

Анализ системы уравнений производных спектров суммарного сигнала и графиков зависимостей частных производных позволит найти компоненты с одновременной максимальной чувствительностью к изменениям полезного сигнала и минимальной к нестабильности генерирующей аппаратуры.

Такой математический метод может быть применен на практике при испытаниях обмоток электродвигателей на витковые замыкания. С учетом того, что крутые фронты прямоугольных импульсов могут создать перенапряжения в обмотках и возможен пробой исправной изоляции, в дальнейшем, тестовые сигналы прямоугольной формы при испытаниях целесообразнее заменить на сигналы трапецидальной формы.

Рассматриваемый подход, основанный на спектральном анализе динамических свойств спектра суммы двух периодических последовательностей трапецидальных импульсов позволит повысить точность измерения временных интервалов между последовательностями импульсов путем определения погрешностей, обусловленных нестабильностью генерирования, и их ослабления.

Литература

1. Харкевич, А.А. Спектры и анализ / А.А. Харкевич. – М.: Физматлит, 1962. 236 с.
2. Глинченко, А.С. Исследование случайных погрешностей спектрально-веса измерения параметров сигналов / А.С. Глинченко, В.А. Комаров, О.А. Тронин // Цифровая обработка сигналов. – 2012. – № 1. – С. 7–11.

УДК 53.082.5

МАЛОГАБАРИТНЫЙ СПЕКТРОМЕТР ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЛИНЕЙКИ ДИСКРЕТНЫХ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ ФИЛЬТРОВ

Иванов В.И., Иванов Н.И.

*НИИ ядерных проблем БГУ
Минск, Республика Беларусь*

Получение цифровых изображений в различных областях спектра с высоким спектральным (гиперспектральным) разрешением имеет важное значение для решения широкого класса задач в лесном и сельском хозяйстве, аэрофотогеодезии, геологических изысканиях, мониторинге природной среды и оценке биологических рисков, энергетике, биомедицине [1]. Оперативность получения таких данных во многих случаях связана с необходимостью получения гиперспектральных изображений в полевых условиях, включая возможность осуществления воздушной разведки и мониторинга местности с небольших беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) – гексакоптеров, квадрокоптеров, БПЛА самолетного типа.

Большинство современных гиперспектрометров основано на применении дисперсионных элементов, таких как дифракционные решетки с необходимостью сканирования изображений целевой диафрагмой [2]. Широкий спектральный диапазон и высокое разрешение спектрометров данного типа делают их незаменимым инструментом в задачах космических исследований Земли [1], в высокоточных лабораторных исследованиях. Вместе с тем достаточно большие весо-габаритные характеристики, сложность юстировки и калибровки существенно затрудняют их применение для решения множества прикладных задач в полевых условиях, требующих более компактных приборов.

К классу таких компактных приборов можно отнести современные мультиспектральные цифровые камеры, которые представляют собой

комбинацию нескольких цифровых камер в одном корпусе с индивидуальными объективами и ПЗС-матрицами. Каждая из камер работает в своей спектральной полосе. Число спектральных каналов мультиспектральной камеры, как правило, не превышает 6. Например, камера Parrot Seguoia [3] работает на 4-х длинах волн: 550 нм, 660 нм, 735 нм, 790 нм с полосами пропускания 40 нм, 40 нм, 10 нм, 40 нм, соответственно; MAPIR Kernel 4 Camera Array – 4 канала, MAPIR Kernel 6 Camera Array – 6 каналов.

Недостаточное количество спектральных каналов и широкая полоса пропускания таких камер препятствуют их применению для гиперспектрального анализа изображений. Например, согласно [1], для гиперспектрального анализа изображений такие спектрометры должны иметь не менее 20 спектральных каналов с полосой пропускания не более 10–15 нм.

Перспективным направлением обеспечения компактности спектрометров изображений (изображающих спектрометров) с гиперспектральным разрешением является разработка спектрометров на основе линеек интерференционных перестраиваемых дискретных фильтров (Linear Variable Filters (LVF)) [4–7].

В настоящее время выпускается широкая номенклатура LVF с различными размерами, спектральным диапазоном и разрешением (производители Edmund Optics, Ocean Optics, Изовак Технологии и др.). Полоса пропускания таких LVF линейно изменяется в широком спектральном диапазоне с заданной дискретностью по одной из координат x или y , преимущественно по x – ко-

ординате (по длине линейки). В наших разработках такие LVF были впервые применены нами в компьютерных анализаторах изображений для биомедицинских исследований [8].

Разработанный спектрометр выполнен на базе LVF фирмы Edmund Optics (2018 год выпуска). Параметры фильтра: длина линейки фильтра $x = 60$ мм; ширина $y = 18$ мм; число дискретных фильтров в линейке $n = 60$, спектральный диапазон перестройки $\lambda = 300\text{--}700$ нм; геометрический шаг дискретной перестройки $\Delta x = 1$ мм; шаг спектральной перестройки $\Delta \lambda = 5$ нм.

На рисунке 1 приведен внешний вид LVF.



Рисунок 1 – Внешний вид фильтра спектрометра

Внешний вид спектрометра со снятым светонепроницаемым кожухом и отсоединенной ПЗС-камерой приведен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Внешний вид спектрометра

В спектрометре линейка LVF конструктивно соединена с зубчатой рейкой моторизованного привода сканирования фильтра, которое программно осуществляется через замедляющий редуктор от шагового двигателя.

Спектрометр включает следующие базовые узлы: приемную оптику (объектив), LVF, управляемый моторизованным приводом и осуществляющей перемещение фильтра с различной скоростью в продольном направлении (по координате), как в прямом, так и обратном направлениях, ПЗС-камеру.

Сканирование неподвижного изображения в предметной плоскости осуществляется путем последовательного дискретного смещения LVF по оси x для каждого кадра съемки на один шаг, равный геометрическому шагу дискретной перестройки $\Delta x = 1$ мм.

При относительно высокой скорости перемещения изображения в предметной плоскости, например, при съемке земной поверхности с БПЛА самолетного типа, требуется очень «быст-

рое сканирование, которое в большинстве случаев невозможно реализовать механическим способом. Кроме того сканер увеличивает вес спектрометра.

Реализация режима самосканирования за счет скорости полета БПЛА на местности связана достаточно жесткой зависимостью необходимой частоты кадров f_k ПЗС-камеры с путевой скоростью V и высотой полета h БПЛА.

Как и в предыдущем случае для каждого смещения изображения в плоскости изображения спектрометра на величину Δx регистрируется один кадр информации. Продольная ось x LVF должна совпадать с вектором скорости БПЛА. Для горизонтального полета линейный размер «полосы» местности ΔS в направлении полета, которая проецируется на один дискретный фильтр LVF шириной Δx , определяется соотношением:

$$\Delta S = \Delta x \beta, \quad (1)$$

где β – коэффициент увеличения оптической системы (ОС) спектрометра.

$$\beta \cong h/d, \quad (2)$$

где h – расстояние от предметной плоскости до ОС (линзы) спектрометра (высота полета БПЛА); d – расстояние от линзы до плоскости изображения в которой установлена ПЗС-матрица; $h \gg d$.

Требуемая частота кадров определяется соотношением:

$$f_k = V/\Delta S. \quad (3)$$

С учетом (1) и (2) соотношение (3) имеет вид:

$$f_k = \frac{dV}{\Delta x h}. \quad (4)$$

При проецировании изображения местности одновременно на все $n = 60$ фильтров линейки, за $(2n - 1)$ шаг, т. е. за 119 кадров каждая «полоса» ΔS исходного изображения последовательно проходит через все 60 дискретных фильтров LVF.

В результате последующей поккадровой выборки полученных цифровых изображений и «склейки» полос изображений одного «цвета» получаем 60 спектрально отфильтрованных изображений на длинах волн $\lambda_1, \dots, \lambda_{60}$, соответственно.

Результаты тестирования спектрометра на калиброванных источниках оптического излучения показали, что спектральное разрешение прибора не хуже $\Delta \lambda_i = 10$ нмв диапазоне 300–700 нм.

Применение LVF позволило создать малогабаритный гиперспектрометр изображений с достаточно простой оптической схемой, не требующей сложной юстировки и калибровки. Прибор пригоден для работы в полевых условиях, в том числе и с мобильных платформ различного типа.

Литература

1. Аншу Миглани. Гиперспектральные космические снимки: Обзор. [Электронный ресурс]. https://studylib.ru/doc/689478/giperspectral_nue_kosmicheskie_snimki—obzor Датаобращен.: 03.08.2020.
2. Гулис И.М., Купреев А.Г. Спектральная фильтрация изображений посредством дисперсных систем // Приборы и методы измерений. 2016. – Т. 7. – № 3. – С. 262–270.
3. Мультиспектральная камера Parot Seguoia [Электронный ресурс]. <https://bespilotnic.org/catalog/payload/multi-cam/969/> (Датаобращен.: 03.10.2020).
4. Henrik Fabricius, Oliver Pust. Linear Variable Filters for Biomedical and Hiperspectral Imaging Applications // Conferece Paper, January 2014. DOI: 10.1364/BIOMED.2014.BS3A.42
5. K. Ajaay Kumar, Nitesh Thapa, Sajiorosti A. Kuria-kose. Advances in spacebornehyperspectral imaging systems // Current Science, 2015, vol. 108, no. 5. – P. 826–832.
6. Jayapala M., Lambrechts A., Tack N., Geelen B., Masschelein B. Monolithic integration of flexible spectral filters with CMOS image sensors at wafer level for low cost hyperspectral imaging. [Electronical Resource]. <http://www.imagesensors.org/Past%20Workscops/20et%20Workshop/2013%20Papers/07-02053jayapala.pdf>-2015.
7. Казанский Н.Л., Харитонов С.И., Хонина С.Н., Волоотовский С.Г., Стрелков Ю.С. Моделирование гиперспектрометра на спектральных фильтрах с линейно-изменяющимися параметрами // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38, № 2. – С. 256–270.
8. Иванов В.И., Иванов Н.И., Лазарчик А.Н. Компьютерные программно – аппаратные комплексы для автоматизированной обработки изображений в различных областях спектра с высоким пространственным разрешением // Материалы X МНТК «Приборостроение – 2017». – Мн.: БНТУ, 2017. – С. 105–107.

УДК 67.05

МОДЕРНИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ КООРДИНАТНО-ШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА

Матвеев В.Ю., Черняк А.С., Исаев А.В.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Постановка задачи

В 80–90 годы XX века была произведена масштабная модернизация производства современным на тот момент оборудованием. На сегодняшний момент электронная часть этого оборудования устарела и выходит из строя, однако электромеханическая часть исправна и имеет достаточный ресурс работы.

Также следует отметить, что по нормативной документации срок службы электронных элементов ограничен. Кроме того, большую роль в точности выполняемых операций при ручном управлении оборудованием играет человеческий фактор, что обуславливает острую потребность в высококвалифицированных специалистах, профессиональные навыки и опыт которых позволяет им выполнять операции с высокой точностью в ручном режиме управления.

Таким образом, в настоящее время возникает потребность в переснащении оборудования на основе современной элементной базы и введение дополнительных режимов работы, в том числе автоматического.

Современное развитие цифровой электротехники позволяет разработать информационно-измерительную систему автоматического управления с минимальным внесением изменений в конструкцию оборудования, но при этом обеспечивающую большую точность и надежность его эксплуатационных характеристик.

Цель и задачи разработки

Целью данной разработки являлась модернизация системы управления приводом каретки

координатно-шлифовального станка серии 395 м, выпускаемый Ленинградским (Санкт-Петербургским) заводом прецизионного станкостроения с 1984 года.

Движущаяся часть данного станка (шлифовальный круг) перемещается с помощью двух двигателей постоянного тока, каждый из которых отвечает за движение каретки вдоль одной из осей (U, W) и которые управляются посредством широтно-импульсной модуляции (ШИМ), что и послужило основой для реализации системы автоматического управления.

Первоначальная система управления представляла собой массивный блок управления приводом для каждой из осей, а также компьютер, который отображал информацию о перемещении каретки.

При разработке устройства были решены следующие задачи:

– предусмотрена возможность переключения между автоматическим и ручным режимами управления;

– предусмотрена остановка двигателя при заедании червячного вала;

– значительно уменьшены габариты и количество электронных компонентов системы управления;

– точность измерений использовании данной системы составляет 1 мкм;

– в автоматическом режиме точность регулировки управления достигает 10 мкм.

Описание устройства

Структурная схема разрабатываемой системы представлена на рисунке 1.