

Новые возможности применения цифровых камер расширенного спектрального диапазона

А. В. Бондаренко¹, М. А. Бондаренко¹, В. А. Котцов²

¹ ООО «РАСТР ТЕХНОЛОДЖИ», Москва, www.rastr.net

² Институт Космических исследований (ИКИ РАН), Москва

В настоящее время всё более широкое применение находят телевизионные системы, формирующие изображения расширенного спектрального диапазона. К диапазонам такого рода относят спектр чувствительности фотоприёмных датчиков более широкий, чем у основных типов фотоприёмников. Наиболее известный пример, когда видимый диапазон (0,4 – 0,78 мкм) дополняется ближним инфракрасным (ИК) диапазоном (0,78 – 1,1 мкм). В работе рассматриваются эффективные варианты применения цифровых камер расширенного спектрального диапазона, разработанные в рамках единой технологической платформы RT-XDC, на примере новой ультрафиолетовой камеры RT-2400UV компании Растр Технолоджи, снимающей в диапазоне от 0,2 до 1,1 мкм. Видеосистемы рассматриваемого класса позволяют формировать мультиспектральные изображения с использованием одной фотоприёмной матрицы и штатного объектива с пропусканием в расширенном диапазоне.

Ключевые слова: цифровая камера расширенного спектрального диапазона, мультиспектральная видеосистема, спектроскопия, фотометрия, неразрушающий контроль.

Бондаренко Андрей Викторович – генеральный директор, эл. почта: rastermsk@gmail.com.

Бондаренко Максим Андреевич – к. т. н., н. с., эл. почта: max.bond@bk.ru.

Котцов Владимир Александрович – н. с., эл. почта: vladkott@mail.ru.

Введение

Выбор спектрального диапазона чувствительности имеет важное значение для видеоинформационных систем и в значительной степени определяет эффективность производимых наблюдений. Для повышения информативности результатов съёмки широкое распространение получило использование одновременного наблюдения в нескольких зонах спектра и получение изображений на основе их комбинации, например, [5]. Для построения таких систем используют твердотельные матричные фотоприёмники. Однако, применяемые для наблюдения в разных зонах спектра фотоприёмники имеют существенно разные физические характеристики, что приводит к необходимости решения задачи совмещения изображений, полученных из различного положения, ориентации, с

различающимися полями зрения и чувствительностью. Это снижает качество получаемой видеоинформации. Поэтому в настоящее время всё более широкое распространение находят цифровые камеры расширенного спектрального диапазона, которые могут во многих приложениях потеснить видеосистемы на двух разносектральных камерах смежных диапазонов, например, видимый плюс ближний ИК диапазон, за счёт очевидного понижения массы, габаритов, энергопотребления, стоимости, а также формирования мультисектрального изображения без совмещения его составляющих, что позволяет реализовать всю обработку сигналов непосредственно в цифровой камере полностью на аппаратном уровне.

Цифровые камеры расширенного спектрального диапазона на единой технологической платформе

Современные способы разработки, изготовления и монтажа твердотельных матричных фотоприёмников предполагают разработку линеек изделий различного назначения, которые могут иметь разное число, чувствительность и размер элементов, формат и т. д. при совместимости по выводам и сигналам, что позволяет разрабатывать новые цифровые камеры в рамках единой технологической платформы. Указанная особенность даёт возможность изготавливать новые камеры практически без изменения схемотехнического решения, что обеспечивает выпуск максимально технологичной продукции с минимальными производственными затратами.

Фотоприёмные матрицы расширенного спектрального диапазона также не являются исключением и закономерно вписываются в предлагаемую аппаратно-программную платформу RT-XDC [1] с некоторыми особенностями: при совместимости фотоприёмных матриц по выводам и сигналам достаточно поменять не только микропрограмму цифровой камеры и, возможно, объектив (если матрицы различаются по спектру чувствительности и оптическому формату).

Цифровые камеры на единой технологической платформе состоят из двух плат: плата фотоприёмника и плата обработки с видеопроцессором реального времени, вторичными источниками питания и схемой плавного запуска. Поэтому в случае несовместимости матриц дополнительно меняется только первая плата фотоприёмника.

Применение камер расширенного спектра на примере цифровой камеры RT-2400UV

Видеокамера RT-2400UV [6] позволяет формировать изображения расширенного спектрального диапазона в ультрафиолетовой (УФ), видимой и ИК областях излучения от 0,2 до 1,1 мкм. Высокая чувствительность (квантовая эффективность до 81% в УФ и до 96% в видимом диапазоне), прогрессивная развёртка кадров с частотой до 48 Гц, большой размер пикселя 11×11 мкм фотоприёмника RT-2400UV с разрешением 2048×2048 обеспечивают эффективное решение задач технического зрения в отмеченном спектральном диапазоне, в частности следующие:

- обеспечение посадки и навигации воздушных судов в сложных метеоусловиях (туман, снег, дождь);
- работу в составе мультиспектральной системы улучшенного видения;
- наблюдение объектов на фоне снежного покрова;
- анализ динамики процесса горения, предупреждение о старте ракет;
- изучение промышленных и естественных источников УФ излучения;
- диагностику в УФ-С диапазоне линий электропередач (ЛЭП), контактных проводов и трансформаторных подстанций;
- активную оптическую локацию в условиях световых помех;
- астрономические наблюдения в ночное и дневное время;
- изучение световых явлений в верхней атмосфере (полярные сияния);
- мониторинг состояния озонового слоя Земли;
- спектральный анализ материалов и природных объектов;

– изучение архивных документов и криминалистическую экспертизу.

Внешний вид камеры RT-2400UV представлен на рис. 1, график её абсолютной спектральной чувствительности – рис. 2:



Рис. 1. Цифровая камера RT-2400UV расширенного спектрального диапазона

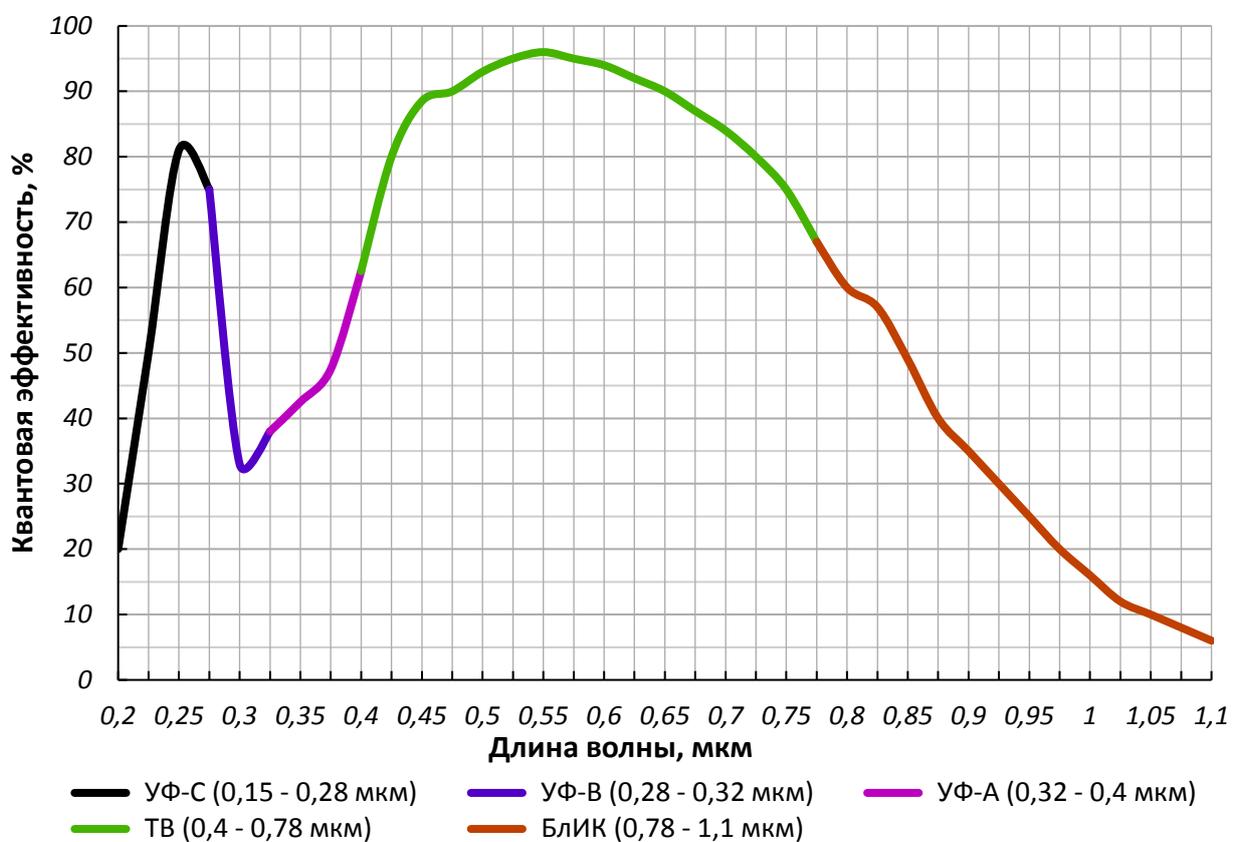


Рис. 2. График абсолютной спектральной чувствительности фотоприёмника камеры RT-2400UV

Из опыта мульти- и гипер- спектральной съёмки известно, что одновременное наблюдение в нескольких независимых зонах спектра позволяет получить более существенную информацию о структуре и природе исследуемых объектов, чем получение однокомпонентного интегрального сигнала в интересующем спектре. Поэтому важно уметь эффективно производить независимую съёмку в отдельных областях расширенного спектра и представлять её результат. Для решения этой задачи из представленного перечня примеров применения полезно будет выделить два основных варианта использования: изучение удалённых объектов и исследование близких объектов, к которым возможен непосредственный доступ.

Основные способы разработки мультиспектральных видеосистем на базе цифровых камер расширенного спектрального диапазона

Очевидно, при мониторинге удалённых объектов, например, для астрономических исследований в ночное и дневное время [3], отсутствует возможность применения разноспектральной подсветки наблюдаемой сцены при одновременном ограничении внешнего излучения. Поэтому наиболее эффективным способом съёмки сцены в разных диапазонах спектра с помощью одной фотоприёмной матрицы и штатного объектива, остаётся использование колеса светофильтров с последовательным получением разноспектральных изображений, рис. 3:



Рис. 3. Колесо светофильтров для получения разноспектральных изображений

Если же говорить об исследовании близко расположенных объектов, например, изучение оригиналов древних рукописей [4], то эффективно производить съёмку в тёмном помещении в нескольких режимах интеллектуальной светодиодной подсветки интересующего спектра, что исключает известные недостатки, связанные с применением оптических фильтров и использованием механики для их смены. Предлагаемый способ последовательного получения разнспектральных изображений с помощью светодиодной подсветки показан на рис. 4:

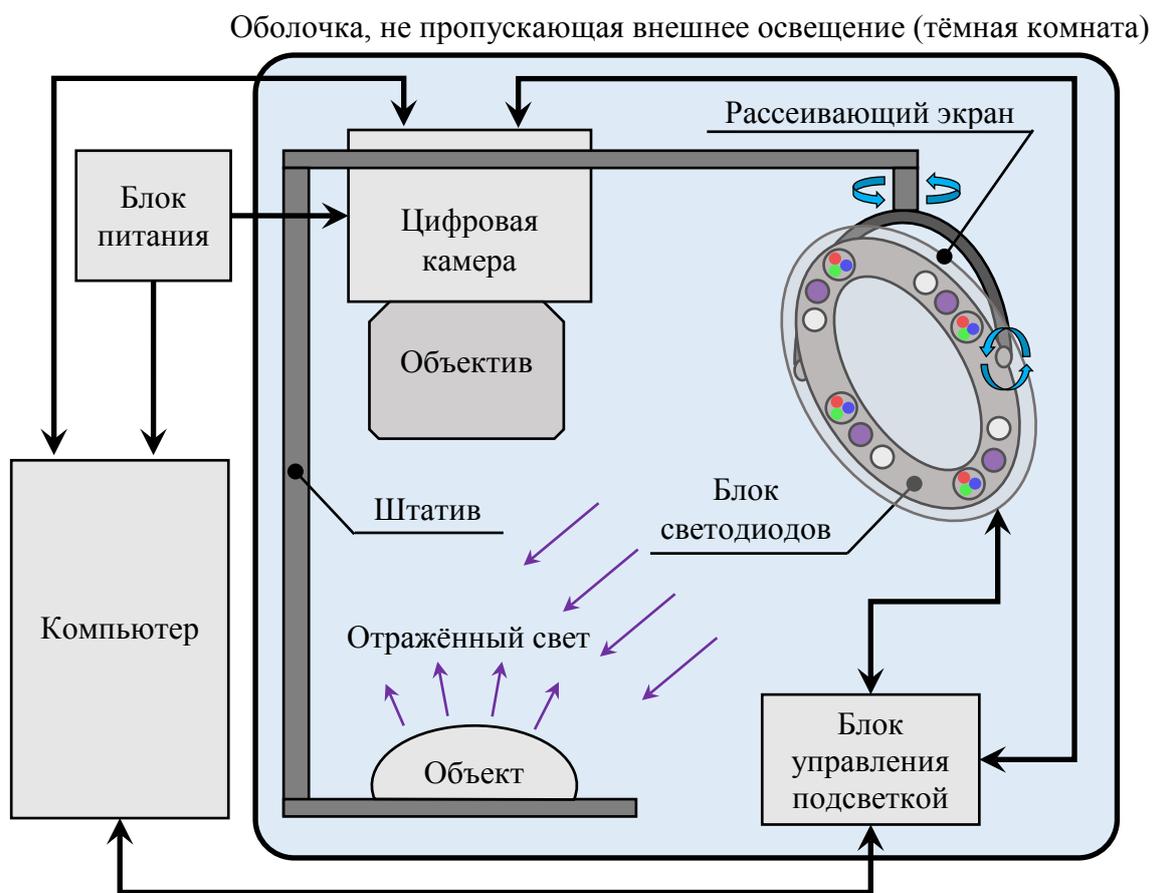


Рис. 4. Установка для последовательного получения разнспектральных изображений с помощью цифровой камеры расширенного спектра

Основное преимущество – полное отсутствие механических подвижных частей системы, а также дорогих специализированных оптических решений: установка по схеме на рис. 4 полностью собирается из серийно выпускаемых компонент. Принцип работы – регистрация фотоприёмником отражённого от объекта излучения от блока (колеса) светодиодов в заданной спектральной области за счёт

одновременного ограничения объекта от внешнего излучения. При этом для видимой области спектра предлагается использовать программируемые RGB светодиоды, которые могут выдавать почти непрерывный спектр излучения, а для невидимой глазом области предусмотрено размещение специальных ИК и УФ светодиодов на колесе подсветки с некоторым шагом по спектру излучения. С учётом производимой номенклатуры светодиодов шаг по спектру может составлять от 0,005 до 0,05 мкм, рис. 5:

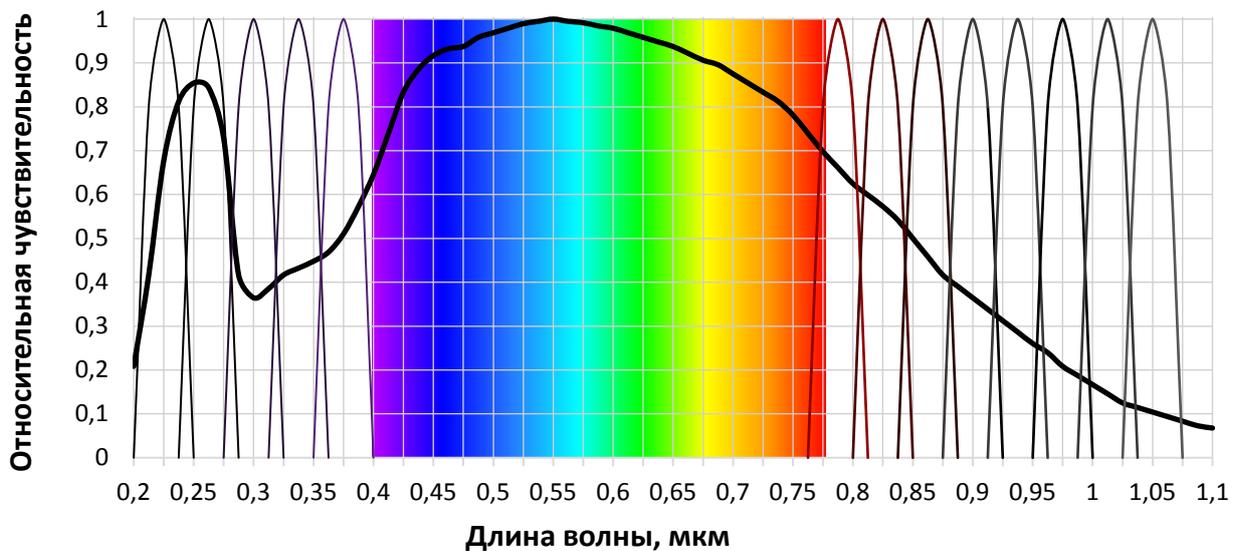


Рис. 5. Спектр светодиодной подсветки и относительная чувствительность матрицы цифровой камеры RT-2400UV

Предлагаемой мультиспектральной подсветкой можно будет управлять с помощью компьютера по стандартному интерфейсу типа USB или с помощью цифровой камеры на базе платформы RT-XDC по RS-485. Последний вариант взаимодействия обеспечивает обратную связь с камерой на аппаратном уровне для автоматической настройки системы на динамический диапазон путём регулировки яркости подсветки в зависимости от числа уровней яркости результирующего изображения.

Особенности представления результатов съёмки

Для большинства практических приложений достаточно оценить отражённое излучение из не более, чем трёх базовых зон спектра, чтобы получить необходимые

сведения о природе изучаемого объекта. С учётом трёхкомпонентного цветового зрения человека и возможностей современной техники, эффективным способом представления мультиспектрального изображения для визуального и автоматического анализа, видится метод, описанный в работе [2]. Суть предлагаемого метода заключается в том, чтобы перевести совокупный спектральный диапазон отснятого материала без информационных потерь в видимый человеком диапазон с учётом линейной модели цветового зрения и восприятия длины волны излучения, в зависимости от её цвета. Отсутствие информационных потерь обосновано возможностью восстановления исходных изображений из трёхкомпонентного комбинированного. Пример комплексирования разноспектральных изображений показан на рис. 6:



Рис. 6а. Видимый диапазон
(0,4 – 0,78 мкм)



Рис. 6б. Ближний ИК диапазон
(0,78 – 1,1 мкм)



Рис. 6в. Комбинированное RGB изображение

Заключение

В статье рассмотрен новый класс одноканальных систем технического зрения расширенного спектрального диапазона, имеющий хороший практический потенциал, благодаря большому числу его возможных приложений.

Новым результатом проделанной работы является предложенная мультиспектральная светодиодная подсветка с обратной связью для проведения фотометрического спектрального анализа объектов. Предложенный способ может также быть использован и в переносных миниатюрных фотометрических системах, где вместо тёмного помещения используется светонепроницаемая ёмкость с внутренней подсветкой.

Тем не менее, полученные результаты требуют практического внедрения и более детальной проверки, скорость проведения которой главным образом зависит от меры заинтересованности целевой аудитории данной технологией.

Литература

1. *Бондаренко А. В., Бондаренко М. А. и др. (2016)* Универсальная аппаратно-программная платформа цифровых видеокамер // Сборник трудов XXIV Международной научно-технической конференции и школы по оптоэлектронике и приборам ночного видения 24-27 мая 2016 г., М.: НПО «Орион». – С. 229-232
2. *Бондаренко М. А., Бондаренко А. В. (2018)* Формирование изображений в мультиспектральных видеосистемах для визуального и автоматического неразрушающего контроля // Успехи прикладной физики – М.: АО «НПО «ОРИОН», 2018, Т. 6, № 4, с. 325-332
3. *Гаранин С. Г., Зыков Л. И. и др. (2017)* Дневное наблюдение звёзд слабой яркости (7^m - 8^m) с равнинной местности // Оптический журнал, том 84, № 12, 2017, с. 30-37
4. *Миклас Х., Бреннер С., Саблатниг Р. (2017)* Мультиспектральная съёмка для цифровой реставрации древних рукописей: устройства, методы и практические аспекты // Историческая информатика, № 3, 2017, с. 116-134; DOI: 10.7256/2585-7797.2017.3.23697
5. *Мультиспектральная система улучшенного видения RT-700Combo (2018)*, техническое описание, – М.: РАСТР ТЕХНОЛОДЖИ, 2018. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <http://rastr.net/product/special/multi-sys.html>
6. *УФ цифровая камера RT-2400UV (2019)*, техническое описание, – М.: РАСТР ТЕХНОЛОДЖИ, 2019. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <http://rastr.net/product/digit-cam/rt-xdc-platform/rt-2400uv.html>

New possibilities of wide spectral range digital cameras applications

A. V. Bondarenko ¹, M. A. Bondarenko ¹, V. A. Kottsov ²

¹ Raster Technology Co. Ltd, Moscow, Russia, www.rastr.net

² Space Research Institute (SRI RAS), Moscow, Russia

Currently, technical vision systems forming an extended spectral range images find more and more wide application. The ranges of this kind include the sensitivity spectrum of photodetectors is wider than that of the main types of photodetectors. The most well-known example is when the visible range (0.4 – 0.78 μm) is supplemented by the near infrared (NIR) range (0.78 – 1.1 μm). The paper deals with effective applications of digital cameras of extended spectral range, developed in the framework of the uniform technological platform RT-XDC, on the example of a new UV camera RT-2400UV developed by Raster Technology, photographing in the range from 0.2 to 1.1 microns. Video systems of this class allow to form multispectral images using a single photodetector matrix and a regular lens with transmission in an extended range.

Keywords: wide spectral range digital camera, multispectral video system, spectroscopy, photometry, nondestructive testing.

Bondarenko Andrey V. – general director, e-mail: rastermsk@gmail.com.

Bondarenko Maxim A. – PhD, researcher, e-mail: max.bond@bk.ru.

Kottsov Vladimir A. – researcher, e-mail: vladkott@mail.ru.

References

1. Bondarenko A. V., Bondarenko M. A. et al. (2016) Universal hardware-software platform for digital cameras // proceedings of the XXIV International scientific and technical conference on photoelectronics and night vision devices – Moscow, JSC "NPO "Orion", 2016, pp. 229-232.
2. Bondarenko M. A., Bondarenko A. V. (2018) Image forming in multispectral video systems for visual and automatic nondestructive testing // Advances in Applied Physics – Moscow, JSC "NPO "Orion", 2018, V. 6, No. 4, pp. 325-332
3. Garanin S. G., Zykov L. I. et al. (2017) Day observation of low brightness stars (7^{m} - 8^{m}) from flat terrain // Optical journal, V. 84, No. 12, 2017, pp. 30-37
4. Miklas H., Brenner S., Sablatnig R. (2017) Multispectral photography for digital restoration of ancient manuscripts: devices, methods and practical aspects // Historical informatics, No. 3, 2017, pp. 116-134; DOI: 10.7256/2585-7797.2017.3.23697
5. RT-700Combo multispectral enhanced vision system (2018), technical description. – Moscow, Raster Technology, 2018. [Electronic resource]. Available at: URL: <http://rastr.net/product/special/multi-sys.html>
6. RT-2400UV digital camera (2019), technical description. – Moscow, Raster Technology, 2019. [Electronic resource]. Available at: URL: <http://rastr.net/product/digit-cam/rt-xdc-platform/rt-2400uv.html>