

Литература

1. Беспилотный летательный аппарат (дрон, БПЛА) // Tadviser: [сайт]. – URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Беспилотный_летательный_аппарат_\(дрон,_БПЛА\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Беспилотный_летательный_аппарат_(дрон,_БПЛА)) (дата обращения: 20.12.2024).

2. Ловцов, Д. А. Моделирование оптико-электронных систем дистанционно пилотируемых аппаратов: монография / Д. А. Ловцов, Д. А. Гаврилов. – М.: Технолож-3000, 2019. – 164 с.

УДК 004.93'11

**МЕТОДИКА РАСПОЗНАВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ
НА ОСНОВЕ МНОГОУРОВНЕВЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ**
Беляев Ю. В., Литвинович Г. С., Мартинов А. О., Старовойт А. И., Цикман И. М.

*НИУ «Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко БГУ»,
Минск, Беларусь*

Аннотация. В работе представлена методика тематической обработки данных дистанционного зондирования для идентификации природных объектов по их коэффициенту спектральной яркости (КСЯ). Методика основана на анализе эталонных спектров, полученных в ходе лабораторных и наземных спектрометрических измерений образцов почв и хвои различного состояния. Созданная на их основе обучающая выборка использовалась для классификации авиационных данных. Показана эффективность предложенного подхода для выделения кластеров, соответствующих разной степени усыхания хвойных пород.
Ключевые слова: КСЯ, спектрометр, методика, классификация.

**RECOGNITION METHOD FOR NATURAL OBJECTS BASED
ON MULTILEVEL SPECTRAL DATA**

Belyaev Yu. V., Litvinovich H. S., Martinov A. O., Starovoit A. I., Tsykman I. M.

*A. N. Sevchenko Institute of Applied Physical Problems of Belarusian State University,
Minsk, Belarus*

Abstract. The paper presents a method for thematic processing of remote sensing data for identifying natural objects by their spectral reflectivity. The method is based on the analysis of reference spectra obtained during laboratory and ground-based spectrometric measurements of soil samples and needles of various states. The training sample created on their basis was used to classify aviation data. The efficiency of the proposed approach for identifying clusters corresponding to different degrees of drying of coniferous species is shown.

Keywords: Reflectivity, spectrometer, methodology, classification.

*Адрес для переписки: Беляев Ю. В., ул. Курчатова, 7, г. Минск 220045, Республика Беларусь
e-mail: belyu@tut.by*

Введение. Исследования спектральных характеристик природных объектов показали, что спектры отражательной способности существенно зависят от состояния и свойств объектов. Растительность и почвы имеют различные отражательные свойства в зависимости от влажности, фазы вегетации, поражения болезнями и других факторов. Эти отличия лежат в основе дистанционного зондирования Земли – по спектральным признакам можно идентифицировать тип поверхности и оценивать ее состояние. Целью настоящей работы является разработка методики тематической обработки данных для выделения и распознавания природных объектов по спектральным признакам на основе результатов лабораторных и наземных измерений.

Лабораторные измерения. Для верификации данных дистанционного зондирования проведены лабораторные спектрометрические измерения с использованием специализированного гониометрического комплекса «Визир» [1,2]. Комплекс «Визир» позволяет измерять двунаправленные спектрополяризационные коэффициенты отражения образцов в спектральном диапазоне 400–

2500 нм. В комплекс введен механизм автоматической смены образца и эталона: каждый спектрометр поочередно измеряет сигнал от исследуемого образца и от эталонной белой пластины (молочное стекло МС-20).

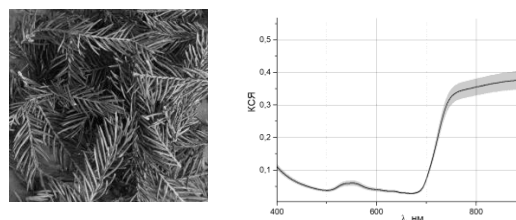


Рисунок 1 – Внешний вид образца хвои (слева) и измеренный КСЯ с дисперсией (справа)

В лабораторных условиях исследованы образцы различных почв и хвои в разной степени поражения (здоровые и больные образцы, классифицированные лесопатологом по степени усыхания), отобранные в полевых условиях, с целью получить их эталонные спектры для последующей классификации (рисунок 1). Такой подход обеспечивает сопоставимость лабораторных данных

с наземными измерениями, что важно для последующей валидации и интерпретации результатов.

Наземные измерения. Полевые эксперименты проведены на тестовых участках (Старобинский и Борисовский лесхозы) с целью сбора тестовых данных. Наземное спектрометрирование включало измерение спектральных отражательных характеристик различных природных поверхностей (почва, травяной покров.), а также параллельную регистрацию параметров атмосферы на момент измерений. Это позволило пересчитать зарегистрированные сигналы в абсолютные спектрально-энергетические единицы с учетом проведенной радиометрической калибровки прибора и вычислить коэффициент спектральной яркости объекта (КСЯ) (рисунок 2).

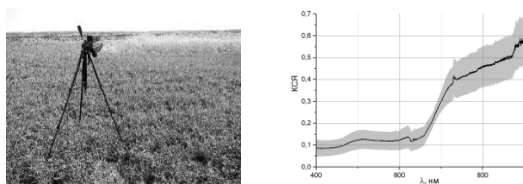


Рисунок 2 – Внешний вид полигона (слева) и измеренный КСЯ с дисперсией (справа)

Для съемки использовался переносной спектрорадиометр ФСР-05, которым регистрировались спектры отражения солнечного излучения от тестовых поверхностей с обязательным измерением яркости эталонного отражателя (молочное стекло МС-20).

Методика обработки и классификации. Спектральная отражательная способность почвы является эффективным средством диагностики ее типа и состояния. По характеру спектральных кривых можно выделять классы почвенного покрова, что используется при почвенном картографировании. Также учитываются различия спектров на участках с разным уровнем удобрения почвы, что может проявляться в изменении интенсивности отражения в отдельных диапазонах.

Каждый исследуемый полигон отличается особенностями местности: влажность, освещенность, состав растительности, биохимические характеристики почв и т. в. Все это приводит к необходимости дополнительной настройки классификаторов для конкретного региона. Поэтому наземные и лабораторные данные легли в основу обучающей выборки для классификатора данных большего масштаба: авиационных и космических.

Классификатор данных включает в себя несколько модулей: модуль нормализации данных (для исключения разной освещенности образцов), модуль классификации (включает в себя метод главных компонент, метод линейного дискриминантного анализа и метод Random Forest), а также модуль отображения и визуализации данных.

Для устранения различий в абсолютных значениях спектральной выборки выполняется нормализация средним (Z-нормализация) спектром. Для этого из каждого спектра вычитается выборочное среднее этого спектра и результат делится на среднеквадратическое отклонение.

На рисунке 3 представлено распределение измеренных авиационных спектров в осях главных компонент после применения алгоритма классификации, обученного на наземных и авиационных данных.

Круги малого размера (рисунок 3) отвечают за автоматическую классификацию, а круги большого размера – за наземную и лабораторную, то есть по сути являются эталонными.

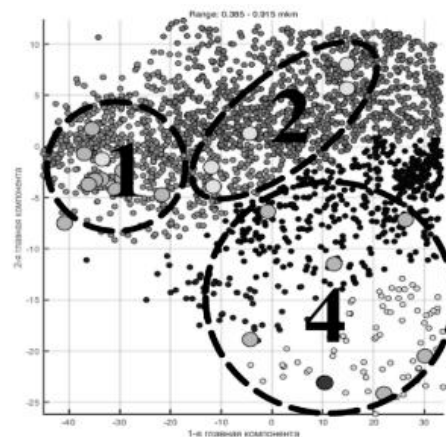


Рисунок 3 – Выделенные алгоритмом классификации кластеры различных категорий усыхания (обозначены цифрами) среди измеренных спектров на основе референсных, определенных по наземным измерениям

Спектры 4-й категории здоровья (обведены пунктиром) четко отделены от спектров 1-й и 2-й категорий (также отмечены пунктиром). 3-я категория здоровья была отнесена к 4-ой в виду сложной визуальной классификации специалистом-лесопатологом. Однако несколько «больных» образцов были распознаны классификатором как «здоровые», что, вероятно, было вызвано ошибочной классификацией лесопатолога, либо при измерении спектрометр захватил посторонние объекты вместе с кронами елей.

Заключение. Разработанная методика позволяет успешно классифицировать природные объекты, в частности выделять степени усыхания хвои, по данным дистанционного зондирования. Основой послужили эталонные спектры, полученные лабораторными и наземными измерениями. Большинство образцов корректно распознано, однако выявлены отдельные ошибки классификации, вероятно, связанные с неточностями экспертной оценки или помехами при измерениях.

Литература

1. Сизиков, А. С. Создание отечественного комплекса «Визир» для измерений двунаправленных спек-

трополяризационных коэффициентов отражения и яркости природных и искусственных объектов / А. С. Сизиков, Ю. В. Беляев, И. М. Цикман // Безопасность и пожарная техника. – 2018. – № 2. – С. 28–37.

2. Модернизация комплекса «Визир» = Upgrading of the «Vizir» instrument / И. М. Цикман [и др.] // Приборостроение-2022: материалы 15-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 16–18 нояб. 2022 г. / редкол.: О. К. Гусев (пред.) [и др.]. – Минск: БНТУ, 2022. – С. 417–419.

УДК 681.525

ВЫСОКОСКОРОСТНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ УГЛОВЫМ ПОЛОЖЕНИЕМ ЛАЗЕРНЫХ ПУЧКОВ

Бушук С. Б., Назаренко П. Н., Пекаревич В. В., Тавтын Р. А.

ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника», Минск, Беларусь

Аннотация. Разработана схема и проведено экспериментальное моделирование автоматической высокоскоростной прецизионной системы автокоррекции оси лазерного пучка, фокусируемого на поверхность объекта, который хаотически движется вдоль определенной траектории. Управление угловым положением оси лазерного пучка осуществляется быстрым рулевым зеркалом (FSM зеркалом) по командам двухкоординатного позиционно-чувствительного детектора (PSD). PSD преобразовывает линейные координаты центра тяжести изображения цели на поверхности фотоприемной площадки в сигналы управления, которые подаются на вход контроллера пьезоэлектрического привода FSM зеркала. Контроллер обеспечивает высокоскоростное управление как напряжением, так и зарядом на пьезоэлектрическом приводе. Показано, что данная система управления обладает преимуществами систем автоматического управления как открытого, так и закрытого типа: малым временем отклика и низкой погрешностью управления угловым положением луча.

Ключевые слова: угловые координаты, FSM, PSD, гистерезис, время отклика.

HIGH-SPEED AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR ANGULAR POSITION OF LASER BEAMS

Bushuk S. B., Nazarenko P. N., Pekarevich V. V., Tavtyn R. A.

State Scientific and Production Association "Optics, Optoelectronics and Laser Technology",
Minsk, Belarus

Abstract. A design was developed and experimental modeling was conducted for an automatic, high-speed, precision system for autocorrecting the axis of a laser beam focused on the surface of an object chaotically moving along a defined trajectory. The angular position of the laser beam axis is controlled by an FSM mirror based on commands from a two-coordinate position-sensitive detector (PSD). The PSD converts the linear coordinates of the target image's center of gravity on the surface of the photoreceiving pad into control signals, which are fed to the input of the FSM mirror's piezoelectric drive controller. The controller provides high-speed control of both the voltage and charge on the piezoelectric drive. This control system is shown to possess the advantages of both open-loop and closed-loop automatic control systems: a fast response time and low beam angular position control error.

Keywords: angular coordinates, FSM, PSD, hysteresis, response.

Адрес для переписки: Назаренко П. Н., пр. Независимости, 68-1, г. Минск, 220072, Республика Беларусь
e-mail: nprn05@mail.ru

Целью настоящей работы являлось исследование возможностей создания системы автоматической коррекции положения лазерного пучка на поверхности мобильного объекта, обеспечивающей минимизацию временного отклика и гистерезиса привода FSM зеркала.

Система точного позиционирования лазерного излучения на объекте (Система) представляет собой систему автоматического управления лазерным лучом с открытым контуром и автоматической коррекцией гистерезиса пьезоэлектрического привода.

Функциональная структурная схема Системы приведена на рисунке 1. В состав Системы входят: приемный канал и угловой корректор оси пучка излучения лазера 9. Телескоп 8 формирует пятно лазерного излучения заданного размера на цели 1.



1 – цель; 2 – приемный объектив; 3 – модуль PSD приемника; 4 – корректирующий усилитель; 5 – гибридный усилитель; 6 – привод FSM зеркала; 7 – зеркало; 8 – телескоп Мерсена; 9 – лазер

Рисунок 1 – Функциональная структурная схема