

меньшей величиной ΔS при удалении от центра кадра, а во-вторых возможностью подачи излучения на грань под меньшим углом α , но недостатком таких систем является большой габаритный размер элемента сканирования [2].

Литература

1. Marshall, G.F. Handbook of Optical and Laser Scanning, Second Edition / G.F. Marshall, G.E. Stutz. – Marcel Dekker publishing, 2004. – 291 p.

2. Расчет параметров призмного дефлектора лазерного сканера / И.Е. Гусаров [и др.] // Приборы и методы измерений. – 2023. – Т. 14, № 1. – С. 54–61.

3. Выбор сканера для лазерной локационной системы / С.И. Артамонов [и др.] // Оптический журнал. – 2016. – Т. 83, № 9. – С. 51–59.

4. Li, Y. Laser beam scanning by rotary mirrors. II. Conic-section scan patterns / Y. Li // Applied optics. – 1995. – Vol. 34, № 28. – P. 6417–6430.

5. Non-back-reflecting polygon scanner with applications in surface cleaning / H.-M. Hoang [et al.] // Opt. Express. – 2021. – Vol. 29. – P. 32939–32950.

УДК 681.7

ОПЫТНЫЙ ОБРАЗЕЦ ВЫСОТНОГО КАЛИБРОВОЧНОГО ПУНКТА ДЛЯ КАЛИБРОВКИ СПУТНИКОВЫХ СЕНСОРОВ И ВАЛИДАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ

Ивуть П.В., Щербаков Н.Г., Гуторов А.В., Ломако А.А., Голубев Ю.В., Беляев Б.И., Сосенко В.А., Литвинович Г.С., Хомицевич А.Д.

НИУ «Институт прикладных физических проблем имени А.Н.Севченко» БГУ
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В данной работе представлен комплекс аппаратуры, являющийся средством мониторинга состояния подстилающих поверхностей в наземных условиях, позволяющий осуществлять регистрацию спектральных отражательных характеристик объектов в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне с высокой частотой, а также с высоким пространственным и спектральным разрешением.

Ключевые слова: гиперспектральная система, датчик состояния небесной полусферы, датчик спектральной освещенности, аппаратура для спектрофотометрирования.

PROTOTYPE MODEL HIGH-ALTITUDE SYSTEM FOR CALIBRATION SATELLITE SENSORS AND VALIDATION MEASUREMENTS

Ivuts P., Shcherbakou M., Gutorov A., Lomako A., Golubev Yu., Belyaev B., Sosenko V., Litvinovich G., Khomitsevich A.

A.N. Sevchenko Scientific-Research Institute of Applied Physics Problems of BSU
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. A set of equipment is designed for remote acquisition of spectral and images of the Earth's surface in visible and near infrared range is presented. It allows capturing spectral reflectance characteristics in high frequency, spatial and spectral resolution.

Key words: hyperspectral imaging system, celestial measurement system, spectral light sensor, spectrometry system.

Адрес для переписки: Ивуть П.В., ул. Курчатова, 7, г. Минск, 220045, Республика Беларусь
e-mail: ivut.pasha@yandex.ru

Гиперспектральные системы (ГСС) достаточно широко используются при дистанционном зондировании Земли с различных носителей, а также при наземных и полетных калибровках авиакосмических систем. Разработанная аппаратура ГСС имеет свои новые элементы формирования гиперспектральных изображений в диапазоне 400–900 нм.

Изделие предназначено для решения задач полетной калибровки спутниковых сенсоров и валидации спутниковых измерений, создания спектральных баз данных коэффициентов отражения природных и искусственных объектов, которые используются для диагностики и мониторинга состояния объектов на поверхности Земли.

Блок спектральной съемки, производящий регулярные измерения спектров отражения одних и тех же природных и искусственных эталонных площадок, обеспечивает получение данных для калибровки спутниковых сенсоров и валидации космического мониторинга территорий Беларуси с частотой не ниже 1 раза в сутки.

В состав блока спектральной съемки (рисунок 1) входят следующие модули: гиперспектральная система (ГСС); широкодиапазонный спектрорадиометр (ШСР); видеокамера наведения (ВН); система наведения и сканирования по азимуту и углу вертикальной плоскости (СНС); контроллер управления; датчик метеопараметров; датчик состояния небесной полусферы; датчик спектральной освещенности.

ГСС обеспечивает получение спектральной плотности энергетической яркости объектов в диапазоне 400–900 нм и состоит из входного объектива, полихроматора, приемной матрицы. Размер и количество чувствительных элементов приемной ПЗС матрицы в направлении дисперсии полихроматора определяют ширину, число и локализацию спектральных рабочих интервалов. В качестве матрицы используется детектор QHY268M Pro I [1]. Число и размер пикселей матрицы в перпендикулярном направлении определяет размер полосы спектрального разрешения и

в противоположном направлении пространственное разрешение. Число приемных элементов матрицы 6280×4210 , с размером элемента $3,76 \times 3,76$ мкм. При этом программно можно настроить параметры биннинга, усиления и активной используемой области детектора.



Рисунок 1 – Внешний вид и состав ГСС:

- 1 – датчик состояния небесной полусферы;
2 – датчик спектральной освещенности; 3 – ВН;
4 – ШСР; 5 – ГСС; 6 – СНС.

Широкодиапазонный спектро радиометр (ШСР), обеспечивает получение и регистрацию спектров отражения природных и антропогенных объектов в диапазоне $900\text{--}2500$ нм и состоит из входного объектива, полихроматора, линейчатого приемника излучения Hamamatsu InGaAS G9208-256W с числом приемных элементов 256, размером элемента 50×250 мкм, со скоростью съемки 5 кадров в секунду.

Цифровая цветная видеокамера наведения работает по IP-протоколу и предназначена для привязки гиперспектральных данных к тестовым объектам съемки, а также для визуальной оценки состояния области измерений.

СНС обеспечивает поворот оптических осей ГСС, ШСР и ВН в плоскостях:

- в горизонтальной плоскости (по азимуту) до 170° ;
- в вертикальной плоскости на угол $\pm 17^\circ$.

Скорость сканирования и точность наведения СНС по азимуту и углу вертикальной плоскости соответствуют пространственно-временным характеристикам ГСС и ШСР.

Датчик спектральной освещенности – это малогабаритный спектро радиометр MC 15. Оптическая схема спектрометра основана на вогнутой дифракционной решетке по схеме Роуленда с дополнительным плоским зеркалом для уменьшения габаритов. Зеркальная дифракционная решетка имеет диаметр 22 мм, 520 штр./мм и радиус кривизны 60 мм, что обеспечивает минимальные габариты. Рассчитанный спектральный диапазон работы прибора составляет $400\text{--}900$ нм.

В качестве датчика состояния небесной полусферы используется IP камера видеонаблюдения с объективом «рыбий глаз».

Для управления и контроля ГСС разработан программный комплекс (ПК), состоящий из ряда взаимосвязанных компонентов: модуля управления спектро радиометрами; модуля управления метеоблоком; модуля управления СНС по азимуту и углу вертикальной плоскости; модуля управления и сбора данных ВН; модуля контроля текущего состояния системы. Особенностью компонентов, отвечающих за взаимодействие с метеоблоком и СНС, является использование специального протокола связи управляющего компьютера с микроконтроллером через COM-порт, разработанного в ходе данной работы.

Для получения необходимых выходных данных всего программного комплекса существует итеративный алгоритм выполнения съемки. В результате выполнения одной итерации регистрируется один спектр отражения ШСР, одна строка итогового гиперспектрального изображения, одно изображение ВН. Данные связываются по временным меткам в именах файлов. Все данные, регистрируемые различными модулями ПК, можно представить в привязке к данным ВН.

Данные ГСС сшиваются в единое гиперспектральное изображение и могут быть обработаны как объединенный гиперкуб данных в дополнительном программном компоненте обработки, который позволяет осуществлять фильтрацию данных по пространственным и спектральным составляющим, а также синтезировать мультиспектральные изображения с учетом функций спектрального отклика в каналах спутниковых систем, которые нуждаются в калибровке.

Программный комплекс реализован на языке программирования C++ с использованием фреймворка Qt. В целях оптимизации работы программы были использованы возможности языка программирования и фреймворка – разделение процессов регистрации и сохранения данных различными сенсорами на связанные с использованием слот-сигнальной системы потоки. За счет этого удается ускорить процесс получения данных.

Заключение. Первые тестовые включения аппаратуры показывают, что разработанный блок спектральной съемки, производящий в автоматическом режиме регулярные измерения спектров отражения, с высокой частотой позволяет производить квазисинхронные измерения со спутником, что повышает точность калибровки. Это может существенно увеличить уровень валидности данных, регистрируемых спутниковыми системами (в том числе Канопус-В).

Литература

1. Официальный сайт QHYCCD. QHY268M Pro I [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.qhyccd.com/scientific-camera-qhy268m-pro>.