
ОПТИЧЕСКИЕ И ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 681.782.49
DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-11-869-873

МАЛОГАБАРИТНЫЙ ГИПЕРСПЕКТРОМЕТР ВИДИМОГО И БЛИЖНЕГО ИНФРАКРАСНОГО ДИАПАЗОНОВ

А. Д. ГОЛОВИН, А. В. ДЕМИН

*Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: golovin@corp.ifmo.ru*

Приводится описание построенной с использованием схемы Оффнера гиперспектральной аппаратуры дистанционного зондирования поверхности Земли для видимой и ближней ИК-областей спектра. Представлен двухканальный гиперспектрометр, имеющий малые габариты и обладающий высоким пространственным и спектральным разрешением.

Ключевые слова: *схема Оффнера, гиперспектрометр, дистанционное зондирование Земли, гиперспектральная система изображения, выпуклая дифракционная решетка.*

Для решения различных народно-хозяйственных, оборонных и научных задач широко применяются оптико-цифровые системы (ОЦС). При мониторинге окружающей среды требования к ОЦС по спектральному и линейному разрешению существенно возрастают. Одним из путей повышения эффективности и производительности оптико-цифровых систем является применение гиперспектральных технологий [1].

Гиперспектральные технологии изначально разрабатывались для решения астрофизических задач. С последующим развитием этих технологий существенно расширилась и область их применения, в частности при создании систем дистанционного мониторинга поверхности Земли. Только гиперспектральные технологии позволяют выявить малые спектральные различия между отдельными элементами исследуемых объектов и служат инструментом для решения ряда важнейших задач, недоступных предыдущим системам мониторинга [2].

Сбор гиперспектральных данных базируется на четырехмерной задаче, состоящей из временного, двух пространственных и одного спектрального компонента. Для формирования „куба данных“ гиперспектрометра (или гиперкуба) требуется спектральное сканирование в пространственном измерении, осуществляемое посредством движения платформы вдоль направления ее хода. На рис. 1 представлена структурная схема формирования гиперспектрального куба, где M_i , N_i — пространственные компоненты, $\lambda_1 \dots \lambda_2$ — спектральный диапазон. Излучение, пропущенное через входную щель, отражается, проходит через диспергирующий элемент и далее направляется на фотоприемную матрицу. Таким образом, на двумерном фотоприемнике формируется пространственно-спектральное изображение [3].

В настоящей статье рассматривается вариант построения гиперспектрометра по схеме Оффнера, которая в своей базовой конфигурации позволяет исправлять aberrации 3-го порядка и работать с высокой светосилой.

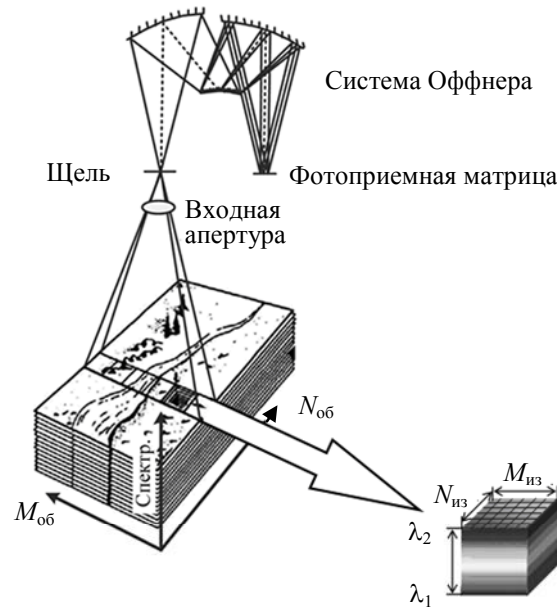


Рис. 1

В основу представленной на рис. 2 принципиальной схемы гиперспектрометра положена телецентрическая зеркальная система, позволяющая получать изображение вне оптической оси объекта [4—6]. В подобных схемах часто возникает эффект наложения дифракционной картины различных порядков друг на друга, т.е. наложение спектров, соответствующих этим порядкам. На спектр в области 1-го порядка, которому соответствует длина волны (узкий участок спектра) λ_1 , могут накладываться спектры более высоких i -х дифракционных порядков с длинами волн λ_1/i , где i — целое число.

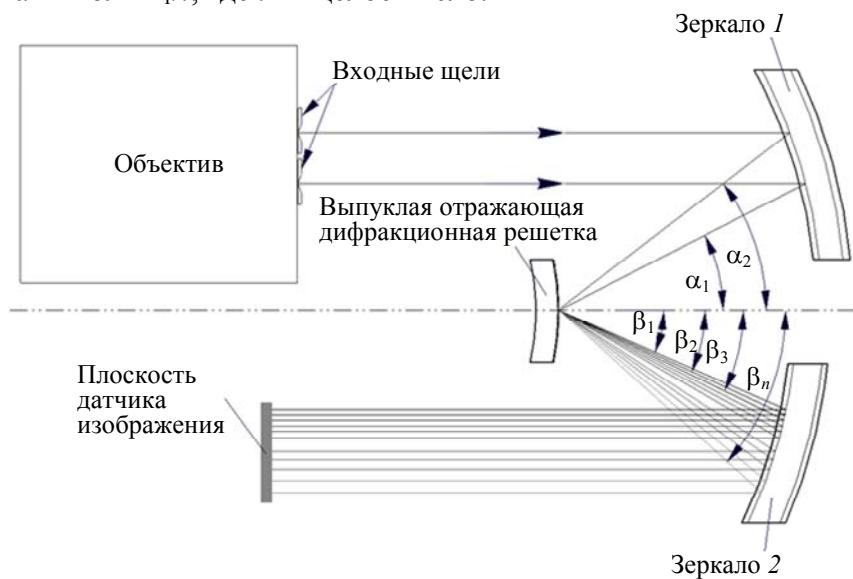


Рис. 2

В спектрометре нового поколения целесообразно использовать профилированную решетку, так как она обладает свойством высокой концентрации энергии до (90 %) в спектре определенного порядка, что позволяет избежать наложения спектров других порядков [7—10].

Прогресс в технологии электронно-лучевой литографии позволяет изготавливать выпуклые решетки высокой эффективности, что делает возможным создание многоканального гиперспектрометра на основе схемы Оффнера (см. рис. 2). Гиперспектрометр содержит две (или более) входные щели, по одной для каждого входного канала, которые пропускают свет соответственно в спектрометр. Свет отражается вогнутым зеркалом 1 на выпуклую решетку, рассеивающую пучок на два соответствующих спектра. Отражаясь от вогнутого зеркала 2,

спектры проецируются на датчик изображения. Входные щели смещены по оси z относительно друг друга, в результате чего расположение спектров в плоскости датчика изображения будет раздельным по отношению друг к другу. Входные щели также смещены вертикально по оси y относительно друг друга. Это смещение приводит к тому, что излучение двух входных каналов падает на выпуклую дифракционную решетку под различными углами α_1 и α_2 , что в соответствии с формулой дифракционной решетки

$$\sin \alpha + \sin \beta = k\lambda m, \tag{1}$$

где β — угол дифракции; k — максимальный порядок спектра; m — число канавок решетки на единицу длины [11, 12], приводит к различным углам дифракции ($\beta_1, \beta_2, \beta_3 \dots \beta_n$) света для разных длин волн.

Основные исходные характеристики гиперспектрометра, реализованного по схеме Оффнера, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика	Спектральный диапазон, мкм	
	0,2—1,0	1,0—2,5
Фокусное расстояние объектива, мм	256	256
Диафрагменное число	3,2	3,2
Угловое поле, ...°	15	15
Материал приемной площадки	Si	Hg-Cd-Te
Размер пиксела, мкм	14×14	30×30
Число регистрируемых спектральных интервалов	280	175

Современные системы стабилизации изображения позволяют обеспечить требуемую стабилизацию изображения в процессе съемки. Оценим погрешность стабилизации рассматриваемого гиперспектрометра при внешних механических возмущениях. Результаты оценки приведены в табл. 2 [13].

Таблица 2

Расчетный параметр	Спектральный диапазон, мкм	
	0,2—1,0	1,0—2,5
Время формирования одного кадра, с	$4,17 \cdot 10^{-4}$	$9,76 \cdot 10^{-4}$
Спектральный интервал, мкм	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$8,6 \cdot 10^{-4}$
Допустимая величина смаза изображения, мкм	11,9	25,5
Погрешность стабилизации, ...°/с	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$5,7 \cdot 10^{-4}$

Общий вид представленной светосильной гиперспектральной системы приведен на рис. 3.

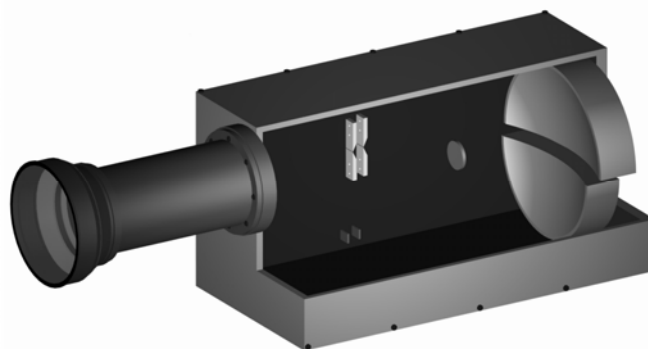


Рис. 3

Данная конструкция имеет малые габариты и сравнительно малый вес, отличается значительной корректировкой aberrаций и позволяет получать гиперспектральные снимки с высоким пространственным и спектральным разрешением. Однако при реализации системы существует необходимость в составлении оригинального алгоритма формирования „гиперкуба“ с учетом выявленной погрешности стабилизации для достоверной регистрации спектральных интервалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чандра А. М., Гош С. К. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. М.: Техносфера, 2008. 312 с.
2. Rees W. G. Physical Principles of Remote Sensing. Cambridge Academy Press (UK), 2014. 897 p.
3. Freek D., De Jong S. M. Imaging Spectrometry: Basic Principles and Prospective Applications. Springer Science & Business Media, 2007. 403 p.
4. Offner A. New concepts in projection mask aligners // Optical Engineering. 1975. N 14 (2).
5. Offner A. Annular field systems and the future of optical microlithography // Optical Engineering. 1987. N 26 (4). P. 294—299.
6. Chrisp M., Kwo D., Lawrence G. Design of a grating spectrometer from A 1:1 Offner mirror system // Proc. of SPIE, Current Developments in Optical Engineering II. 1987. P. 275—279.
7. Wolfe L. W. Introduction to imaging spectrometers // SPIE Press. 1997. 148 p.
8. Mouroulis P., Wilson D. W., Maker P., Muller R. Convex grating types for concentric imaging spectrometers // Applied Optics. 1998. Vol. 37, Iss. 31. P. 7200—7208.
9. Muller R. E., Maker D., Muller P., Jet R. Electron-beam fabrication of analog-relief diffractive optics on non-flat substrates at jet propulsion laboratory // Paper Propulsion Lab.: Proc. of the Conf., California Inst. of Techn. 2002.
10. Bo Yang, Chenglin Liu, Xuezhuan Ding, Xin Wang, Yinnian Liu. Blaze wavelength of convex blazed grating in an Offner spectrometer // SPIE Proc. 2012. Vol. 7655.
11. Пейсахсон И. В. Оптика спектральных приборов: Физика, оптика. Л.: Машиностроение, 1975. 312 с.
12. Головин, А. Д., Демин А. В. Имитационная модель многоканального гиперспектрометра Оффнера // Компьютерная оптика. 2015. Т. 39, № 4. С. 521—528.
13. Горбунов Г. Г., Демин А. В., Никифоров В. О., Савицкий А. М., Скворцов Ю. С., Сокольский М. Н., Трезуб В. П. Гиперспектральная аппаратура для дистанционного зондирования Земли // Оптич. журн. 2009. Т. 76, № 10. С. 75—82.

Сведения об авторах

- Арсений Дмитриевич Головин** — аспирант; Университет ИТМО; кафедра оптико-цифровых систем и технологий; E-mail: golovin@corp.ifmo.ru
- Анатолий Владимирович Демин** — д-р техн. наук, профессор; Университет ИТМО; кафедра оптико-цифровых систем и технологий; E-mail: dav_60@mail.ru

Рекомендована кафедрой
оптико-цифровых систем и технологий

Поступила в редакцию
31.08.15 г.

Ссылка для цитирования: Головин А. Д., Демин А. В. Малогабаритный гиперспектрометр видимого и ближнего инфракрасного диапазонов // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 11. С. 869—873.

**COMPACT HYPERSPECTROMETER
FOR VISIBLE AND SWIR WAVELENGTH RANGE**

A. D. Golovin, A. V. Demin

*ITMO University, 197101, St. Petersburg, Russia
E-mail: golovin@corp.ifmo.ru*

A hyperspectral apparatus for remote sounding of the Earth surface in the visible and SWIR range on the base of Offner configuration is designed. A description of the two-channel spectrometer is presented. The compact hyperspectrometer is reported to provide high spatial and spectral resolution.

Keywords: Offner spectrometer, hyperspectrometer, remote sounding of the Earth, hyperspectral imaging system, convex grating.

Data on authors

Arseny D. Golovin — Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Optical and Digital Systems and Technologies; E-mail: golovin@corp.ifmo.ru

Anatoly V. Demin — Dr. Sci., Professor; ITMO University, Department of Optical and Digital Systems and Technologies; E-mail: dav_60@mail.ru

For citation: *Golovin A. D., Demin A. V.* Compact hyperspectrometer for visible and SWIR wavelength range // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Priborostroenie*. 2015. Vol. 58, N 11. P. 869—873 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-11-869-873