УДК 621.397.4

Н.И. Мищенко

Трехмерные активно-импульсные системы наблюдения и измерения параметров объектов

Рассмотрены принципы действия и устройства трехмерных систем наблюдения, обнаружения и определения параметров объектов. Выполнены анализ и сравнительная оценка характеристик систем. Предложены устройства, режимы работы трехмерных телевизионно-вычислительных систем и методы повышения их эффективности.

Ключевые слова: телевизионная система, изображение, наблюдение, распознавание, точность, дальность.

doi: 10.21293/1818-0442-2017-20-3-119-123

Исследование и разработка методов и средств повышения эффективности трехмерных систем наблюдения, определения параметров и распознавания объектов являются одной из актуальных задач и проблемой мониторинга, контроля и обеспечения безопасности объектов в различных условиях окружающей среды. Применяемые в настоящее время двухмерные и трехмерные системы и комплексы работают по различным принципам действия, методам и средствам приема, формирования и обработки сигналов и видеoinформации. Они создаются на основе звуковых и радиолокационных радаров, лазерных лидаров, оптико-электронных, тепловизионных, инфракрасных, телевизионных систем и других аппаратно-программных устройств, работающих в различных диапазонах волн.

Многофункциональные системы и комплексы наблюдения и измерения параметров объектов могут обнаруживать, классифицировать, распознавать, идентифицировать, определять координаты, скорость, траекторию движения, размеры, форму, яркость и другие информативные параметры объектов интереса. Основными параметрами объектов, которые определяют трехмерные системы, являются координаты по азимуту, углу места и по дальности или глубине видимости.

Измерение параметров изображений объектов, формирование видеоданных и команд управления могут выполняться как в нормальных, так и в сложных условиях видимости, в широком диапазоне изменения освещенности поля зрения систем, прозрачности среды распространения и рассеяния излучения, при воздействии естественных и искусственных световых помех и в других неблагоприятных воздушных, наземных и надводных условиях окружающей среды.

Трехмерные системы обзора, обнаружения, определения параметров и распознавания объектов могут использоваться в автоматизированных контрольно-измерительных устройствах, в роботизированных системах машинного зрения и технического зрения, в дистанционно или автономно управляемых мобильных устройствах, в комплексах видеонаблюдения, контроля, охраны и других средствах формирования и обработки видеoinформации, видеоданных и команд управления объектами [1].

Принципы действия трехмерных систем

Трехмерные активные комплексы могут быть созданы на основе двухканальных систем с разнесенными на некоторое расстояние излучателями и приемниками отраженных от объектов излучений, работающих по принципу триангуляции. Для измерения координат и других параметров объектов излучатели, приемники и объекты наблюдения, находящиеся в поле зрения системы, устанавливаются таким образом, чтобы они образовали треугольник. По изображениям объектов, полученных на многоэлементном светочувствительном преобразователе приемника, можно определить направление отраженного от объекта сигнала излучения, угол между излученным зондирующим и принятым сигналом и по известной базе между излучателями или приемниками и углу триангуляции измерить дальность до объекта. Принцип триангуляции может быть реализован и с помощью сканирования поля зрения системы узконаправленным зондирующим лучом и приема многоэлементным преобразователем отраженных от объектов сигналов излучения, по которым можно не только определять координаты и другие параметры объектов, но и формировать их трехмерные изображения.

Метод определения расстояния между активной одноканальной системой и объектом сводится к измерению интервала времени между зондирующим и отраженным от объекта сигналом излучения. В радиолокационных радарных системах используются методы определения расстояний по времени задержки отраженных от объектов импульсных или непрерывных модулированных сигналов относительно зондирующих сигналов излучения. По известному интервалу времени задержки и скорости распространения сигналов излучения может определяться дальность и другие параметры объектов интереса.

Чем короче длина волны излучения и больше размер антенн радаров, тем выше разрешающая способность, точность измерения информативных параметров, достоверность обнаружения, распознавания и идентификации наблюдаемых объектов. Высокую точность определения координат по азимуту, углу места и дальности можно получить при использовании в радарных системах коротковолновых сантиметровых или миллиметровых волн и приме-

нения многоэлементных активных фазированных антенных решеток (АФАР), состоящих из синхронизированных многоканальных излучающих элементов и приемопередающих модулей.

В комплексах, созданных на основе лидаров, оптико-электронных, телевизионных и других активно-импульсных одноканальных систем, применяется импульсный метод измерения расстояний и параметров наблюдаемых объектов. Принцип определения расстояний основан на подсветке объектов, находящихся в поле зрения системы, импульсами лазерных излучателей малой длительности, стробировании, приеме отраженных от объектов сигналов и измерении времени их задержки относительно излучаемых импульсов.

Устройства телевизионных систем

Телевизионные активно-импульсные системы, созданные на основе лазерных излучателей и многоэлементных оптико-электронных светочувствительных приемников сигналов, работают по сравнению с радиолокационными системами в более коротковолновом инфракрасном и видимом диапазонах волн, что позволяет определять параметры изображений объектов с повышенной разрешающей способностью и точностью. Трехмерные телевизионные системы и комплексы должны быть мобильными, позволяющими обеспечить видеонаблюдение, мониторинг, контроль и безопасность как малоразмерных, так и протяженных объектов. Наиболее эффективно трехмерные активно-импульсные телевизионно-вычислительные (ТАИТВ) системы могут использоваться в малогабаритных дистанционно управляемых или беспилотных летательных аппаратах и других мобильных наземных или надводных устройствах, предназначенных для обнаружения, распознавания, определения параметров объектов и наблюдения за состоянием больших площадей и территорий земной или водной поверхности.

Применяемый в ТАИТВ-системах одноканальный принцип действия может быть реализован меньшими по габаритам, массе и стоимости средствами по сравнению с двухканальными устройствами. В стандартных телевизионных системах видеонаблюдения объектов в качестве приемников и преобразователей сигналов и изображений применяются многоэлементные матрицы на основе приборов с зарядовой связью (ПЗС). Низкая частота формирования и последовательного считывания сигналов элементов ПЗС-матриц ограничивает быстродействие и другие характеристики ТАИТВ-систем. Более эффективным является построение систем на основе преобразователей с произвольным доступом к элементам комплиментарных металл-оксид полупроводниковых (КМОП) матриц, в которых формирование, выборка, считывание, обработка сигналов и изображений объектов выполняется с повышенной по сравнению с ПЗС-матрицами частотой [2].

Для повышения быстродействия, достоверности распознавания, точности измерения параметров в режимах обнаружения и анализа объектов можно

применить методы формирования программно-управляемых масштабируемых окон сканирования или адаптивных разверток, размеры и скорость сканирования которых зависят от параметров наблюдаемых объектов. Такие методы формирования сигналов и изображений могут использоваться в КМОП-преобразователях, в которых заряды элементов не переносятся, как в ПЗС-матрице, а усиливаются КМОП-транзисторами, преобразуются в цифровую форму и считываются программно-управляемыми электронными затворами элементов матрицы. Важным преимуществом ТАИТВ-систем на основе КМОП-матриц являются более низкие по сравнению с ПЗС-матрицами напряжения питания, потребляемая мощность, возможность считывания произвольного фрагмента изображения и обработки видеоинформации непосредственно в процессе ее формирования. Возможность реализации функций накопления, считывания, квантования и обработки видеосигнала на одном кристалле с непосредственным выходом на быстродействующие процессорные средства обработки видеоинформации позволяет повысить эффективность ТАИТВ-систем, применяемых в малоразмерных мобильных устройствах.

Для обзора и обнаружения объектов излучатель импульсов подсветки формирует двухмерную зону, совпадающую с полем зрения приемника ТАИТВ-системы. Сигналы излучения, отраженные от объектов, поступают через входной объектив приемника на фотокатод электронно-оптического преобразователя (ЭОП), усиливающего яркость изображения поля зрения. Изображения объектов, полученные на экране ЭОП, переносятся через согласующий объектив на светочувствительные элементы матрицы видеокамеры, обрабатываются телевизионно-вычислительными средствами, и отображаются на мониторе дистанционного пульта наблюдения и управления системой. Временная селекция и стробирование отраженных от объектов сигналов выполняются ЭОП, снабженным электронным затвором, открывающимся синхронно с импульсами излучения подсветки объектов. Затвор открывается на время, равное длительности импульсов стробирования, и с задержкой, соответствующей дальности до наблюдаемого объекта и окружающей его зоны видимости.

Режимы работы телевизионных систем

В малогабаритных контрольно-измерительных приборах, системах машинного зрения, роботизированных комплексах на основе лидаров и других устройствах, работающих в нормальных уровнях освещенности объектов и окружающей среды, могут применяться ТАИТВ-системы на основе стробируемых ПЗС или КМОП-преобразователей. Быстродействующий глобальный электронный затвор ПЗС или КМОП-матриц открывается на время длительности импульсов стробирования сигналов излучения отраженных от объектов. Формирование, считывание, обработка сигналов, изображений и видеоинформации, полученные из сканирующей по дальности зо-

ны наблюдения, выполняются в реальном режиме времени работы устройств. В сложных условиях окружающей среды применяются ТАИТВ-системы с приемниками сигналов на основе стробируемых ЭОП с микроканальными пластинами, которые позволяют увеличивать до 20 000–50 000 раз количество электронов, поступивших с фотокатода на экран, и повысить яркость изображения объектов и поля зрения системы на экране преобразователя.

Глубина зоны наблюдения определяется длительностью импульсов стробирования затвора ЭОП, а дальность до объекта – величиной задержки импульсов стробирования относительно импульсов излучателя подсветки. С уменьшением длительности импульсов стробирования повышается точность измерения дальности и других параметров объектов, но уменьшается глубина дальности видимости системы. Для увеличения глубины дальности видимости ТАИТВ-системы может применяться автоматическое или программно-управляемое изменение задержки импульсов стробирования и сканирование зоны наблюдения по дальности. Положение, размеры, координаты трехмерных рабочих зон сканирования по полю зрения и по дальности могут изменяться аппаратно-программными средствами управления режимами работы системы..

В автоматическом режиме управления выполняется периодическое сканирование зоны видимости от минимальной до максимальной дальности действия системы. Время обзора и обнаружения объекта зависит от дальности действия системы, числа, размеров и периода сканирования зон по дальности. В реальных условиях при низкой прозрачности окружающей среды, мощности излучения лазерной подсветки объектов до 200 мВт и максимальной частоте импульсов излучения до 5 кГц дальность действия активно-импульсной телевизионной системы может не превышать 120–200 м [3].

При таких дальностях наблюдения и глубине зоны видимости 30 м число сканируемых по дальности зон, расположенных вплотную или с перекрытием, может превышать 4–5 зон. Если период сканирования зоны и стробирования сигналов равен периоду кадров видеокамер 20 мс, то частота обзора и обнаружения объектов до максимальной дальности видимости может равняться 10 Гц, что ниже частоты, необходимой для визуального контроля и наблюдения объектов. Для повышения частоты обзора можно увеличить частоту сканирования зон и стробирования сигналов пропорционально выбранному числу зон наблюдения по дальности. При числе зон 4–5 и частоте обзора, равной кадровой частоте 50 Гц, минимальная частота излучения, сканирования и стробирования должна превышать 200–250 Гц. Соответственно также необходимо повысить быстродействие приемника сигналов, средств обработки видеoinформации, определения параметров объектов и формирования команд управления. Быстродействие трехмерных систем и устройств, работающих в автономных режимах управления, зависит от вре-

менных затрат, необходимых для обнаружения, анализа и измерения параметров объектов или контролируемых процессов в реальном режиме времени.

В автоматическом режиме управления при появлении объекта в сканируемой по дальности зоне наблюдения производится временная селекция, стробирование и прием сигналов излучения, отраженных от объекта. После обнаружения объекта в зоне наблюдения система переходит в режим формирования окна сканирования и анализа объекта. В режиме анализа может применяться трехмерное высокочастотное сканирование малоразмерных рабочих зон приемника сигналов по полю зрения и по глубине дальности видимости ТАИТВ-системы, позволяющее более точно по сравнению с обнаружением определять координаты и другие параметры объектов. Точность измерения параметров, достоверность распознавания и идентификации объектов в режиме анализа можно увеличить в результате повышения частоты сканирования зон и стробирования сигналов до максимальной частоты излучения импульсов лазерной подсветки объектов [4].

Время нахождения объектов в рабочей зоне ограничено и зависит от скорости движения мобильных объектов относительно подвижной ТАИТВ-системы. Для увеличения времени анализа, определения параметров и достоверности распознавания объектов может применяться режим слежения зон за объектом интереса. Телевизионно-вычислительные средства обработки сигналов могут сравнивать координаты изображения объекта и сканирующих с высокой частотой рабочих зон. Суммирование полученной в цифровой форме ошибки рассогласования между координатами изображений объектов и зон может привести к их совмещению и слежению рабочей зоны за подвижным объектом по полю зрения системы и по дальности. Одновременно со слежением за объектом интереса может применяться режим обзора, видеонаблюдения и контроля объектов, находящихся в двухмерном поле зрения системы.

Контраст наблюдаемых изображений объектов зависит от их положения относительно зон видимости по дальности. Если объект находится в рабочей подсвеченной зоне, то он может формироваться, считываться и наблюдаться в виде светлого позитивного изображения положительного контраста на более темном фоне окружающей среды. Если объект находится на меньшей дальности относительно рабочей зоны, то изображение объекта, подсвеченное обратным рассеянным излучением фона, может наблюдаться в виде темного, негативного изображения отрицательного контраста. Точность определения дальности объекта зависит от ошибки измерения временного положения сигналов и возрастает при увеличении крутизны фронтов и отношения сигналов к шуму. Поэтому для повышения точности измерения дальности объектов необходимо использовать максимальные крутизну фронтов и отношение сигнала к шуму, которые можно получить в результате изменения контрастов позитивных и негатив-

ных изображений объектов при сканировании рабочих зон в режимах обнаружения и анализа объектов.

При повышенных дальностях действия и в сложных условиях наблюдения в приемниках сигналов ТАИТВ-систем необходимо применять ЭОП, повышающий яркость наблюдаемых изображений. Если обзор, обнаружение, анализ и слежение за объектом выполняются в автоматическом реальном режиме времени, то инерционность ЭОП и время свечения его экрана должны соответствовать периоду сканирования зон, стробирования сигналов и регистрации изображений объектов. Если период обзора и обнаружения объектов равен или меньше длительности кадра, то ЭОП и видеокамера могут обеспечить работу ТАИТВ-системы в режиме видеонаблюдения и контроля всех стробируемых по дальности объектов.

Быстродействие и точность измерения параметров объектов зависят от числа элементов разрешения, размеров поля зрения или рабочей зоны приемника сигналов по каждой из определяемых координат. Высокоскоростные КМОП-камеры при разрешении 2560×1920 элементов позволяют считывать видеоинформацию с частотой до 2 000 Гц и при 1280×960 элементах до 7 690 Гц. В режиме анализа и слежения за малоразмерными быстро движущимися объектами при уменьшении поля зрения до 320×240 элементов частота сканирующего раstra развертки может повышаться до 105 800 Гц. Минимальное время экспозиции электронного затвора КМОП-матриц может достигать 150–200 нс [5].

В многофункциональных радарных системах, выполняющих обзор, обнаружение, сопровождение, определение дальности, скорости и других параметров объектов в воздушных, наземных и морских условиях в качестве излучателей зондирующих электромагнитных волн и регистрации их отражений от объектов могут применяться многоэлементные сканирующие АФАР. Управление амплитудно-фазовым распределением волн позволяет изменять форму диаграммы направленности АФАР и также, как и в режиме анализа и слежения за объектами ТАИТВ-систем, выполнять масштабирование и высокоскоростное электронное сканирование узконаправленным лучом области наблюдения вместо механического перемещения антенны.

Разрешающая способность АФАР по угловым координатам и точность определения параметров объектов зависят от числа излучающих элементов и приемопередающих модулей, позволяющих увеличить по сравнению с одиночным излучателем коэффициент направленного действия антенны и сузить луч пропорционально числу элементов и модулей. Размеры АФАР зависят от размеров и числа элементов и модулей. Для большеразмерных воздушных мобильных носителей при размерах элементов 20–30 мм и числе модулей 680–1064 размеры антенн могут равняться 575–688 мм. Многоэлементные антенны с синтезированной апертурой, размещаемые на аэрокосмических носителях, при размерах 250–

350 мм обеспечивают рабочую дальность действия радарных систем 10–15 км [6].

Применение радарных датчиков на основе АФАР в малогабаритных мобильных устройств ограничено по сравнению с лидарными датчиками рядом сложностей: большими габаритными размерами и массой, высоким энергопотреблением, стоимостью и эксплуатационными расходами. Основным преимуществом радарных комплексов является малое поглощение и рассеяние длинноволнового излучения, позволяющее по сравнению с лидарными системами увеличить до 100 раз дальность действия. Поэтому радарные системы, применяемые в средних и большеразмерных беспилотных и пилотируемых воздушных, наземных и надводных мобильных устройствах, могут работать более эффективно в сложных условиях окружающей среды по сравнению с оптико-электронными системами. Преобразователи сигналов ТАИТВ-систем на основе многоэлементных ПЗС и КМОП-матриц могут иметь размеры и массу до 10–20 раз меньше, а разрешающую способность элементов – до 100–500 раз выше по сравнению с радарными преобразователями на основе АФАР, что позволит применять лидарные системы в малогабаритных мобильных устройствах, повысить точность измерения информативных параметров, достоверность распознавания и идентификации объектов интереса.

Полученная на выходе приемников ТАИТВ-систем видеоинформация обрабатывается телевизионно-вычислительными средствами и используется для определения параметров объектов интереса, формирования видеоданных и команд управления режимами работы системы. После измерения координат, скорости, траектории движения и других параметров видеоданные об объектах и окружающей обстановке могут храниться, преобразовываться, в сжатом виде передаваться по сети связи и отображаться на мониторе пункта наблюдения, контроля и дистанционного управления объектами. В автономных программно-управляемых комплексах необходимая для управления объектами видеоинформация и видеоданные могут после преобразования в реальном режиме времени поступать на исполнительные устройства мобильных роботизированных систем, транспортных средств и беспилотных аппаратов [7].

Дистанционно управляемые или автономные комплексные устройства, созданные на основе лидарных и радарных датчиков, могут применяться для круглосуточного, всепогодного наблюдения, газовых и нефтепроводов, акваторий портов, территорий аэродромов, лесных массивов и других потенциально опасных объектов. Разработка и применение ТАИТВ-систем может решить широкий круг задач и проблем повышения эффективности летательных аппаратов, мобильных роботизированных комплексов, автомобилей и других транспортных средств, осуществляющих обзор, обнаружение, определение параметров, распознавание, идентификацию, наблюдение и контроль объектов интереса.

Заключение

Применение автоматического или программно-управляемого режима сканирования зон наблюдения по дальности может при частотах стробирования сигналов и сканирования зон 200–250 Гц в 4–5 раз увеличить глубину дальности видимости ТАИТВ-систем по сравнению с ручным режимом управления.

В режиме видеонаблюдения при частоте обзора, равной частоте кадров видеокамер, может выполняться распознавание, идентификация и визуальный контроль всех объектов, которые находятся в стробируемых по дальности зонах видимости системы.

Для обеспечения работы ТАИТВ-систем в реальном режиме времени необходимы разработка применения быстродействующих датчиков сигналов и средств обработки видеоинформации, которые могут формировать видеоданные и команды управления с частотой сканирования зон видимости по дальности и стробирования отраженных от объектов сигналов излучения.

В режимах обнаружения, анализа, распознавания и идентификации объектов наиболее эффективными являются датчики сигналов ТАИТВ-систем на основе многоэлементных матричных преобразователей, позволяющих формировать малоразмерные, зоны сканирования и слежения за объектами с повышенной частотой формирования и считывания сигналов, изображений и видеоинформации.

Для решения комплексных задач мониторинга и обеспечения безопасности объектов в сложных условиях окружающей среды, повышения помехозащищенности, дальности действия, достоверности обнаружения и распознавания объектов необходима разработка новых двухканальных комбинированных трехмерных систем на основе малоразмерных коротковолновых радарных и лидарных датчиков сигналов и общих быстродействующих, интегрированных средств обработки изображений и видеоинформации. Практическая реализация предлагаемых комбинированных систем может повысить эффективность трехмерных комплексов наблюдения и измерения параметров объектов, применяемых для обеспечения безопасности объектов и жизнедеятельности людей.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-47-700939.

Литература

1. Гейхман И.Л. Видение и безопасность / И.Л. Гейхман, В.Г. Волков – М.: РАЕН, 2009. – 840 с.
2. Мищенко Н.И. Возможные пути улучшения технических характеристик телевизионных измерительных систем // Доклады ТУСУРа. – 2008. – № 2 (18), ч. 2. – С. 40–43.
3. Кирпиченко Ю.Р. Видеоинформационные системы наблюдения и контроля при сложных условиях видимости / Ю.Р. Кирпиченко, М.И. Курачий, И.Н. Пустынский // Доклады ТУСУРа. – 2012. – № 2 (26), – С. 105–110.
4. Мищенко Н.И. Методы и средства повышения эффективности активно-импульсных телевизионно-вычислительных систем мониторинга и обеспечения безопасности объектов / Н.И. Мищенко, И.Н. Пустынский, В.В. Капустин // Доклады ТУСУРа. – 2016. – Т. 19, № 3. – С. 42–46.
5. Сеулеков А.В. Аналитический обзор видеокамер на ПЗС и КМОП-фотоприемниках, применяемых для исследования параметров динамических процессов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://elib.altsturu/elib/books/Files/pa2013_1/pdf, свободный (дата обращения: 21.07.2017).
6. Внотченко С.Л. Авиационные мобильные малогабаритные радиолокаторы с синтезированной апертурой семейства «КОМПАКТ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/oct09/5/text.html/>, свободный (дата обращения: 21.07.2017).
7. Волков В.Г. Телевизионные системы для спецтехники // Спецтехника и связь. – 2010. – № 2. – С. 2–17.

Мищенко Николай Иванович

Ст. науч. сотрудник каф. телевидения и управления ТУСУРа
Тел.: 8 (382-2) 41-33-68
Эл. почта: mish@tu.tusur.ru

Mishchenko N.I.

Three-dimensional active-pulse systems of observation and object parameter measurements

The action principles and devices of three-dimensional observation, object parameter definition and detection systems are considered. The analysis and comparative evaluation of the system specifications are performed. Devices, performance modes of the three-dimensional television and computation systems and the efficiency improvement methods are proposed.

Keywords: television system, image, observation, detection, accuracy, farness.