

*П. А. Кайсин¹**

Поиск оптимальных комбинаций спектральных диапазонов для панорамных объективов, работающих в нескольких диапазонах спектра

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация
* e-mail: Kaysin-PA2021@sgugit.ru

Аннотация. В статье рассматривается актуальность разработки современных оптических систем панорамного обзора, работающих в нескольких диапазонах спектра для беспилотных аппаратов. Сформирована проблематика, связанная с потребностью производства более сложных в техническом плане систем панорамного обзора. Рассмотрены основные задачи, решаемые устройствами подобного типа. Рассмотрены достоинства и недостатки различных спектральных диапазонов. Проведено сравнение оптических диапазонов при комбинировании для решения поставленных задач. Приведены примеры использования различных диапазонов спектра при съемке. Представлены сопоставления коэффициентов отражения для некоторых объектов в выбранных диапазонах спектра. Выбран оптимальный диапазон спектра для использования в комбинации с видимым диапазоном, решающий поставленные задачи. Сформирован вывод касательно использования рассмотренной комбинации спектральных диапазонов в системах панорамного обзора для мониторинговых и навигационных целей БПА.

Ключевые слова: системы панорамного обзора, двухканальная система, видимый и инфракрасный диапазоны спектра, навигационная видеокамера, ближний инфракрасный диапазон

*P. A. Kaisin¹**

Search for Optimal Combinations of Spectral Ranges for Panoramic Lenses Operating in Several Ranges at the Same Time

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
* e-mail: Kaysin-PA2021@sgugit.ru

Annotation. The article discusses the relevance of the development of modern optical panoramic viewing systems operating in several spectrum ranges for unmanned vehicles. The problems related to the need for the production of more technically complex panoramic viewing systems have been formed. The main tasks solved by devices of this type are considered. The advantages and disadvantages of various spectral ranges are considered. The comparison of optical ranges when combined to solve the tasks is carried out. Examples of using different ranges of the spectrum when shooting are given. Comparisons of reflection coefficients for some objects in selected spectral ranges are presented. The optimal range of the spectrum has been selected for use in combination with the visible range, which solves the tasks set. A conclusion has been formed regarding the use of the considered combination of spectral ranges in panoramic viewing systems for monitoring and navigation purposes of the BPA.

Keywords: panoramic viewing systems, dual-channel system, visible and infrared spectrum ranges, navigation video camera, near infrared range

Введение

Современные панорамные объективы, работающие в нескольких диапазонах спектра, предоставляют возможность получения высококачественных изображений в различных условиях эксплуатации. Однако для достижения наилучшего результата необходимо правильно подобрать комбинацию спектральных диапазонов. Актуальность разработки оптических систем панорамного обзора, работающих в нескольких спектральных диапазонах, для беспилотных аппаратов (БПА) определяется:

- необходимостью использовать БПА в различное время суток;
- повышенным спросом на навигационные и мониторинговые системы БПА для тактических и наблюдательных целей;
- усовершенствованием технологий, позволяющих проектировать более компактные системы панорамного обзора;

В данной статье рассматриваются актуальные задачи и способы их решения при разработке оптических систем панорамного обзора для беспилотных аппаратов.

Главная задача данной работы – определение оптимальной комбинации спектральных диапазонов оптического излучения, которая может быть использована при проектировании систем с панорамной оптикой, решающей задачи формирования и анализа панорамного изображения пространства в области, близкой к полусфере.

Методы и материалы

Для получения результатов использовались системный подход, поиск, обзор и анализ тематической информации, доступной в сети Интернет и профильной технической литературе.

Результаты и обсуждение

Активное применение БПА, в том числе и летательных (БПЛА), в последние годы, показало принципиальную необходимость в усовершенствовании навигационных и мониторинговых систем, которыми оснащаются дроны. Большое разнообразие БПЛА, применяемых как для гражданских нужд, так и для военных, позволило статистически выявить плюсы и минусы каждой модификации, а также указать направления для развития всей области конструирования БПЛА в целом. Главными задачами оптических систем, используемых в БПЛА, по-прежнему остаются: обнаружение объектов, целеуказание, сопровождение, мониторинг и обеспечение навигационных потребностей дрона. Однако, конечный потребитель всегда хочет получать больше возможностей в одном устройстве, а в случае с БПЛА появляется необходимость в использовании устройства в сложных условиях, таких как недостаточная видимость и плохие погодные условия. Для решения данной задачи подходят мультидиапазонные камеры, позволяющие

сохранять функционал БПЛА в любое время суток и практически при любых погодных условиях [1].

Неотъемлемой частью такого рода камер остается необходимость контроля со стороны оператора, осуществляющего управление дроном и корректирующего его движение в реальном времени, а значит необходим объектив, работающий в видимом диапазоне спектра (VIS). Передача видео в видимом диапазоне минимизирует время на его постобработку и снижает нагрузку на вычислительные мощности, позволяя незамедлительно реагировать на меняющуюся обстановку в пространстве. Для наблюдения в условиях недостаточной освещенности необходим объектив, работающий в инфракрасном диапазоне спектра (ИК) [7]. Инфракрасное излучение является важным сектором электромагнитного спектра, расположенным между волнами видимого диапазона и радиоволнами. В зависимости от длины волны, инфракрасное излучение может быть разделено на пять групп [14]:

- ближний инфракрасный диапазон (NIR) с длиной волны от 0,75 до 1,4 мкм;
- коротковолновый инфракрасный диапазон (SWIR) с длиной волны от 1,4 до 3 мкм;
- средневолновый инфракрасный диапазон (MWIR) с длиной волны от 3 до 8 мкм;
- длинноволновый инфракрасный диапазон (LWIR) с длиной волны от 8 до 15 мкм;
- дальний инфракрасный диапазон (FIR) с длиной волны от 15 до 1000 мкм.

В ближнем инфракрасном диапазоне работают инфракрасные светодиоды, лазеры для систем оптической связи, телевизионные камеры и приборы ночного видения на основе электронно-оптического преобразователя (ЭОП) [1, 3, 6].

В коротковолновом инфракрасном диапазоне достигаются более высокие уровни природных контрастов. Типичными сенсорами, используемыми при обычной съемке в SWIR диапазоне, являются сенсоры на основе арсенида-индия-галлия (InGaAs), способные захватывать область от 0,550 нм до 2,5 нм [3-5].

MWIR позволяет измерять температуру объектов и обнаруживать тепловые аномалии. В MWIR диапазоне тела, нагретые до 600 °С, начинают испускать электромагнитное излучение, фиксируемое электронно-оптическим преобразователем. В этом диапазоне чувствительны тепловые головки самонаведения систем ПВО и тепловизоры [9].

В LWIR диапазоне излучают тела с температурами около 0 °С. В этом диапазоне чувствительны тепловизоры и приборы ночного видения.

В FIR диапазоне источниками излучения являются лазеры дальнего ИК диапазона. В оптике для работы в FIR диапазоне используются специальные приборы и оптические материалы, способные пропускать излучение FIR диапазона.

Для улучшения конечного изображения при работе в условиях недостаточной видимости достаточным будет применение NIR или SWIR диапазонов. NIR диапазон является пограничным к видимому спектральному диапазону, что су-

щественно упростит задачу в подборе материалов при конструировании компонентов объектива и положительно скажется на массогабаритных характеристиках устройства.

Преимущества использования NIR диапазона, а не ультрафиолетового (УФ) канала [7]:

- квантовая чувствительность многих кремниевых фотоприемников при длине волны электромагнитного излучения в диапазоне от 800 до 1000 нм, значительно выше, чем в области 300 нм;

- мощность естественного излучения в NIR диапазоне несколько выше, чем в УФ;

- NIR диапазон имеет более короткую длину волны, что означает, что более высокие частоты могут быть переданы на большом расстоянии без искажений;

- ближний ИК диапазон требует меньшей мощности для связи, что приводит к меньшему потреблению энергии и большей эффективности.

Комбинирование VIS и NIR диапазонов позволяет получить некоторое техническое преимущество при использовании на БПЛА. Комбинация двух диапазонов ведет к созданию полного спектра данных, которые БПЛА может использовать для определения местоположения объектов, анализа территории, поиска и спасения людей, мониторинга и контроля транспортных потоков, а также для других задач. Таким образом, комбинирование VIS и NIR диапазонов позволяет беспилотным летательным аппаратам работать более эффективно в различных условиях и выполнять задачи с большей точностью и эффективностью.

На рис. 1 приведены примеры изображений, снятые в различных спектральных диапазонах. Изображение объектов в видимом диапазоне спектра показано на рис. 1, *а*, в NIR диапазоне – на рис. 1, *б*, в LWIR диапазоне – на рис. 1, *в* [7-9].

Коэффициент отражения зависит от молекулярного состава материала и от спектра его излучения. В табл. 1 представлены коэффициенты отражения для некоторых объектов, для которых они существенно различаются в видимом и ИК диапазонах длин волн. Из наиболее существенных отличий следует отметить слабое отражение в NIR-диапазоне для воды и неба, что позволяет искать на их фоне малоконтрастные объекты. Другая особенность связана с тем, что глубина проникновения падающего излучения в материалы прямо пропорциональна длине волны. Так излучение в коротковолновом диапазоне спектра поглощается только на поверхности материала (проникновение на глубину не более 90 нм), в то время как излучение с длиной волны около 1000 нм проникает в слои материала до 10 мм [6].

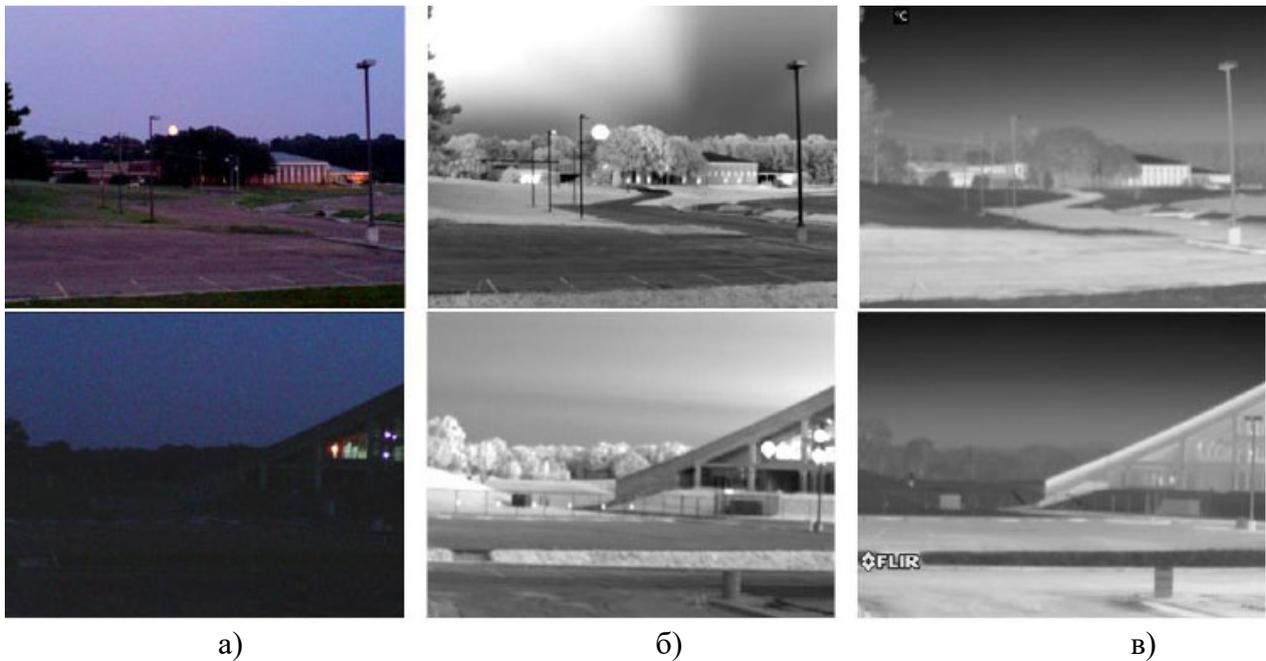


Рис. 1. Примеры изображений в различных спектральных диапазонах:
 а) видимый спектр RGB-изображения; б) NIR-изображение;
 в) LWIR-изображение

Таблица 1

Коэффициенты отражения в видимом и ближнем ИК диапазонах

Объект	Диапазон длин волн	
	VIS	NIR
	Коэффициент отражения	
Небо	от 0,20 до 0,80	0,10
Вода	от 0,20 до 0,70	0,10
Песок	от 0,50 до 0,60	0,45
Бетон	от 0,40 до 0,50	0,35
Листья деревьев, трава	от 0,20 до 0,60	0,65
Кора деревьев	от 0,15 до 0,25	0,35

Заключение

Современная технологическая и элементная база позволяет панорамным системам работать для навигационных и мониторинговых целей в нескольких диапазонах спектра, определяя объекты с высоты более 30 м над уровнем земли, в условиях плохой освещенности и при плохих погодных условиях [15]. Комбинация VIS и NIR диапазонов спектра решает поставленные задачи, проста в реализации и расширяет горизонты возможностей современных БПЛА.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Wu D., Da-Wen Sun. Advanced applications of hyperspectral imaging technology for food quality and safety analysis and assessment: A review. Pt. II: Applications // Innovative Food Science & Emerging Technologies. – 2013. – V. 19. – P. 15-28.

2. Egorenko M.P., Efremov V.S. «Mirror-lens camera system for underwater drones», Proc. SPIE 11560, 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 115602O // . – 2022. – URL: <https://doi.org/10.1117/12.2573572>.
3. Firmenich D., Brown M. S.Gsstrunk S. Multispectral interest points for RGB-NIR image registration // Proc. IEEE int. conf. on image processing (ICIP). – Brussels. – 11-14 Sept. 2011. – URL: <http://infoscience.epfl.ch/record-/167479/files/FBS11.pdf> (дата обращения 09.05.2023).
4. Canzek L. Neue Richtung in der Entwicklung der katadioptrischen Objektive // Optica acta. 1979. №2. P. 279–287. DOI: 10.1080/713819973.
5. Егоренко М.П., Ефремов В.С. Хроматические свойства зеркала Манжена в нескольких диапазонах спектра // Изв. вузов. Приборостроение. – 2009. – Т. 52. № 6. – С. 53–57.
6. Near infrared (NIR) cameras. – URL: <http://www.jai.-com/en/products/nearinfrared> (дата обращения: 09.05.2023).
7. Real time megapixel multispectral bioimaging / J. Eichenholz, N. Barnett, Y. Juang et al. // Proc. SPIE: Imaging, manipulation, and analysis of biomolecules, cells, and tissues VIII. – 2010. – Vol. 7568. -URL: http://www.pixelteq.com/wp-content/uploads/2013/01/PIXELTEQ_Real-time-Megapixel-Multispectral-Bioimaging.pdf (дата обращения: 09.05.2023).
8. Соломатин В. Панорамная видеокамера // Фотоника. – 2009. – № 4. – С. 26-29.
9. Панорамная зеркально-линзовая система с видеокамерой: Пат. 2335003. Россия, G02B 17/08 (2006.01), G03B 37/06 (2006.01). Колючкин В.Я., Тимашова Л.Н., Колобов К.В., Князев А.А.; ООО «Лаборатория трехмерного зрения». № 2006133677/28; Заявл. 27.03.2008; Оpubл. 27.09.2008. Бюл. № 27.
10. Панорамная двухспектральная зеркально-линзовая система: Пат. 2728321. Россия, МПК, G 02B 17/08, G 03B 37/06, G 02B 13/06. Егоренко М.П., Ефремов В.С.; Сиб. гос. ун-т геосистем и техн. № 2020100496; Заявл. 12.02.2020; Оpubл. 29.07.2020. Бюл. № 22.
11. Ленгауэр Г.Г., Михельсон Н.Н., Никанорова И.Н. Теория сверхширокоугольной камеры Г.Г. Ленгауэра // Изв. ГАО АН СССР. – 1989. – № 206. – С. 75-79.
12. НПФ «Фотоника» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.npk-photonica.ru/> (дата обращения 01.05.2023).
13. Новоситной портал Hongkiat [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.hongkiat.com/blog/360cam-first-hd-360-camera/> (дата обращения 09.05.2023).
14. Русинов М.М., Грамматин А.П., Иванов П.Д., Андреев Л.Н., Агальцова Н.А., Ишанин Г.Г., Василевский О.Н., Родионов С.А. / под общ. ред. Русинова М.М. Вычислительная оптика: справочник. Изд. 2-е, М.: URSS. – 2008. – С. 424 с.
15. Кайсин, П. А. Принципы разработки оптических систем панорамного обзора для беспилотных аппаратов / П. А. Кайсин, В. С. Ефремов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVIII Междунар. науч. конгр., 18–20 мая 2022 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 6 : Магистерская научная сессия «Первые шаги в науке». – Новосибирск : СГУГиТ. – 2022. – Т. 6. – С. 76-81. – DOI 10.33764/2618-981X-2022-6-76-81.

© П. А. Кайсин, 2023