

значений 4,7 мин. и 4,9 мин. соответственно, до значений 0 мин. В соответствии с таблицей 3.2 и средней стоимостью топлива ТС-1 экономия по исключению задержки одного вылета ВС составит от 2200 руб. до 2293 руб.

В среднем интенсивность воздушного движения на аэродроме Остафьево составляет 50 ВС/сутки (табл. 1.1). Средняя задержка одного вылета на сутки составляет 4,8 мин. Опираясь на табл. 1.1, табл. 1.2, табл.1.3, среднюю стоимость авиационного керосина [13] предоставляется возможным произвести расчет экономии денежных средств, которую можно получить благодаря усовершенствованию структуры воздушного пространства МУДР в части касающейся рубежа приема-передачи управления между органами ОВД.

Применение данного проекта:

- Обеспечит экономию денежных средств, размер которых в среднем 40435200 руб/год.
- Обеспечит снижение уровня загрязнения воздуха.
- Обеспечит снижение уровня шума в районе аэродрома.

Список литературы

1. Отчет о НИР Разработка схем маневрирования для аэродромов Москва (Домодедово), Москва (Шере-

метьево), Москва (Внуково), Остафьево и Раменское. Филиал. «НИИ Аэронавигации» ФГУП ГосНИИ ГА. Москва. 2016.

2. Все о перелетах и самолетах [Электронный ресурс]: <http://nasamoletah.ru/poznavatelno/skolko-samoletov-sejchas-v-nebe.html> (дата обращения: 20.05.2018).
3. «Ostafyevo, Russia», Jeppesen Sanderson, inc., 2018. P. 28.
4. «Vnukovo, Russia», Jeppesen Sanderson, inc., 2018. P. 88.
5. «Domodedovo, Russia», Jeppesen Sanderson, inc., 2018. P. 84.
6. «Ramenskoye, Russia», Jeppesen Sanderson, inc., 2018. P. 65.
7. Руководство по производству полетов авиакомпании «S7 Airlines».
8. Чехов И.А. Пути развития систем навигации в рамках внедрения концепции CNS/ATM // Научный вестник МГТУ ГА. 2017. Том 20. №04. С. 98-106.
9. Руководство по производству полетов авиакомпании «Газромавиа».
10. Flight crew operating manual, Airbus, 2018 – 7218 с.
11. Flight crew operating manual, Boeing, 2017 – 640 с.
12. Flight crew operating manual, Falcon, 2018 – 720 с.
13. Авиационный керосин ТС-1 [Электронный ресурс]: <https://necten-sea.ru/catalog/Toplivo/Kerosin/TS-1/> (дата обращения: 22.12.2018).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ



Притоцкий Егор Михайлович

Кафедра физики и прикладной математики Владимирского государственного университета, инженер 1 лаборатории испытательной ФГАУ «ВИТ «ЭРА»



Аракелян Сергей Мартиросович

Доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики и прикладной математики Владимирского государственного университета

Аннотация: Проанализированы существующие физические и программные средства для фильтрации изображения. Разработан узкополосный просветляющий фильтр на длину волны 850 нм. Предложен алгоритм комбинированного использования программных и физических фильтров для повышения точности работы системы технического зрения. Проведены экспериментальные исследования для проверки предложенного метода. Использование узкополосного оптического фильтра в совокупности с программными средствами фильтрации и сглаживания позволяют качественно повысить точность определения координат инфракрасных маяков на видеокадре, что в свою очередь позволяет осуществлять автоматическую посадку беспилотного летательного аппарата по инфракрасным маякам с точностью до 30 см для мультикоптеров с вертикальной посадкой при отсутствии

сигналов спутниковых систем. Предложение также может использоваться в качестве защиты от интенсивного лазерного излучения систем технического зрения наведения, целеуказания и сопровождения.

Ключевые слова: оптические покрытия, фильтрация, системы технического зрения, обработка изображения.

Abstract: the existing physical and software tools for image filtering are Analyzed. A narrow-band antireflection filter with a wavelength of 850 nm has been developed. An algorithm for the combined use of software and physical filters to improve the accuracy of the vision system is proposed. Experimental studies were conducted to test the proposed method. The use of narrow-band optical filter in combination with software filtering and smoothing allow to increase the accuracy of determining the coordinates of infrared beacons on the frame, which in turn allows for automatic landing of unmanned aerial vehicle via infrared beacons with an accuracy of 30 cm for multicopters with vertical boarding in the absence of signals of satellite systems. The offer can also be used as protection against intense laser radiation of technical vision systems for guidance, targeting and tracking.

Keywords: optical coatings, filtration, vision systems, image processing.

Обработка визуальных данных с целью дальнейшего принятия решений носит для системы технического зрения фундаментальный характер. Изображения, получаемые и обрабатываемые в современных системах обработки цифровых изображений и распознавания объектов, могут быть зашумленными и слабоконтрастными. Одним из способов детектирования и распознавания объектов – цветовой фильтр. Такой подход используется для того, чтобы убрать из кадра всё лишнее по цветовому признаку. Реализовать данный подход возможно, используя как физические средства, так и программные.

Физические фильтры

В качестве физического фильтра часто используют оптические элементы со специальными покрытиями, оптические характеристики которых подобраны

таким образом, чтобы отсечь необходимую длину волны или относительно короткий диапазон длин волн. Например, фильтры BN-850 и Bi-850 производства компании MidOpt позволяют пропускать на центральной длине волны 850 нм с полушириной не более 45 и 33 нм соответственно.

Как альтернатива, предлагается использовать разработанный авторами узкополосный просветляющий фильтр на длину волны 850 нм с полушириной $\Delta_{0,5}$ не более 30 нм с блокировкой $\lambda = 400-1100$ нм (рис.1). Для такого покрытия была рассчитана комбинация из пяти зеркал и одного узкополосного просветляющего фильтра. Оптические характеристики фильтра соответствуют заявленным характеристикам и представлены в виде графиков зависимостей коэффициента пропускания в процентах от длины волны (от 400 до 1100 нм) при нормальном падении в сравнении с расчетными данными.

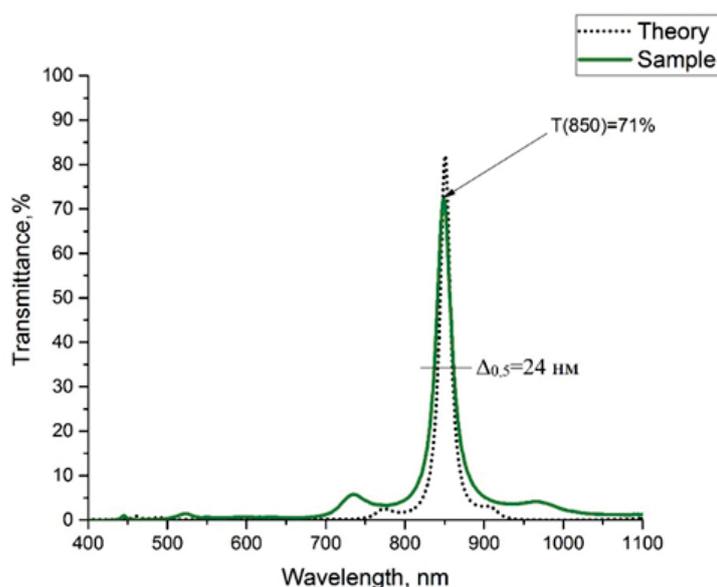
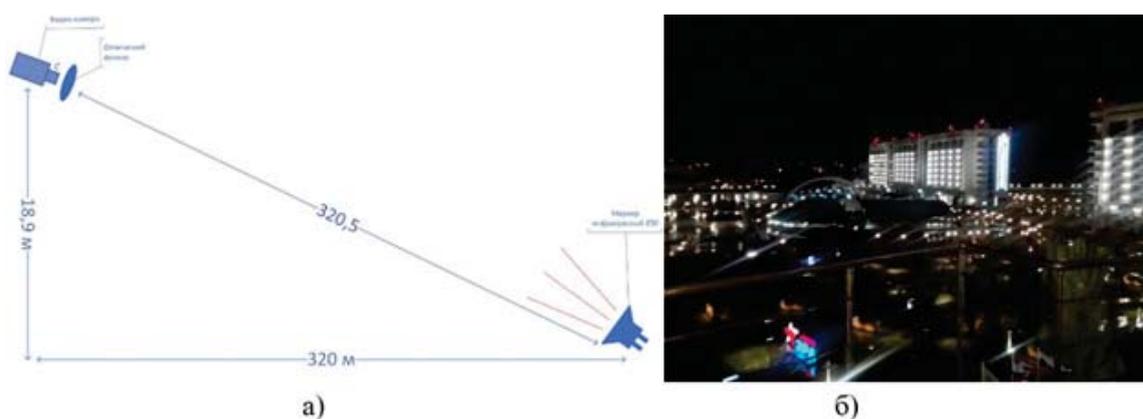
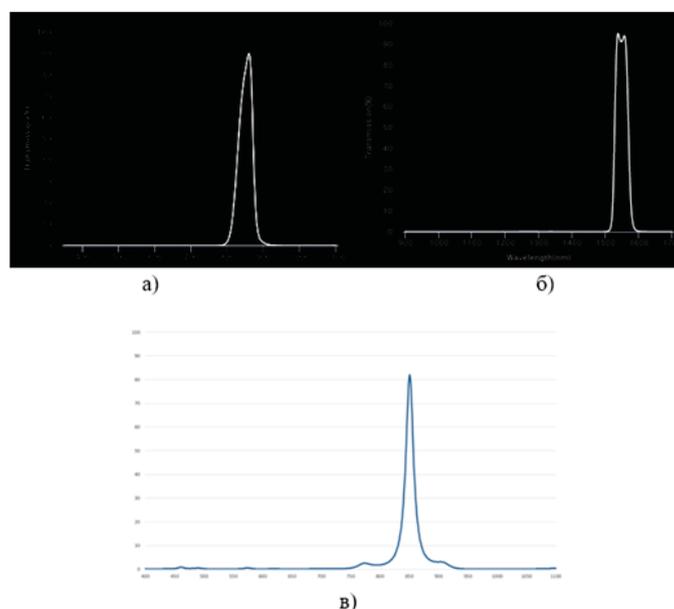


Рис. 1. Сравнение расчетной (Theory) и полученной зависимостей коэффициента пропускания (Transmittance, %) от длины волны (Wavelength, nm) образца (Sample) с нанесенным комбинированным покрытием



а) Схема эксперимента б) Исходное изображение в видимом диапазоне

Рис. 2. Условия проведения эксперимента



а) BN850, б) Bi1550, в) Sample

Рис. 3. Оптическая характеристика пропускания фильтров

Для проведения экспериментальных испытаний физических фильтров был определен перечень оборудования и следующие условия эксперимента: ночь, дождь, уличное освещение (рис. 2).

Состав оборудования:

- 1) Инфракрасный маркер, длина волны 0,85 мкм, мощность 17 Вт.
- 2) Полупроводниковый лазер, длина волны 1,55 мкм, мощность 30 Вт.
- 3) Камера Imaging Source DMC33GX290e; Объектив с параметрами 8,5 мм * 1:1.5.
- 4) Камера SWIR ОРИОН SVU0000;
- 5) Светофильтры (рис. 3):

а) коммерческий фильтр MidOpt марки Bi850 Near-IR Interference Bandpass Filter,

б) коммерческий фильтр MidOpt марки Bi1550 Short-Wave Infrared Bandpass Filter,

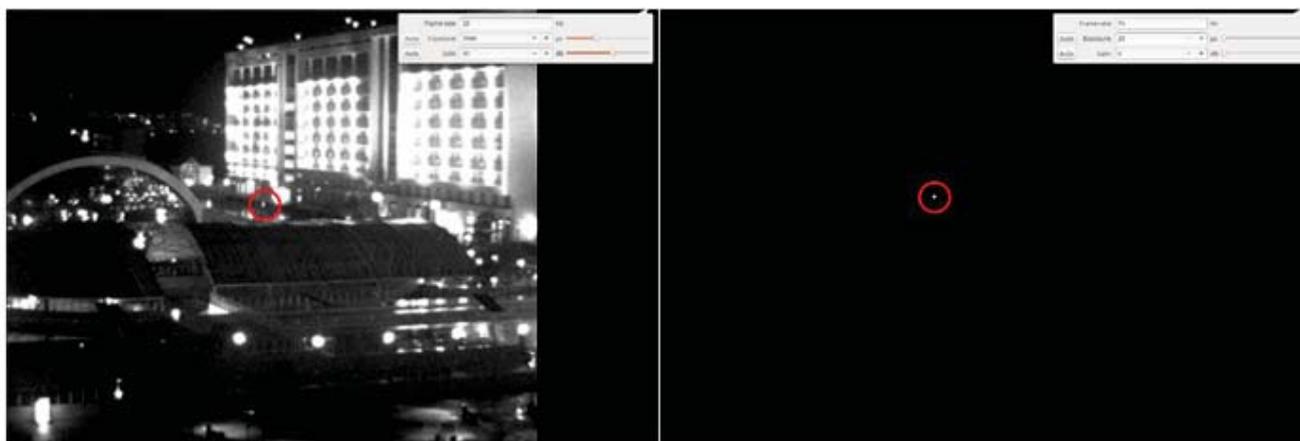
в) экспериментальный образец Sample (рац. предложение №2/1 в ФГАУ «ВИТ «ЭРА»);

Фильтрацию изображения можно провести аппаратными средствами (см. рис.4) за счет снижения

экспозиции и усиления, но для работы на разных расстояниях требуется дополнительная калибровка данных параметров. Для проверки возможностей физических фильтров на длину волны 850 нм проведен сравнительный эксперимент при одинаковых условиях (см. рис.5). Во всех случаях параметры объектива 8,5 мм*1,5 с открытием диафрагмы 100 %.

Результаты эксперимента показали, что разработанный узкополосный просветляющий фильтр на длину волны 850 нм соответствует рассчитанным характеристиками, что позволяет применять систему технического зрения не только в ночное время, но и при дневном свете.

Как развитие оптической части системы технического зрения предлагается переход к лазерному целеуказанию на длине волны 1550 нм (см. рис. 5), что в перспективе позволит увеличить дальность и точность распознавания координат по видеопотоку.

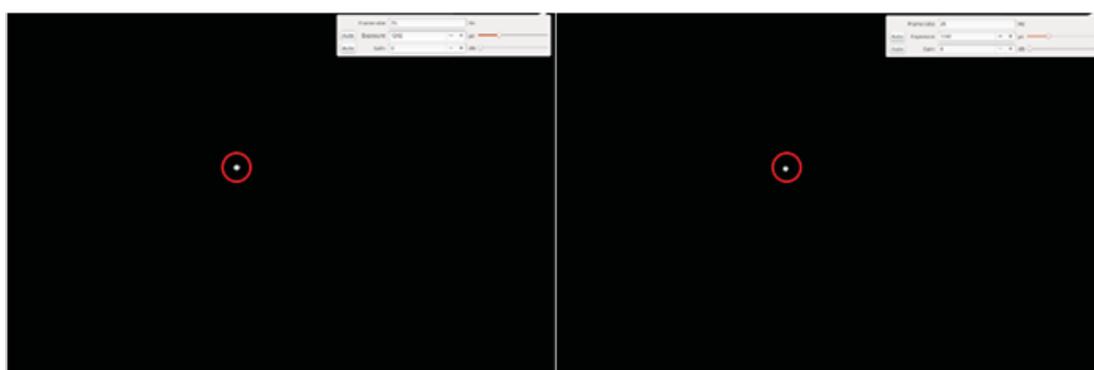


а)

б)

а) Экспозиция 2668, усиление 41, б) Экспозиция 20, усиление 0

Рис. 4. Изображение без фильтров при разных параметрах экспозиции и усиления



а)

б)

а) фильтр Sample, экспозиция 1242, усиление 0, б) фильтр Vi850, экспозиция 1242, усиление 0

Рис. 5. Изображение с фильтрами при одинаковых параметрах экспозиции и усиления



а)

б)

а) Без фильтра, б) Фильтр.

Рис. 6. Изображение днем с SWIR камеры ОРИОН SVU0000:

Программные фильтры

Исходя из результатов эксперимента физические фильтры хорошо справляются с задачей обрезания спектра, но из-за наличия дополнительных дефектов матрицы, наличия бликов и неоднородностей покрытий на кадре имеются лишние объекты и дополнительный шум, которые мешают распознаванию

контрастных точек. Как следствие необходима программная обработка полученного изображения. Цветовой диапазон контрастной точки известен заранее, а остальные необходимо удалить или сгладить. В итоге получается изображение в черно-белой гамме (рис. 7), где красным кругом отмечена интересующая нас точка, а синим – помехи.

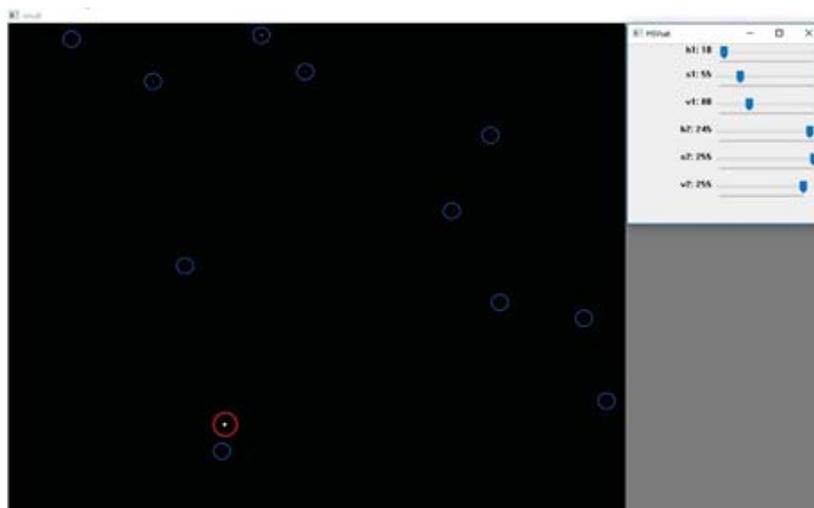


Рис. 7. Отфильтровано изображение по цветовому признаку

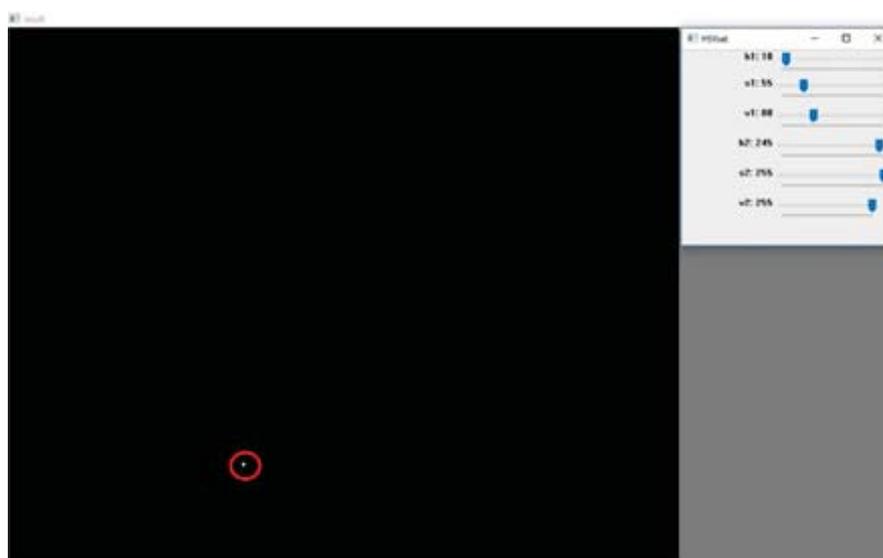


Рис. 8. Пример работы фильтра Гаусса



а) До фильтрации, б) После фильтрации

Рис. 9. Комбинированная обработка видеокadra физическим и программным фильтрами

При сглаживании изображений используют апертуру – это прямоугольный либо квадратный участок изображения, на котором определяется функция (2). Заданная функция в апертуре называется весовой, или функцией окна, а сама апертура вместе с этой функцией называется маской изображения.

Существует достаточно много методов для сглаживания изображений, отличающихся своими параметрами и выходными результатами: линейный, Гаусса, нелинейный, медианный, ранжирующий, адаптированный, комбинированный, гибридный. Исходя из поставленной задачи выбран фильтр Гаусс. Благодаря данному фильтру можно уменьшить с расстоянием влияние пикселей друг на друга и размыть шум, подвывая содержательные контуры изображения размытию в малой степени. К примеру, если на исходном изображении нужно размыть мелкие детали, которые не требуют отделения от фона, а интересующие нас крупные объекты будем выделять в дальнейшем с помощью бинаризации (рис. 8).

Применение комбинированной обработки видеокадра физическими и программными фильтрами помогли избавиться от большинства шумов, мешающих распознаванию контрастных точек (рис. 9).

В ходе исследования был разработан узкополосный просветляющий фильтр на длину волны 850 нм с полушириной $\Delta 0,5$ не более 30 нм, которая меньше, чем у аналога Vi850 от компании MidOpt, а также ходе эксперимента было выявлено, что более четкая картинка получается у разработанного фильтра. Программные фильтры позволили избавиться от лишних объектов и дополнительного шума, от которых невозможно исключить только физическими фильтрами.

Список литературы

1. **Кольцов П.П.** Оценка размытия изображения / П.П. Кольцов // Компьютерная оптика. – Т. 35, вып. 1. – Самара: СГАУ. – 2011. – С. 95–96.
2. **Бондина Н.Н.** Сравнительный анализ алгоритмов фильтрации / Н.Н. Бондина, А.С. Калмычков, В.Э. Кривенцов // Информатика и моделирование. – Вып. 38. – Харьков: НТУ ХПИ. – 2012. – С. 15–19.
3. **Дружинин Е.А.** Обработка и распознавание изображений в системах автоматизированного проектирования / Е.А. Дружинин, О.К. Погудина, И.Н. Бабак [и др.]. – Харьков: ХАИ, 2011. – С. 8–9.