

Современные технические средства пассивной оптической локации

Евгений Старовойтов (Москва)

Предлагаемый обзор посвящён пассивной оптической локации, широко используемой в различных областях техники. Кратко описаны современные разработки в этой области, методы, позволяющие производить измерения дальности и скорости в пассивном режиме, а также направления совершенствования пассивных оптико-локационных систем.

Пассивные оптико-локационные системы широко применяются в специальной технике, используются для обнаружения искусственных объектов в воздушном и космическом пространстве, для борьбы со стихийными бедствиями, в техническом зрении роботов и т.д.

Пассивные системы можно подразделить на системы, работающие в видимой, инфракрасной (ИК) и ультрафиолетовой (УФ) областях оптического излучения, а также многоспектральные системы. Системы видимого диапазона конструктивно просты и недороги. К этому классу относятся телевизионные и видеосистемы. Их работоспособность зависит от светотехнической обстановки.

В качестве приёмников видимого диапазона обычно используются приборы с зарядовой связью (ПЗС). Последние годы конкуренцию им составляют приёмники на КМОП-датчиках. Расширенный набор функций на одном кристалле и меньшее энергопотребление – основные преимущества технологии КМОП по сравнению с ПЗС. Недостатками являются меньшая чувствительность и больший уровень шума. Но уже сейчас системы с КМОП-приёмниками обладают потенциалом, позволяющим им в перспективе стать основными информационными средствами в видимом диапазоне [1].

Системы для обнаружения удалённых объектов и определения направ-

ления на них по излучению в ИК-диапазоне называются тепловизионными и представляют собой обзорные системы, не предназначенные для визуализации изображения объекта. В настоящее время в тепловизионных системах широко применяются многоэлементные приёмники излучения с электронным сканированием и пространственной выборкой изображений, что позволяет отказаться от оптико-механического сканирования [2].

Наиболее сложным на практике является обнаружение объекта тепловизионным приёмником в условиях большой фоновой засветки, существенно превышающей величину полезного сигнала. Специальные методы обработки информации, полученной матричным приёмником (выравнивание чувствительности и усиления по пикселям, вычитание среднего уровня фона и т.д.), позволяют выделить полезный сигнал, мощность которого составляет 1% от мощности излучения фона [3].

В 1990-е годы были разработаны неохлаждаемые приёмники ИК-диапазона на основе микроболометрических матриц. Они обладают меньшей чувствительностью и большей инерционностью, но не требуют устройств охлаждения, имеющих ограниченный срок эксплуатации и ухудшающих массогабаритные характеристики системы. Кроме того, микроболометрические матрицы совместимы со схемами считывания, выполняемыми на основе кремниевых технологий [2].

В последнее время возрос интерес к использованию УФ-диапазона в пассивной оптической локации. Солнечное излучение в диапазоне волн менее 0,3 мкм практически полностью экранируется озоновым слоем атмосферы на высоте около 20 км. Излучение с длиной волны менее 0,25 мкм уже сильно поглощается атмосферным кислородом. Таким обра-

зом, диапазон 0,25...0,30 мкм оказывается достаточно прозрачным и лишённым естественного солнечного фона, что создаёт благоприятные условия для работы локаторов.

В настоящее время для регистрации УФ-излучения в основном используются вакуумные приборы – фотоэлементы и фотоумножители, применение которых ограничено высокой стоимостью и недостаточной надёжностью. Полупроводниковые приёмники на основе кремния, сульфидов цинка и кадмия, селенида цинка также не решают всех задач локации.

Уникальные свойства природного алмаза позволяют создать на его основе приёмники УФ-диапазона с минимальным уровнем собственных шумов, повышенной температурной и радиационной стойкостью [4]. Стоимость подобных приёмников не должна превосходить цену вакуумных приборов при большей технологичности изготовления и надёжности.

Системы УФ-диапазона могут использоваться для обнаружения очагов возгорания, взрывов и гиперзвуковых летательных аппаратов (ЛА).

На близких дистанциях для проведения измерений дальности до объекта могут использоваться системы видимого диапазона, позволяющие получить двумерное изображение объекта. Максимальная дальность в данном случае ограничивается компромиссом между разрешением и полем зрения телекамеры, а также размерами объекта и возможностями его различения.

Широко используемый в пассивных системах угломерный способ измерения расстояния основан на известном размере объекта или его части, т.е. для определения дальности необходимо знать линейные размеры объекта (см. рис. 1). Если же известно расстояние до объекта, то можно определить его линейные размеры. Недостатком данного способа является то, что невозможно проводить локацию объектов, о которых отсутствует предварительная информация.

Для определения расстояния давно используются стереосистемы из двух телекамер, разнесённых между собой на некоторое базовое расстояние b

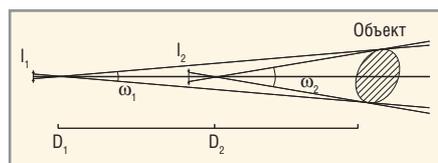


Рис. 1. Угломерный способ измерения расстояния

l_1, l_2 – линейные размеры изображения объекта на приёмнике при наблюдении объекта на дальностях D_1, D_2 ; w_1, w_2 – видимые угловые размеры объекта

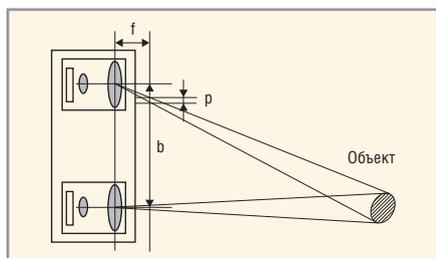


Рис. 2. Схема измерений с помощью стереосистемы из двух телекамер

f – фокусное расстояние объективов;

p – линейный параллакс

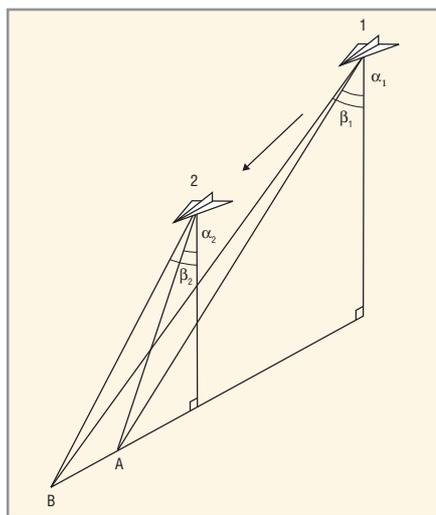


Рис. 3. Схема видеоизмерений при автоматической посадке летательного аппарата

A, B – характерные точки поверхности; $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$ – углы наблюдения этих точек при перемещении носителя из положения 1 в положение 2

(см. рис. 2). Параллакс характеризует взаимное смещение изображений одних и тех же точек объекта в каналах стереосистемы, позволяющее определить дистанцию до объекта.

На практике использование одной телекамеры может быть предпочтительнее, поскольку измерение больших расстояний стереосистемой требует увеличения b и f , а малых расстояний – их уменьшения. За счёт последовательного формирования изображений одной телекамерой и их последующей совместной обработки можно обеспечить измерение дальности при неизвестных линейных размерах объекта. Таким же образом можно определить линейные размеры объекта при неизвестном расстоянии до него.

С помощью видеоинформации может производиться автоматическая посадка ЛА [5], при этом используется стереоэффект, возникающий во время движения камеры переднего обзора (см. рис. 3). В кадрах видеопотока система находит характерные точки

и далее отслеживает их перемещение, по характеру которого определяется положение точек в трёхмерном пространстве, а также изменение положения и ориентации самой камеры. В результате система восстанавливает трёхмерную поверхность Земли, распознаёт зону взлётно-посадочной полосы (ВПП), определяет вертикальную и горизонтальную скорость движения ЛА, а также крен и тангаж. Оператору достаточно указать ось ВПП, чтобы система смогла посадить ЛА. Принцип стереоизмерений иллюстрирует рисунок 3.

Измерение расстояния до объекта можно осуществить на основе эффекта расфокусирования его изображения на приёмнике [6]. Как известно, объектив проецирует чёткое изображение лишь для тех объектов, которые располагаются в пределах диапазона резкости. Способ определения дистанции заключается в том, что из одной точки делается серия кадров с разным фокусным расстоянием, а после находится кадр, на котором объект становится резким.

Необходимыми условиями для получения приемлемой точности являются малое значение диафрагмы и малое изменение фокусного расстояния между последовательными кадрами. Использование данного способа снижает требования к освещённости; измерения проводятся из одной точки, без изменения ракурса; отсутствует необходимость сопоставления образов; однако требуется высококачественный объектив. Кроме того, имеются проблемы с определением расстояния до ровных неконтрастных поверхностей. Преимущества способа заключаются в том, что не требуются априорные сведения о параметрах объекта.

Определение скорости движения отдельных (выделенных) объектов возможно на основе специальных алгоритмов обработки информации, поступающей с телевизионной системы. Эта информация содержит данные об изменении положения в пространстве объектов, находящихся в поле зрения телекамер. Такой принцип предлагается использовать в телевизионной системе, предназначенной для определения скоростных характеристик отдельных транспортных средств, движущихся в общем потоке [7].

При наблюдении из одной точки надёжное измерение скорости объекта по его изображению возможно только при априорно известном расстоянии

до него. Таким образом, проводятся измерения либо параметров движения на предварительно калиброванном расстоянии, либо расстояния по предмету в поле зрения с известными геометрическими размерами.

Алгоритм обработки изображений включает следующие операции:

- коррекцию цветовой гаммы, яркости и контраста для оптимального выделения интересующего объекта;
- фильтрацию изображения для подавления фона и помех;
- выделение движущихся объектов;
- сегментацию объектов (выделение на изображении связанных изображений повышенной яркости);
- определение координат центров тяжести объектов и их характерных размеров;
- выделение интересующего объекта из группы с помощью наложения строка на изображение;
- определение дальности до объекта и его размеров;
- вычисление текущих координат центра тяжести объекта и их изменения во времени по смещению в плоскости изображения телекамеры и изменению его размеров;
- вычисление всех составляющих скорости объекта по изменению координат центра тяжести изображения и изменению его масштаба.

Существуют алгоритмы и программы для всех этапов обработки телевизионного изображения, позволяющие рассчитать скорость движения объекта при различном направлении его движения. Для измерения параметров движущегося объекта может быть использован характерный для КМОП-датчиков эффект динамических искажений за время одного кадра [8]. Эффект обусловлен особенностями работы электронного затвора приёмников излучения на базе КМОП-технологии. Накопление строк в таком датчике происходит не синхронно, а со смещением во времени («бегающий» затвор).

Суть эффекта состоит в том, что движущиеся объекты на изображении получаются искажёнными: вертикальные линии становятся наклонными, особенно при использовании длительных выдержек. Вид геометрических искажений зависит от взаимной ориентации в пространстве направления движения наблюдаемого объекта и направлений горизонтальной и вертикальной развёртки КМОП-датчика, а их величина – от скорости движения

объекта, формата и тактовой частоты камеры.

Для анализа параметров движения объекта применимы следующие методы:

- апостериорный анализ изображения программными средствами с учётом математических моделей искажений динамических сюжетов;
- построение измерительных видеосистем с использованием КМОП-приёмников высокого разрешения, учитывающих в процессе формирования изображения особенности передачи динамических сюжетов, что позволяет точнее анализировать изображение.

Одной из главных проблем пассивных оптико-локационных систем является распознавание объекта при наличии помех. Использование нескольких спектральных диапазонов (каналов) значительно повышает помехозащищённость и вероятность обнаружения объекта в сложных условиях. Необходимо отметить, что для обнаружения объекта оптимальным может являться один канал, а для его идентификации – другой [9]. Использование большого количества каналов в системе потребует увеличения вычислительных мощностей

из-за большого объёма поступающей информации.

В перспективе основным направлением развития пассивных оптико-локационных систем остаётся увеличение количества рабочих каналов, переход на более совершенную элементную базу и увеличение производительности вычислительной обработки поступающей информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Манцевтов А.А., Цыцулин А.К. Телекамеры на КМОП-фотоприёмниках. Вопросы радиоэлектроники, Серия Техника телевидения. 2006. Вып. 2. С. 70–89.
2. Тарасов В.В., Якушенко Ю.Г. Инфракрасные системы «смотрящего» типа. Логос, 2004.
3. Червошкин А.П. Оптическая система многоспектральной моноапертурной оптико-локационной станции самолёта с динамической стабилизацией осей функциональных каналов: Автореф. канд. дисс. Москва, 2006.
4. Фещенко В.С., Алтухов А.А., Митягин А.Ю., Талитов Н.Х., Шепелев В.А. Матричный фотоприёмник для регистрации изображений в ультрафиолетовой области спектра. Датчики и системы. 2010. № 1. С. 50–54.

5. Семёнов А.Е., Крюков Е.В., Рыкованов Д.П., Семёнов Д.А. Практическое применение технологий компьютерного зрения в решении задач распознавания, восстановления 3D, сшивки карт, точного целеуказания, счисления пути и навигации. Известия Южного федерального университета, Технические науки. 2010. Т. 104. № 3. С. 92–102.
6. Яшунский В.Д. Разработка системы технического зрения на основе расфокусирования объектов на изображении. Известия Южного федерального университета, Технические науки. 2008. Т. 89. № 12. С. 221–224.
7. Макарецкий Е., Овчинников А., Нгуен Л.Х. Телевизионные измерительные системы контроля скоростного режима дорожного движения. Компоненты и технологии. 2007. № 4. С. 34–37.
8. Рычажников А.Е. Методы измерения скоростей движущихся объектов с помощью цифровых видеосистем на основе КМОП-технологии. Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символической информации. Сб. материалов. VIII Межд. конф. Ч. 2, Курск, 2008. С. 86–87.
9. Тарасов В.В., Якушенко Ю.Г. Двух- и многодиапазонные оптико-электронные системы с матричными приёмниками излучения. Логос, 2007.

