

УДК 681.772

РАЗРАБОТКА ОДНОПИКСЕЛЬНОЙ КАМЕРЫ С ЛИНЕЙНЫМ СКАНИРОВАНИЕМ ДЛЯ КОРОТКОВОЛНОВОГО ИНФРАКРАСНОГО ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ

Шумигай В.С. (ИТМО), Исмагилов А.О. (ИТМО), Опарин Е.Н. (ИТМО)

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, доцент Цыпкин А.Н.
(ИТМО)

Введение. В настоящее время мультиспектральные камеры в ближнем инфракрасном диапазоне (SWIR) становятся важным инструментом в агропромышленности и сельском хозяйстве [1]. Работая в диапазоне длин волн от 900 до 1700 нм, эти камеры способны обнаруживать влагу в пищевых продуктах, что позволяет выявлять повреждения и грибковые инфекции, которые не видны в видимом спектре. Такой широкий диапазон длин волн обеспечивает более точную диагностику и анализ качества продукции, делая мультиспектральные камеры незаменимыми в агросекторе. Однако по сравнению с камерами видимого диапазона, для них характерен ряд недостатков: меньшая чувствительность матриц, малое разрешение и/или низкая частота кадров [2]. Помимо этого, SWIR-камеры выделяются своей высокой ценой: например, стоимость высококачественной SWIR-камеры с разрешением 640x480 пикселей может достигать 2 000–3 000 долларов, в то время как более продвинутые модели с разрешением 1024x768 могут стоить от 5 000 до 10 000 долларов.

В соответствии с этой целью работы является разработка технических решений для конструирования и снижения стоимости мультиспектральной SWIR-камеры. В основу предлагаемого решения представляется целесообразным положить методику однопиксельной визуализации. В ее рамках реализуется принцип структурированного освещения – объект наблюдения облучается паттернами освещения, сформированными на поверхности пространственного модулятора света. Далее модулированное излучение попадает на детектор без пространственного разрешения. Накопление сигнала детектора со сменой паттернов освещения и последующее вычисление корреляции между двумя наборами данных (паттернами и сигнала с детектора) позволяет восстановить функцию отражения объекта. Выбор данной методики построения изображений обуславливается высокой чувствительностью системы [3], низкой стоимостью компонентов [4], а также гибкостью к модификациям, в том числе к внедрению дополнительных спектральных каналов для реализации мультиспектральной камеры [5].

Основная часть. Для реализации однопиксельной визуализации со спектральным разрешением в коротковолновом инфракрасном диапазоне частот необходимо обеспечить пространственную модуляцию излучения отдельных спектральных каналов. Для этого излучение от светодиодов с длиной волны 1400, 1900 и 2300 нм было направлено на цифровое микрозеркальное устройство, на поверхности которого выставлено заданное распределение коэффициента отражения по пространству. После отражения от пространственного модулятора света часть излучения освещала объект наблюдения, расположенный на линейном трансляторе с регулируемой скоростью движения вдоль одной оси. Такая конфигурация позволила имитировать движение объекта на конвейере. Далее излучение, отраженное от объекта со спектральными особенностями в ближнем ИК диапазоне, попадало на систему детектирования, состоящую из собирающей линзы и детектора без пространственного разрешения. Смена маски отражения (паттерна освещения) на поверхности цифрового микрозеркального устройства приводила к изменению сигнала на детектор. Накопление сигнала и его дальнейшее сопоставление с масками отражения позволяли восстановить изображение объекта наблюдения на трех спектральных каналах, каждому из которых соответствовал свой набор паттернов освещения.

Важно отметить, что для восстановления изображений с высоким пространственным разрешением и контрастностью необходимо, чтобы паттерны освещения для каждого спектрального канала были ортогональные. В таком случае регистрация излучения может

проводиться с использованием только одного детектора без пространственного разрешения. В качестве таких паттернов освещения были использованы паттерны Адамара, полный набор которых для изображения размером 64 на 64 пикселя составляет 4096 штук.

Выводы. Разработана система однопиксельной визуализации со спектральным разрешением в коротковолновом инфракрасном диапазоне частот, позволяющая получать изображения объектов наблюдения в режиме линейного сканирования. Подобраны паттерны освещения, позволяющие добиться наибольшего пространственного разрешения и контрастности получаемых изображений. При высокой частоте смены кадров на поверхности модулятора разработанная система позволяет получать изображения движущихся объектов наблюдения.

Список использованных источников:

1. Bonifazi G. et al. Early Study on Visible (Vis) and Short-Wave Infrared (SWIR) Spectroscopy for Assessing Water Content in Olive Fruits: Towards Sustainable Land and Agricultural Practices // Land. – 2024. – Т. 13. – №. 12. – С. 2231.
2. Wiley L. et al. Comparison of reflective band (Vis, NIR, SWIR, eSWIR) performance in daytime reduced illumination conditions // Applied Optics. – 2023. – Т. 62. – №. 31. – С. 8316-8326.
3. Edgar M. P., Gibson G. M., Padgett M. J. Principles and prospects for single-pixel imaging // Nature photonics. – 2019. – Т. 13. – №. 1. – С. 13-20.
4. Gibson G. M., Johnson S. D., Padgett M. J. Single-pixel imaging 12 years on: a review // Optics express. – 2020. – Т. 28. – №. 19. – С. 28190-28208.
5. Huang J., Shi D. Multispectral computational ghost imaging with multiplexed illumination // Journal of Optics. – 2017. – Т. 19. – №. 7. – С. 075701.