

воздействий [2, 3]. Для обоснованного задания технологических режимов лазерной обработки материалов необходимо с помощью разработанных теоретических и методических основ учитывать также фоновые значения, связанные с природой материала (микроструктура, химический состав, физико-механические характеристики).

Следует сказать, что технология лазерной обработки материалов носит вероятностно-временной характер, поэтому при ее разработке необходимо учитывать корреляционные связи между состоянием поверхности (шероховатость, волнистость, пористость, фактура, рельеф, твердость и т. д.), и условиями (режимами) формирования поверхности, полученной после обработки (мощность лазерного излучения, скорость перемещения лазерного луча,

разрешающая способность, частота импульсов, диаметр сфокусированного лазерного луча, направление луча на материал), тренд их изменения.

#### Литература

1. Otto, A. Multiphysical simulation of laser material processing / A. Otto, H. Koch, G. Vasquez // *Physics Procedia*. – 2012. – № 39. – P. 843–852.
2. Исследование влияния режимов лазерной обработки на качество поверхности материалов в приборостроении / В. А. Алексеев [и др.] // *Приборостроение-2019 : мат-лы 12-й Международной научно-технической конф.* – Минск : БНТУ, 2019. – С.433–435.
3. Исследование состояния поверхности биоткани при лазерной абляции / В. А. Алексеев [и др.] // *Прикладная оптика-2018: Сб. трудов Международной конф., СПб, 2018.* – Том 2. – С. 40–43.

УДК 528.854

### МЕТОД МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОЙ СЪЕМКИ ПУТЕМ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПО СПЕКТРАЛЬНОМУ СОСТАВУ

Антонов Е.А.<sup>1</sup>, Куприянов А.А.<sup>2</sup>, Калугин А.И.<sup>1</sup>, Зарипов М.Р.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН

<sup>2</sup>Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова  
Ижевск, Российская Федерация

**Аннотация.** В данной работе был проведен обзор основных методов получения мультиспектральных изображений и были выявлены основные недостатки этих методов. Был предложен альтернативный метод мультиспектральной съемки, рассмотрены его преимущества перед существующими методами, а также его недостатки.

**Ключевые слова:** мультиспектральная съемка, мультиспектральная камера.

### METHOD OF MULTISPECTRAL IMAGING BY SPATIAL SEPARATION OF IMAGES DEPENDING ON THEIR SPECTRAL COMPOSITION

Antonov E.<sup>1</sup>, Kupriyanov A.<sup>2</sup>, Kalugin A.<sup>1</sup>, Zaripov M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

<sup>2</sup>Kalashnikov Izhevsk State Technical University  
Izhevsk, Russian Federation

**Abstract.** The review of common methods of multispectral imaging is performed. Disadvantages of these methods are revealed. Alternative method of multispectral imaging is proposed and its advantages and disadvantages are considered.

**Keywords:** multispectral imaging, multispectral camera.

Адрес для переписки: Антонов Е.А., ул. Т. Барамзиной, 34, Ижевск 426067, Российская Федерация  
e-mail: slick25@mail.ru

Все большую актуальность в последнее время набирают мультиспектральные способы съемки объектов, позволяющие определять различия в спектральных коэффициентах яркости и отражения объектов и сред. Благодаря этому, возможно дистанционно определить, например, различия состава объектов, неразличимых при наблюдении человеческим глазом. Вместе с этим, остро встает задача разработки новых устройств, способных, будучи компактными, реализовать данный процесс с достаточным про-

странственным, временным и спектральным разрешением. К таким устройствам относятся мультиспектральные камеры, находящие все больше применений в различных сферах жизни, от аэрофотосъемки и спектрометрирования ландшафта до дистанционного определения сорняков и больших растений на полях.

На сегодняшний день применяются следующие методы мультиспектральной съемки [1]:

– применение двух и более независимых камер, захватывающих свой спектральный диапа-

зон. Недостатком этого метода являются искажения, вызванные параллаксом, не позволяющие преобразовать данные в одно мультиспектральное изображение;

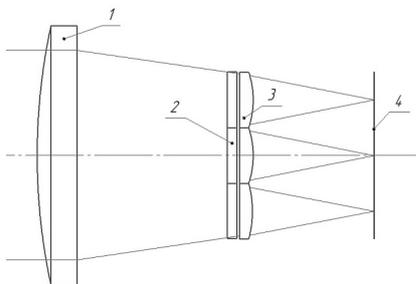
- установка массива пиксельных светофильтров. Данный метод применяется в большинстве камер, позволяющих получить цветное изображение. Недостатком этого метода является невозможность смены светофильтров. Кроме того, в таких системах формируется одно изображение, следовательно, из-за того что пиксели под различными светофильтрами сдвинуты друг относительно друга, изображения, полученные в различных спектральных диапазонах, будут отличаться;

- применение двух камер и светоделительного элемента. В отличие от первого метода, оптические оси камер должны быть совмещены, благодаря чему будут компенсированы искажения из-за параллакса, однако такой метод не позволит вести съемку в большом количестве различных спектральных диапазонов;

- применение призматических дихроичных разделителей пучка и нескольких приемников. Этот метод позволяет быстро получать качественные мультиспектральные изображения, однако размеры требуемых разделителей пучка значительно увеличиваются с увеличением количества используемых спектральных диапазонов;

- съемка с применением сменных узкополосных светофильтров. К этому методу относится, например, съемка с применением вращающегося перед камерой диска в котором установлены светофильтры [2]. Основным недостатком таких методов является долгое время построения мультиспектрального изображения.

В качестве альтернативы существующим методам мультиспектральной съемки в настоящей работе предлагается построение оптического узла камеры на основе единого приемного объектива с растровым элементом, совмещенного с массивом светофильтров. Массив представляет собой плоскопараллельную пластинку, собранную из нескольких светофильтров. Один из возможных вариантов реализации данного метода представлен на рис. 1.



1 – объектив; 2 – массив светофильтров; 3 – линзовый растр; 4 – фотоприемник

Рисунок 1 – Схематическое изображение предлагаемого метода мультиспектральной съемки

Каждый элемент растра 3 формирует в плоскости матричного фотоприемника 4 изображение, спектральный состав которого определяется функцией пропускания светофильтра 2, расположенного с этим элементом. Таким образом, в плоскости фотоприемника формируется некоторое количество изображений, равное количеству элементов растра. После записи кадра, программными методами эти изображения преобразуются в одно мультиспектральное изображение.

Кроме компоновки компонент показанной на рис. 1, светофильтры можно расположить возле фотоприемника, за линзовым растром либо заполнить в виде покрытия линз растра. Линзовый растр может копировать изображение как в одном, так и в двух направлениях.

Главным недостатком такого метода является обратная зависимость пространственного разрешения мультиспектрального изображения от количества применяемых спектральных диапазонов, поскольку для каждого изображения на плоскости матрицы отводится свой участок. Таким образом, при формировании изображения на четырех длинах волн, разрешение мультиспектрального изображения будет в идеальном случае в 4 раза меньше, чем разрешение фотоприемника. Данная проблема также встречается в системах с массивами светофильтров, устанавливаемыми на матрицах фотоприемников.

Тем не менее, данный метод обладает рядом следующих достоинств:

- не возникает сильных искажений из-за параллакса;

- скорость съемки равна скорости построения одного кадра;

- возможно реализовать смену блока светофильтров для получения мультиспектрального изображения с иным спектральным составом;

- данный метод можно комбинировать с методом, использующим светоделительный элемент, благодаря этому появляется возможность расширения спектрального диапазона или повышения пространственного разрешения;

- возможно получение мультиспектральных изображений высокого пространственного и спектрального разрешения при разделении изображения только по одному направлению в режиме строчного сканирования.

#### Литература

1. Multispectral imaging for medical and industrial machine vision systems [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://www.jai.com/multispectral-imaging>. – Дата доступа: 01.09.2022.

2. Макет мультиспектральной системы видения для мобильных систем / У. А. Ефимова, [и др.] // Приборостроение–2020: материалы 13 международной науч.-техн. конф., 18–20 ноября 2020 г., Минск, Белорус.нац. техн. ун-т / редкол.: О.К. Гусев [и др.]. – Минск: БНТУ, 2020. – С. 367–369.