLink URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13206-021-00041-0#Sec15> (дата обращения: 01.10.2024).
5. Требования к датчикам и камерам для гиперспектральной съемки // gisproxima.ru URL: https://gisproxima.ru/trebovaniya_k_datchikam (дата обращения: 04.10.2024).

References

1. Sutyryna E. N. Remote sensing of the Earth: studies. the manual – Irkutsk : Publishing House of the ISU, 2013. – 165 p.
 2. Hyperspectral visualization. What is it and where is it applied? // lenlasers.ru URL: <https://lenlasers.ru/novosti-i-stati/giperspektralnaya-vizualizatsiya-cto-eto-i-gde-primenyaetsya/> (date of access: 09/24/2024).
 3. Hyperspectral photography // INNOTHER URL: <https://innoter.com/articles/giperspektralnaya-semka/> (date of access: 30.09.2024).
 4. Hyperspectral Imaging for Clinical Applications // SpringerLink URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13206-021-00041-0#Sec15> (date of reference: 01.10.2024).
 5. Requirements for sensors and cameras for hyperspectral photography // gisproxima.ru URL: https://gisproxima.ru/trebovaniya_k_datchikam (date of application: 04.10.2024).
-