Системы оптической локации для обнаружения и сопровождения малых БВС



Предпосылки

- 1. <u>Правилам государственного учета БВС</u>, утвержденным <u>постановлением</u> <u>Правительства Российской Федерации от 25.05.2019 № 658</u> подлежат беспилотные гражданские воздушные суда с максимальной взлетной массой от 0,15 килограмма до 30 килограммов.
- 2. Бесконтрольное производство малых БВС внутри страны (для нужд СВО и не только), значительное снижение порога вхождения в разработку и производство подобных изделий
- 3. Применение БВС большого радиуса действия для нанесения ущерба объектам промышленной, военной и жилой инфраструктуры



Оптическая локация

Безрадарные методы (на базе камер) открывают новые возможности для обнаружения и классификации объектов в воздухе и привлекают пассивностью (скрытностью) работы, размерами, стоимостью, возможностью массового производства и развертывания. В контексте задачи обнаружения малых БВС в городских условиях, оптические методы являются незаменимыми, в силу неэффективности применения исключительно радарного либо пеленгационного подхода.



Какие безрадарные методы сегодня доступны?

- Камеры видимого диапазона
- Тепловизионные камеры
- SWIR-камеры
- LWIR-камеры
- Сверхконтрастные камеры



Преимущества безрадарных методов

- Пассивность (скрытность) работы
- Стоимость, кост-эффективность
- Возможность массового производства
- Возможность быстрого развертывания в условиях городской застройки
- Возможность самой работы в условиях городской застройки
- Высокая точность определения положения целей



Проблемы современных решений

Главными ограничениями, в которые упираются существующие решения, являются вовсе не только недостаточные характеристики применяемых оптических сенсоров



Проблемы современных решений

- Крайне низкая степень автоматизации обработки данных, получаемых от сенсоров: во многих случаях результативность их применения упирается на практике в навыки, в опыт, и, в первую очередь, в физические ограничения работоспособности человека-оператора, ведущего наблюдение в "полуавтоматическом" режиме
- Неразвитые или полностью отсутствующие возможности работы комплексов обнаружения БВС в группе (даже в рамках одного объекта)
- Слабые интеграционные возможности для передачи целеуказания средствам поражения воздушных объектов



О детекторах

Большинство видео с "обнаружением" и "трекингом" БВС, доступных в сети Интернет, сняты с поворотных устройств, на которых установлены камеры с крайнем узким полем зрения (оптическим увеличением большой кратности).

Выражаясь образно, по сути ведется наблюдение "в телескоп", в который прекрасно виден объект размером 30-50 пикселей - после чего на полученном кадре отрабатывает детектор, откуда и получается красивое маркетинговое видео

Но это решает лишь задачу сопровождения уже обнаруженного ранее объекта



О детекторах

- Большинство подобных видео сняты в идеальных условиях
 - Дневное время суток
 - Высокая прозрачность атмосферы, отсутствие осадков
 - Небольшие расстояние до наблюдаемого объекта
 - Наличие первоначального целеуказания



Про детекторы

Таким образом, детекция и классификация объектов размером 30+ пикселей на кадре – не то же самое, что выполнение задачи обнаружения

См. Видео



Как наводится поворотное устройство?

- Первоначальное целеуказание от радара
 - Сложность работы в условиях городской застройки
 - Сложность работы в условиях множественных ложных целей
- Первоначальное целеуказание от пеленгатора
 - Низкая точность целеуказания
 - Невозможность обнаружения целей, летящих в режиме "тишины"
- Большое количество камер очень высокого разрешения
 - Всё ещё недостаточное качество изображения
 - Сложность работы в сумерки
 - Невозможность работы ночью



Пути решения и направления работы

- 1. Новый и уникальный тип сенсоров сверхконтрастная камера
- 2. Применение методов машинного обучения для полной автоматизации обработки информации с сенсоров
- 3. Обеспечение масштабируемости через объединение станция оптической локации в сеть



Цели и задачи системы

- Полностью автоматизированное обнаружение дозвуковых средств воздушного нападения в условиях городской застройки, в том числе малых БВС, их сопровождение (трекинг) и своевременная передача целеуказания средствам поражения
- Обеспечение получения максимально полной ситуационной осведомленности о воздушной обстановке как в рамках зоны ответственности отдельного комплекса, так и агрегированной осведомленности в рамках всего региона



Принципиальные отличия подхода

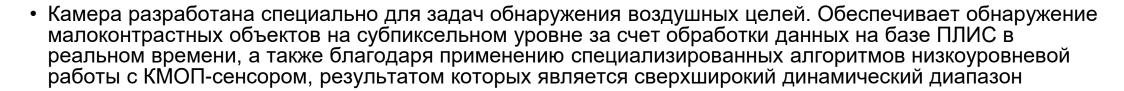
- Сетецентричность и неограниченная горизонтальная масштабируемость
- Уникальный тип сенсора собственной разработки сверхконтрастная камера
- Машинное обучение
 - Конвеер обучения
 - SOTA детекции и трекинга объектов предельно малого размера



Сверхконтрастная камера

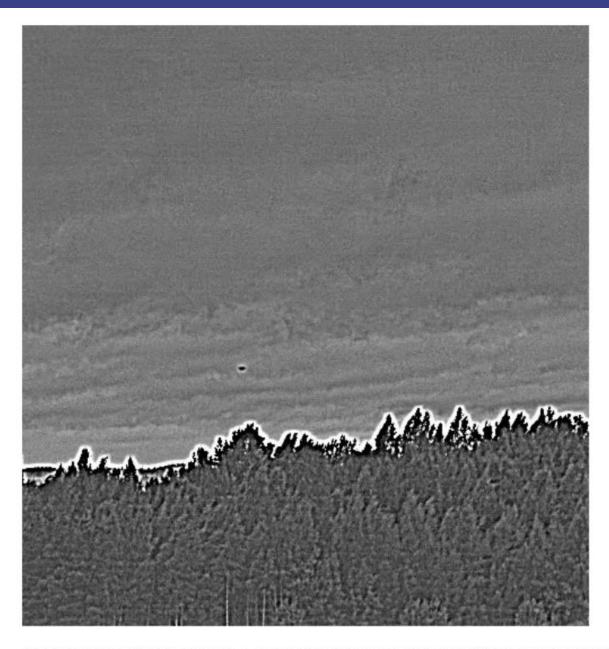
Данная камера предназначена для наблюдения за малоконтрастными объектами, такими как:

- ✓ Спутники;
- ✓ самолеты;
- **√** БПЛА;
- ✓ Крылатые и противокорабельные ракеты;
- ✓ Боевые блоки баллистических ракет.









Изображение 3: наблюдение в сверхконтрастную камеру БВС мультикоптерного типа





Изображение 2: наблюдение в сверхконтрастную камеру БВС СТ «Орлан-10» на расстоянии несколько километров



SOTA детекции и трекинга объектов предельно малого размера

Широкоспектральные сверхконтрастные камеры, используемые системой оптической локации в сканирующем/обзорном режиме, могут выделять объекты субпиксельного размера.

Работа с сериями кадров и обучение в реальном времени позволяют дифференцировать от фона объекты размером 2-3 пикселя, даже с учетом шума.





Изображение 1: наблюдение в сверхконтрастную камеру БВС СТ «Орлан-10» на расстоянии несколько километров, обнаруженного детектором и взятого на сопровождение системой трекинга (кадр увеличен для демонстрации пикселей)



Другие типы сенсоров

Специализированная тепловизионная камера собственной разработки с разрешением 1280x1024 пикселей

Камера поддерживает обработку изображения с применением специализированных алгоритмов в реальном времени на базе ПЛИС.

Также нами разрабатываются и производятся LWIR- и SWIR-камеры. На данный момент исследуется целесообразность применения этих типов сенсоров в рамках комплекса оптической локации.



Примеры развиваемых оптико-электронных модулей на базе собственных сенсоров



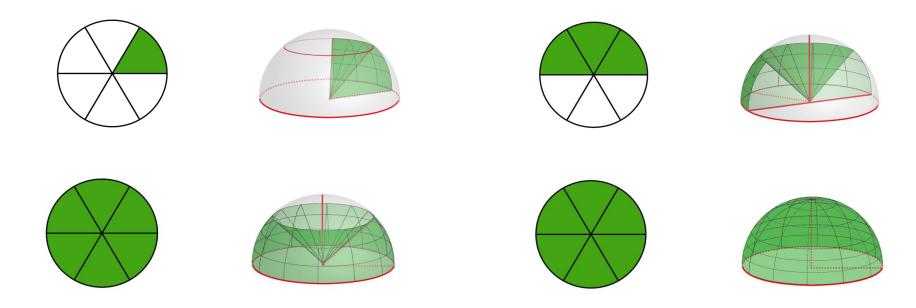
Комбинированный модуль с двумя каналами на поворотной базе и неподвижной системой кругового обзора из 10 камер



Модуль кругового обзора и использованием 8 камер

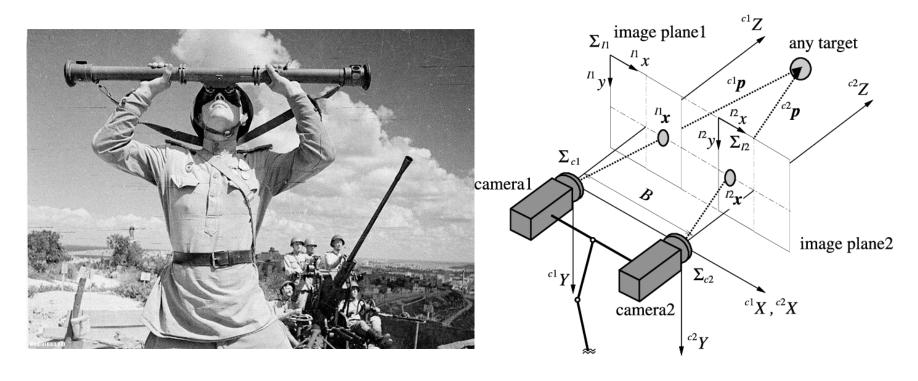


Используя набор из нескольких камер можно расширить сектор наблюдения системы

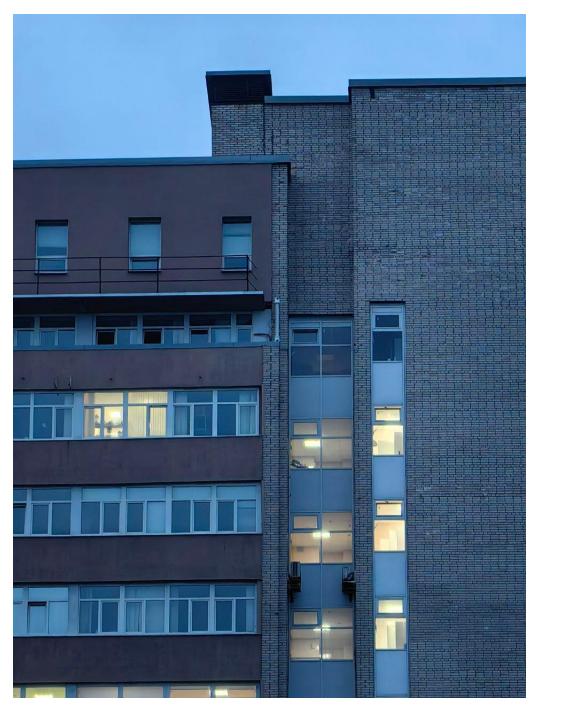




Стереоскопическая локация













Архитектура системы оптической локации

Успешность функционирования любого подобного комплекса в реальных условиях зависит в первую очередь от трех неразрывно связанных между собой факторов:

- 1. Определения реальных требований к комплексу, необходимых для решения задачи (например, типы обнаруживаемых объектов, необходимая дальность работы, климатические условия эксплуатации)
- 2. Правильного выбора конкретных физических сенсоров, режимов их работы, механизмов наведения и т.д.
- 3. Качества реализации алгоритмов автоматизированной обработки данных с этих сенсоров



Декомпозиция

В комплекс изначально закладывается гибкость через модульность: комплекс является системой, объединяющей несколько оптико-электронных модулей (ОЭМ), данные с которых стекаются в локальный пул вычислительных мощностей.

В зависимости от особенностей объекта и требований, могут быть выбраны разные ОЭМ, а также установлен разный объем вычислительных мощностей. Более того, система является динамически конфигурируемой: на объектах, где она уже развернута, в любой момент могут быть установлены дополнительные ОЭМ и увеличено количество серверов обработки данных.



Декомпозиция

- Сенсор
 - Сенсор любой оптический сенсор, опционально корпусированный. Например, отдельно взятая СК, тепловизионная, SWIR-или LWIR-камера.

• ОЭМ (оптико-электронный модуль)

- ОЭМ объединяет один или нескольких сенсоров в единое физическое устройство в корпусе (корпусах), предназначенное для подключения к системе оптической локации. ОЭМ опционально могут включать в себя поворотные платформы, кронштейны, коммутационное оборудование для связи разнесенных синхронизированных каналов и др.
- СОЛ (система оптической локации)
 - СОЛ включает в себя один или несколько ОЭМ и пул вычислительных мощностей. Также система включает в себя модули управления, терминал оператора, модули интеграции со сторонними системами. Система оптической локации и является «комплексом» контроля за воздушным пространством объекта.
- РСОЛ (геораспределенная сеть оптической локации)
 - РСОЛ является объединением множества независимых СОЛ в децентрализованную сеть обмена данными целеуказания.



Система оптической локации (СОЛ) Оптико-электронный модуль (ОЭМ) Сенсор Локальный вычислительный кластер

Схема 1: наглядная визуализация состава системы оптической локации



Геораспределенная сеть оптической локакации

