

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВОЙ ФОТОКАМЕРЫ CANON 1000D ДЛЯ МУЛЬТИЗОНАЛЬНОЙ СЪЕМКИ В СПЕКТРАЛЬНОЙ АППАРАТУРЕ С ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

Каплевский К.Н.¹, Самцов М.П.², Гулис И.М.¹, Тарасов Д.С.¹

¹ Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь

² НИИ прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко Белорусского государственного университета, г. Минск, Республика Беларусь

Показана возможность применения цифровой фотокамеры CANON 1000D для мультизональной съемки. Установлено, что динамический диапазон значений регистрируемых интенсивностей сигнала составляет от 260 до 3650 уровней квантования АЦП. Исследована линейность сигнала светочувствительного элемента фотоаппарата в зависимости от его освещенности и времени экспозиции. (E-mail: kapleu@tut.by)

Ключевые слова: мультизональная съемка, спектроскопия с пространственным разрешением.

Введение

В настоящее время в прикладной спектроскопии интенсивно развиваются новые методы, позволяющие получать и анализировать спектроскопическую информацию об объекте с разрешением по пространственным координатам. Такие методы спектроскопии с пространственным разрешением (СПР), обеспечивающие получение оптического спектра для множества малых фрагментов исследуемой области, получили название «мультиобъектных», а в случае если регистрируется полная пространственно-спектральная картина – «гиперспектральных». Мультиобъектная спектроскопия и гиперспектрометрия находят все более широкое применение в медицинской диагностике, дистанционном мониторинге земной поверхности, криминалистике, полиграфии, при экспертизе произведений искусства, в сельском и лесном хозяйстве, пищевой и фармацевтической промышленности, для спектроскопии одиночных квантовых объектов и астрономических исследований [1–5].

В зависимости от круга решаемых задач в СПР используются следующие подходы в аппаратной реализации.

Аппаратура, основанная на мультиспектральной (мультизональной) съемке, обеспечивающей регистрацию изображений объектов в относительно небольшом числе относительно

широких спектральных полос [5], которые обеспечиваются набором сменяемых полосовых светофильтров либо перестраиваемых фильтров (акустооптических, двулучепреломляющих, клиновых интерференционных и др.). Недостатки такой аппаратуры обусловлены обычно небольшим спектральным разрешением (десятки нанометров), низким контрастом вследствие широкополосного фонового пропускания и, соответственно, сниженной информативностью.

Гиперспектрометры позволяют получить для каждой точки двумерного изображения объекта оптический спектр (гиперспектральное изображение), характеризующийся спектральным разрешением порядка единиц, а иногда и долей нанометров [6, 7], т.е. существенно более высоким, чем обычно в мультиспектральной съемке. Наиболее часто гиперспектральное изображение формируется путем сканирования изображения объекта в плоскости входной щели дисперсионного спектрометра. Этот подход широко применяется в системах мониторинга земной поверхности приборами с аэрокосмическим базированием, где сканирование осуществляется за счет движения несущего аппарата. Имеются единичные разработки, где такой подход используется в приборах для микроскопических исследований в гистологии и цитологии. К недостаткам гиперспектрального метода следует отнести связанность пространственного и спек-

трального разрешений, необходимость оперировать большими трехмерными массивами, значительное время (порядка нескольких минут), необходимое для получения гиперспектрального изображения. Использование сканирующего конфокального микроскопа, сопряженного с дисперсионным спектрометром, также позволяет получить гиперспектральное изображение. Достоинством такого подхода является возможность получения пространственного разрешения по глубине образца, однако время регистрации может оказаться большим при работе с большими участками объекта.

Во множестве практических применений приходится иметь дело с документами, произведениями изобразительного искусства, образцами тканей, широко используемыми в криминалистике липкими пленками, биологическими культурами в чашках Петри и др. Как правило, распределение полезной информации на этих объектах является неоднородным: высокоинформативными оказываются некоторые малые участки, площадь которых существенно (часто на порядки) меньше площади всего объекта. Регистрация гиперспектрального изображения объекта целиком весьма нерациональна, поскольку сопряжена с получением огромных массивов данных, подавляющая часть которых заведомо малоинформативная. В то же время общий обзор объекта является необходимым условием выбора по определенным спектроскопическим критериям информационно-значимых участков для последующего более детального анализа с использованием микроспектрометрии.

В настоящее время авторами статьи проводится разработка видеомикроспектрометрического комплекса, предназначенного для анализа спектральных характеристик пространственно сложных объектов. Разрабатываемая аппаратура исключает вышеперечисленные недостатки в существующих аппаратурных реализациях СПР и в то же время обладает всеми их возможностями. В частности, для проведения предварительного анализа спектральных характеристик исследуемого объекта с помощью мультizonальной съемки с целью обнаружения информационно-значимых участков предполагается использование цифровой фотокамеры Canon 1000D с набором светофильтров. Специфика такого применения требует от фотокамеры широкого динамического диапазона значений регистрируемых интенсивностей света (не менее 1000:1), а также линейной зависимости этих зна-

чений от светового потока, падающего на поверхность светочувствительного элемента.

В настоящей работе приведены результаты по установлению фотометрических характеристик такой камеры, а именно, изучение линейности сигнала светочувствительной матрицы от времен регистрации и интенсивности регистрируемого излучения.

Результаты

Фотокамера Canon 1000D представляет собой цифровую однообъективную зеркальную камеру с автофокусировкой, автоэкспозицией, встроенной вспышкой и однокристалльным КМОП датчиком изображения размером $22,2 \times 14,8$ мм с 10,5 млн пикселей. Выбор именно этой камеры обусловлен доступностью на рынке, возможностью программного управления ею с помощью персонального компьютера, входящего в состав разрабатываемого комплекса, а также относительно небольшой стоимостью по сравнению со своими аналогами от других производителей. Кроме этого, свойства КМОП датчика исключают растекание зарядов из пересвеченных пикселей в соседние (эффект бляминга).

Как и большинство современных цифровых фотокамер Canon 1000D предоставляет возможность получения информации с каждого светочувствительного пикселя в необработанной форме (*RAW*), в том числе и без коррекции спектральной чувствительности фотоприемника: в виде двоичного 12-разрядного числа. Это обстоятельство позволяет использовать бытовые фотокамеры в научных целях для оценки интенсивностей света, попадающего на разные участки светочувствительного элемента. В этой связи нежелательным является то, что каждый светочувствительный пиксель накрыт светофильтром одного из трех основных цветов (красным, зеленым или синим) для получения цветного изображения, причем зеленых фильтров в два раза больше (фильтр Байера). В то же время наличие светофильтров обеспечивает мультizonальную съемку в трех спектральных диапазонах одновременно, и эту возможность можно использовать в разрабатываемой аппаратуре для грубой спектральной фильтрации изображения исследуемого объекта. По существу, при каждой съемке получается четыре изображения, информация о которых в цифровой форме сохраняется в файле формата *RAW*. Дешифровка файла может быть

проведена с помощью стандартного программного модуля `dstaw.exe` [8].

Для детального исследования возможностей применения выбранной фотокамеры разработано оригинальное программное обеспечение, позволяющее получать и проводить анализ четырех цифровых изображений, построенных из пикселей, расположенных под красными, синими и зелеными фильтрами. С целью уменьшения влияния шумовых факторов по отдельным пикселям, анализ регистрируемой интенсивности сигнала проводился путем нахождения интегральной интенсивности на одном и том же заданном фрагменте каждого из изображений и последующего определения интенсивности, регистрируемой в среднем одним пикселем на этом фрагменте. Для обеспечения одинаковых условий уменьшения шумовых факторов в разных спектральных диапазонах одно из «зеленых» изображений не учитывалось, т.е. количество пикселей, расположенных под красными, синими и зелеными фильтрами было одинаковым. В качестве объекта фотографирования выступал светодиод белого свечения с диаметром светящейся области порядка 1 мм в 5-миллиметровом корпусе. Спектр его излучения (рисунок 1) зарегистрирован с помощью спектрофлуориметра FLUOROLOG фирмы SPEX. Питание светодиода осуществлялось стабилизированным источником тока. Диаметр изображения светодиода, измеренный на 19" мониторе с разрешением 1280×1024 , составлял примерно 10 мм при отображении каждого отдельного пикселя светочувствительной матрицы фотоаппарата одним пикселем на мониторе, т.е. без масштабирования. Усреднение регистрируемой интенсивности сигнала проводилось по всей области изображения светодиода.

Получены зависимости регистрируемой интенсивности сигнала от освещенности, создаваемой объективом фотокамеры, и времени экспозиции. Освещенность регулировалась путем изменения диафрагменного числа k при постоянном времени экспозиции. Функциональная зависимость относительной освещенности от диафрагменного числа найдена исходя из известного выражения для освещенности [9], создаваемой объективом фотокамеры на любой светочувствительной поверхности, которая пропорциональна квадрату относительного отверстия объектива, т.е. $E \sim \left(\frac{D}{f}\right)^2$, где D – величина диафрагмы, f – фокусное расстояние объ-

ектива. Согласно определению, диафрагменное число $k = \frac{f}{D}$, откуда $\frac{E}{E_0} = \left(\frac{4}{k}\right)^2$, где E_0 – максимальная освещенность, создаваемая объективом фотокамеры при данных условиях и для минимального у этого объектива диафрагменного числа $k_0 = 4$. Время экспозиции задавалось значением из стандартной шкалы выдержек фотоаппарата в долях секунды.

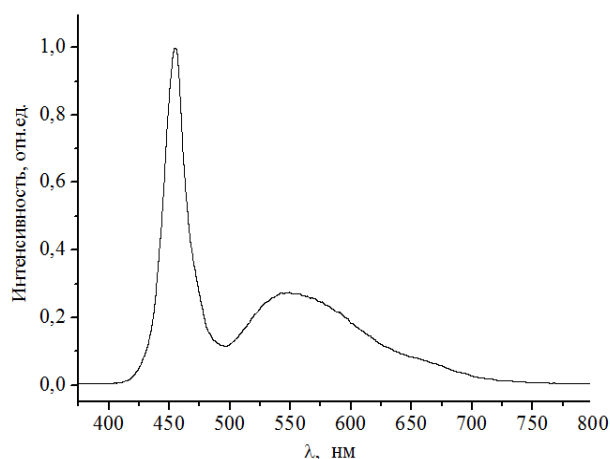


Рисунок 1 – Спектр излучения светодиода белого свечения

На рисунках 2 и 3 приведены зависимости регистрируемых интенсивностей сигнала от относительной освещенности светочувствительной матрицы и времени экспозиции для трех изображений светодиода в разных спектральных каналах, полученных одновременно при каждой фотосъемке. Можно предположить, что наибольшее значение интенсивности, регистрируемой в среднем одним пикселем для «зеленого» спектрального канала обусловлено максимальной чувствительностью матрицы фотоэлементов в данном спектральном диапазоне. Следующим по величине является сигнал, зарегистрированный в «синем» канале, что связано с максимумом излучения источника света в этой спектральной области (рисунок 1). Самый слабый сигнал был на «красном» изображении, вероятно из-за небольшой чувствительности матрицы и светоизлучающей способности источника. Заметное отклонение от линейной зависимости интенсивности регистрируемого света от относительной освещенности при максимальном ее значении во всех спектральных каналах (рисунок 2) можно объяснить неточной установкой диафрагменного числа по шкале объектива фотоаппарата. Подтверждением такой интерпретации является сохранение нелинейного характера

зависимости при изменении яркости регистрируемого источника света.

В результате исследований установлено, что любой пиксель светочувствительной матрицы фотоаппарата имеет диапазон значений регистрируемых интенсивностей сигнала от 260 до 3650 уровней квантования встроенного аналого-цифрового преобразователя (АЦП) (рисунок 3).

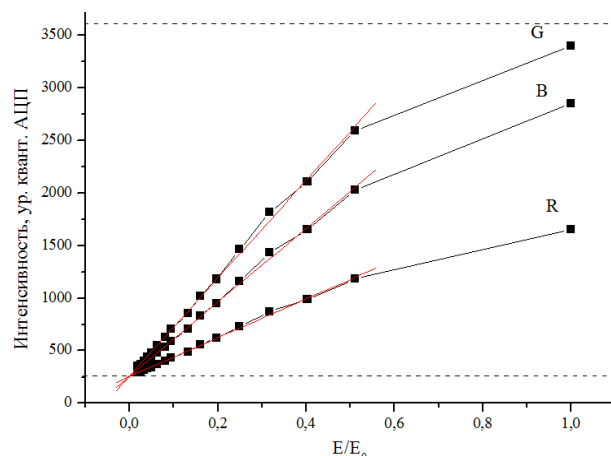


Рисунок 2 – Зависимость регистрируемых интенсивностей сигнала от относительной освещенности светочувствительной матрицы для трех спектральных каналов (R – красный; B – синий; G – зеленый)

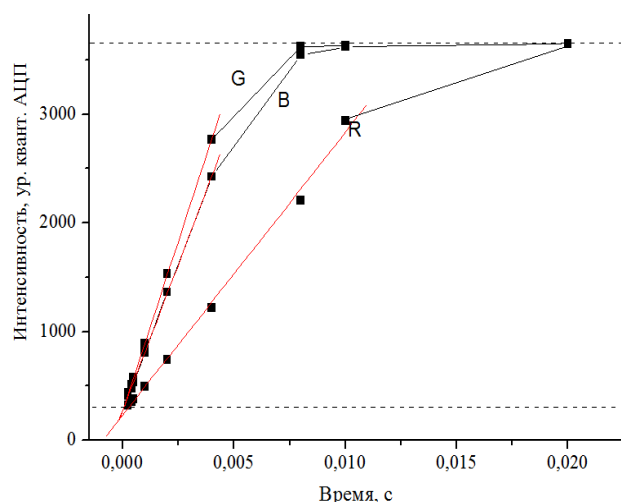


Рисунок 3 – Зависимость регистрируемых интенсивностей сигнала от времени экспозиции для трех спектральных каналов (R – красный; B – синий; G – зеленый)

Полученные результаты демонстрируют техническую возможность с помощью фотокамеры Canon 1000D проводить мультиспектральную съемку в трёх спектральных каналах, а также достаточно линейную зависимость цифрового сигнала в широком диапазоне (порядка 2500), что позволяет использовать эту камеру для ком-

плекса аппаратуры в качестве регистратора мультиспектральных изображений

Заключение

Фотокамера CANON 1000D пригодна для использования в спектральной аппаратуре с пространственным разрешением в качестве регистратора мультиспектральных изображений.

Реализована возможность проведения мультиспектральной съемки в трех спектральных диапазонах одновременно. Диапазон значений регистрируемых интенсивностей сигнала составляет от 260 до 3650 уровней квантования АЦП.

Установлен диапазон линейной зависимости регистрируемых интенсивностей от выше указанных параметров, который составляет от 260 до 2750 уровней квантования АЦП.

Список использованных источников

1. Swayze, G.A. Using imaging spectroscopy to map acidic mine waste / G.A. Swayze [et al.] // Environmental Science and Technology. – 2000. – V. 34. – P. 47–54.
2. Gomez, R. Hyperspectral imaging: a useful technology for transportaion analysis / R. Gomez // Opt. Eng. – 2002. – V. 41. – P. 2137–2143.
3. Borengasser, M. Hyperspectral remote sensing: principles and applications / M. Borengasser, W. Hungate, R. Watkins. – Boca Raton : CRC, 2007. – P. 63–110.
4. Govender, M. A review of hyperspectral remote sensing and its application in vegetation water resource studies / M. Govender, K. Chetty, H. Bulcock // Water S.A. – 2007. – V. 33. – P. 145–151.
5. Жиленев, М.Ю. Обзор применения мультиспектральных данных ДЗЗ и их комбинаций при цифровой обработке / М.Ю. Жиленев // Геомастика. – 2009. – Т. 4. № 3. – С. 56–64.
6. Воропай, Е.С. Дисперсионный гиперспектрометр с реконфигурируемой входной апертурой на основе микрозеркальной матрицы / Е. С. Воропай [и др.] // Вестник БГУ. – Серия 1. – 2009. – № 3. – С. 31–35.
7. Воропай, Е.С. Мультиобъектный спектрометр с микрозеркальной матрицей / Е.С. Воропай [и др.] // Журн. прикл. спектр. – 2010. – Т. 71, № 2. – С. 305–312.
8. Расшифровка сырых (RAW) цифровых фотографий // Персональная страница Д. Коффина [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.cybercom.net/~dcoffin/dcraw/index_ru.html. – Дата доступа: 27.12.12.
9. Борн, М. Основы оптики / М. Борн, Э. Вольф. – М. : Наука, 1973. – 720 с.

Kaplevskiy K.N., Samtsov M.P., Gulis I.M., Tarasov D.S.

Study of using CANON 1000D digital camera for multizone photography with spatially-resolved spectral devices

The possibility of use a CANON 1000D digital camera for multizone photography is demonstrated. It is found that a dynamic range of the recorded light intensities is varied from 260 to 3650 quantization levels of the ADC. Linearity of the light-sensitive element of the camera has been studied in dependence on its illumination and exposure time. (E-mail: kaplev@tut.by)

Keywords: multizone photography, spatially resolved spectroscopy.

Поступила в редакцию 28.12.2012.