

УДК 621.397.4

Н.И. Мищенко, И.Н. Пустынский

## Методы и средства повышения технических характеристик активно-импульсных телевизионно-вычислительных систем наблюдения

Рассматриваются принципы действия активно-импульсных телевизионно-вычислительных систем, предназначенных для наблюдения за объектами в различных условиях окружающей среды, в том числе при наличии оптических помех. Предлагаются методы и средства повышения характеристик систем: дальности видимости, чувствительности, качества изображений, помехоустойчивости, достоверности обнаружения и распознавания, точности измерения информативных параметров объектов.

**Ключевые слова:** телевизионная система, преобразователь, изображение объекта, излучатель, освещенность, контраст, наблюдение, дальность, помеха.

**Принцип действия системы.** В настоящее время для обнаружения, наблюдения и измерения параметров объектов в различных условиях окружающей среды применяются активно-импульсные телевизионно-вычислительные системы (АИТВС). Принцип их действия основан на импульсном методе подсветки поля зрения системы лазерными излучателями и стробировании по времени импульсов излучения, отраженных от объектов наблюдения. Системы могут применяться как в нормальных, так и в сложных условиях наблюдения за объектами: в солнечный день, в сумерки и ночью, при ограниченной или низкой прозрачности среды распространения излучения, при наличии дымки, тумана, различных осадков, естественных и искусственных световых помех [1].

В активно-импульсном режиме работы системы наблюдаемый объект подсвечивается лазерными импульсами излучения. Синхронно с импульсами подсветки выполняются стробирование и прием отраженного от объекта сигнала излучения электронно-оптическим преобразователем (ЭОП), снабженным быстродействующим затвором, открывающимся в такт с посылкой импульсов излучения. В момент прихода отраженного от наблюдаемого объекта импульса излучения затвор открывается на время длительности импульса стробирования. Если временная задержка между моментом излучения импульса подсветки и моментом открывания затвора равна времени прохождения излучения до объекта и обратно, то принимается сигнал, отраженный только от наблюдаемого объекта и окружающего его участка или зоны наблюдения по дальности. Глубина зоны наблюдения АИТВС определяется длительностью стробирующего импульса и временем открытого состояния затвора ЭОП, а дальность до зоны наблюдения объекта – величиной задержки импульса стробирования относительно импульса излучения [2, 3]. При постоянной частоте и уменьшении длительности импульсов излучения и стробирования повышаются качество изображения, помехоустойчивость, разрешающая способность, точность определения информативных параметров объектов, но уменьшается дальность видимости, равная глубине зоны наблюдения. Для увеличения глубины дальности видимости АИТВС применяются изменение задержки импульса стробирования относительно импульса подсветки, смещение или сканирование зоны наблюдения по дальности и согласованный с ними по времени прием отраженных от объекта импульсов излучения. После обзора, временной селекции и приема полезного сигнала от объекта производится обнаружение, распознавание, измерение дальности и других информативных параметров объекта интереса [4].

Сформированное входным объективом на фотокатод ЭОП изображение поля зрения АИТВС после преобразования и усиления яркости переносится через согласующий объектив с экрана ЭОП на светочувствительные элементы матрицы прибора с зарядовой связью (ПЗС) видеокамеры, обрабатывается аппаратно-программными средствами и отображается на мониторе оператора. Полученная в результате обработки телевизионно-вычислительными средствами видеoinформация используется для наблюдения, измерения, контроля и регистрации информативных параметров объектов. В зависимости от изменения условий окружающей среды применяются различные режимы работы

АИТВС: пассивные – непрерывный или импульсный стробируемый и активно-импульсные – без стробирования или с временной селекцией импульсов излучения, отраженных от объектов.

**Пассивный режим работы системы.** Основными требованиями, предъявляемыми к АИТВС, являются повышенные качество изображения и дальность наблюдения, которые зависят от внешних условий и режимов работы системы. Для адаптации к условиям наблюдения применяется оперативное изменение режимов работы и параметров системы. Пассивный непрерывный режим работы АИТВС без подсветки объектов наблюдения импульсами излучения применяется при нормальных уровнях естественной освещенности объекта и фона, позволяющих получить высокое качество изображения поля зрения системы.

Максимальная освещенность фона, достигающая в дневных условиях до  $10^5$  лк, снижает контраст изображения и дальность наблюдения объектов. Для защиты от высокой освещенности фона и яркости оптических помех применяется режим стробирования сигналов объектов. Если длительность стробирующих импульсов выбрана 100 нс, а частота стробирования и импульсной лазерной подсветки изменяется от 50 Гц до 5 кГц, то скважность импульсов стробирования и коэффициент подавления избыточной освещенности фона и яркости помех равны соответственно от  $10^5$  до  $10^3$  при условии достаточно надежного запирающего затвора ЭОП.

Избыточная освещенность фона и яркость естественных и искусственных световых помех могут не только ухудшать качество изображения, но и вызывать эффект насыщения ЭОП и видеокамеры. Для устранения эффекта насыщения применяется регулировка входной освещенности АИТВС. Для регулировки используется ручное или автоматическое изменение диафрагмы объективов ЭОП и ПЗС-камеры в зависимости от уровня освещенности фона, помех и объекта наблюдения. Прямое ручное или автоматическое изменение относительного отверстия объективов может обеспечить регулировку входной освещенности до  $10^2$  раз при незначительных изменениях отношения сигнала к шуму. Объективы с прямым управлением используются в видеокамерах, имеющих режимы автоматической регулировки усиления сигналов и автоматического электронного затвора, изменяющего экспозицию чувствительных элементов ПЗС-матрицы. Наиболее эффективным является применение вариообъективов с переменным фокусным расстоянием и с автодиафрагмой, которые поддерживают освещенность фотокатода ЭОП и матрицы ПЗС-камеры на постоянном уровне и могут обеспечить высококонтрастное, без засветки или затемнения изображение поля зрения системы при изменении входной освещенности в  $10^2$ – $10^3$  раз.

Для защиты от световых перегрузок и адаптации АИТВС к изменениям внешних условий применяется автоматическая регулировка напряжений питания и усиления ЭОП. Лучшей чувствительностью к регулированию усиления является изменение напряжения на микроканальной пластине (МКП) и напряжения между выходом МКП и экраном. Каналы МКП обладают свойством самонасыщения усиления при увеличении выходного тока, что также позволяет эффективно подавлять световые помехи и предохраняет АИТВС от избыточной входной освещенности. Регулировка диафрагмы объективов, напряжений питания МКП и времени открытого состояния затвора ЭОП повышает качество изображений и дальность наблюдения АИТВС в дневных условиях, во время сумерек и в ночных условиях при изменении входной освещенности до  $10^8$  раз, от  $10^5$  лк днем при чистом небе до  $10^{-3}$  лк в безлунную ночь.

**Активный режим работы системы.** Активный непрерывный режим работы АИТВС без стробирования импульсов излучения, отраженных от объекта наблюдения, применяется при низких уровнях естественной освещенности, недостаточных для получения высококачественного изображения в пассивном режиме работы системы. Активный непрерывный режим работы с подсветкой объектов импульсами излучения повышает качество изображения и дальность видимости системы при прозрачной для излучения атмосфере и минимальной входной освещенности до  $10^{-4}$  лк в безлунную ночь и при сплошной облачности.

Предельная дальность наблюдения АИТВС, как и мощность лазерного излучения, зависят от частоты импульсов стробирования и равных им по частоте и длительности импульсов подсветки объектов. Для однозначного обнаружения объекта и измерения его дальности минимальный период следования импульсов должен превышать время прохождения светом расстояния до объекта наблюдения и обратно, так как при недостаточном периоде следования отраженный от объекта импульс излучения не успевает вернуться к приемнику до начала следующих импульсов подсветки и стробирования. Если в качестве источника подсветки выбран полупроводниковый лазерный излучатель, работающий с максимальной частотой повторения импульсов 5 кГц, то предельная дальность на-

блюдения АИТВС при достаточной мощности импульсов излучения и высокой прозрачности атмосферы равна 30 км. Максимальная дальность наблюдения в активно-импульсном режиме зависит от числа зон сканирования по дальности за время обзора. Если зоны сканирования расположены вплотную, без промежутков и перекрытий, то при длительности импульсов излучения и стробирования 100 нс и соответствующей им глубине зоны видимости 30 м, дальность наблюдения при высоких контрастах изображения объекта и времени обзора, равном периоду кадра ПЗС-камеры 20 мс, может достигать 3 км.

Дальность наблюдения АИТВС зависит не только от мощности излучения источника подсветки, но и от прозрачности атмосферы и окружающей среды в виде дымки, пыли, тумана, дождя, снега и других осадков. Качество изображения систем, работающих в сложных условиях наблюдения, значительно ухудшается, так как источник излучения подсвечивает как объекты наблюдения, так и фон, создающий обратное рассеянное в окружающей среде излучение и встречную засветку, снижающую контраст изображения и возможность достоверного визуального обнаружения, распознавания и идентификации изображений объектов [5]. Стробирование и временная селекция импульсов излучения, отраженных от объектов, значительно уменьшают яркость оптических помех, расположенных на других дальностях, и помех, вносимых встречной засветкой. Малая длительность стробируемых импульсов и временная селекция сигналов снижают рассеянное излучение фона, яркость локальных естественных и искусственных оптических помех в число крат, равное скважности импульсов стробирования, что значительно увеличивает контраст изображения объектов и дальность видимости системы в сложных условиях наблюдения.

Преимуществами импульсных лазерных излучателей являются высокая мощность и узкий спектр излучения. С учетом максимальной чувствительности фотокатода ЭОП и пропускания излучения окружающей среды применяются лазерные инфракрасные излучатели с длиной волны в диапазоне 845–850 нм. Для защиты от избыточной естественной освещенности фона и яркости помех в оптической системе ЭОП используются узкополосные интерференционные фильтры с полосой пропускания, соответствующей рабочей области спектра излучателя. Спектральная селекция сигналов может в  $10\text{--}10^2$  раз уменьшать освещенность фона и яркость оптических помех, не совпадающих со спектром излучения подсветки. Изменение диафрагмы объективов и напряжений питания ЭОП, временная и спектральная селекции сигналов обеспечивают регулировку входной освещенности фона в диапазоне от  $10^{-4}$  до  $10^5$  лк и позволяют повысить качество изображения поля зрения и помехоустойчивость системы при воздействии естественных и искусственных оптических помех.

Для увеличения быстродействия АИТВС необходимо уменьшать время обзора и обнаружения объекта, которые зависят от выбранного числа зон наблюдения по дальности и частоты их сканирования. В сложных условиях окружающей среды при средней мощности лазерного излучения до 200 мВт реальная дальность наблюдения АИТВС может составлять 400 м [4]. При такой дальности наблюдения и глубине зоны видимости 30 м в режиме обзора выбирается 14–16 сканируемых по дальности зон, расположенных вплотную или с небольшим перекрытием. Если время обзора равно периоду кадра, то частоту сканирования при выбранном числе зон необходимо повышать до 700–800 Гц. Для предельно допустимой частоты излучения 5 кГц за период сканирования зоны принимается и накапливается до 6–7 отраженных от объекта импульсов излучения. Накопление импульсов излучения, принятых за период сканирования, повышает отношение сигнала к шуму, так как суммирование зарядов элементов ПЗС-матрицы может осуществляться многократно после каждого импульса излучения, а шум в процессе считывания выходного электрического сигнала вносится лишь один раз.

Наиболее эффективным способом уменьшения времени обзора и обнаружения объектов является выбор частоты сканирования зоны, равной частоте импульсов излучения и стробирования, при котором из зоны наблюдения принимаются одиночные импульсы излучения отраженные от объекта и накапливаются за период кадра. В таком режиме работы при частоте сканирования 5 кГц и числе зон, равном 14–16, частота обзора может повышаться до 300–350 Гц и значительно увеличиваться быстродействие системы.

**Режимы управления системы.** В зависимости от принципов действия и условий наблюдения АИТВС может работать в ручном, полуавтоматическом и автоматическом режимах управления. В ручном режиме управления зона видимости устанавливается на выбранной дальности действия системы. Для обзора и поиска объекта вручную изменяются задержка импульса стробирования и смещение зоны видимости по дальности до появления и обнаружения в ней объекта наблюдения. После

распознавания объекта смещение зоны прекращается, определяется и регистрируется дальность до объекта. Недостатками ручного режима управления АИТВС являются малая глубина дальности видимости, равная величине зоны наблюдения, и необходимость ручного изменения задержки импульса стробирования и смещения зоны наблюдения по дальности.

В полуавтоматическом режиме управления АИТВС осуществляются программно-управляемое сканирование и обзор по дальности с частотой кадров ПЗС-камеры. Сканирование зоны в режиме обзора может выполняться как в прямом направлении при увеличении задержки импульсов стробирования и дальности, так и в обратном направлении при уменьшении задержки и дальности. После обнаружения объекта в поле зрения системы частота сканирования зоны уменьшается, и при появлении объекта в зоне наблюдения выполняется ручная остановка сканирования, распознавание и измерение дальности объекта. Автоматическое сканирование зоны по дальности и обнаружение объекта в поле зрения АИТВС являются преимуществом по сравнению с ручным режимом управления, но время обнаружения объекта в зоне наблюдения, остановка сканирования и распознавание объекта значительно превышают период кадра и уменьшают быстродействие системы.

В автоматическом режиме управления, как и в полуавтоматическом, выполняется программно-управляемое изменение задержки импульса стробирования, сканирование зоны наблюдения и обзор по дальности с частотой кадров. После селекции импульсов излучения, отраженных от объекта, приема сигналов и обнаружения объекта в зоне наблюдения выполняется автоматическая остановка сканирования, распознавание объекта и измерение его дальности. Автоматический режим управления позволяет уменьшить время обзора, обнаружения и измерения дальности объекта и повысить быстродействие АИТВС по сравнению с ручным или полуавтоматическим режимами управления. К недостаткам автоматического режима работы системы по сравнению с полуавтоматическим режимом следует отнести уменьшение отношения сигнала к шуму, достоверности обнаружения и распознавания объекта, полученных в результате повышения частоты сканирования и уменьшения числа сигналов, принятых за период сканирования зоны наблюдения.

**Методы повышения характеристик системы.** Для повышения отношения сигнала к шуму в режиме обзора применяется двухэтапный метод обнаружения и распознавания объектов. На первом этапе обнаружения сигналы импульсов излучения, отраженных от объекта, принимаются, суммируются в течение времени нахождения объекта в зоне наблюдения и сравниваются с первым пороговым уровнем решающего устройства цифровой обработки сигналов. После превышения сигналами первого порогового уровня сканирование зоны по дальности останавливается и выполняется переход системы на второй этап анализа и накопления сигналов. Если накопленные за время анализа сигналы превышают второй пороговый уровень, то принимается решение о достоверном обнаружении объекта наблюдения, выполняется распознавание и измерение дальности объекта. Если второй порог не превышает, то продолжается автоматическое сканирование и смещение зоны видимости по дальности в режиме обзора. При выборе времени анализа равном периоду кадра число накапливаемых сигналов может увеличиться от 6–7 в режиме обзора до 100 сигналов в режиме анализа. Накопление сигналов и улучшение отношения сигнала к шуму за время анализа повышают достоверность обнаружения и распознавания, точность измерения дальности и других информативных параметров объектов.

Контраст изображения и дальность обнаружения объекта зависят от расположения объекта относительно зоны наблюдения и его облученности импульсами излучения. В результате смещения зоны наблюдения в прямом направлении сканирования объект выделяется в начале зоны стробирования при положительном сигнале и контрасте в виде светлого, позитивного изображения на более темном фоне. При дальнейшем смещении зоны уровень сигнала и контраст изображения уменьшаются и изменяют свой знак на противоположный, так как объект подсвечивается не прямым, а обратным рассеянным в окружающей среде излучением фона. При отрицательных сигналах и контрастах в следующих зонах наблюдения формируются и выделяются негативные изображения объекта в виде темного силуэта на более светлом фоне обратного излучения. В режиме обзора для увеличения отношения сигнала к шуму и повышения достоверности обнаружения объектов может использоваться обратное направление сканирования и переход от максимальных отрицательных значений сигнала и негативных изображений к меньшим по абсолютной величине положительным сигналам и позитивным изображениям объектов. В режиме анализа для повышения точности измерения параметров, достоверности распознавания и идентификации объекта выбирается прямое направление

сканирования и выделяется наиболее информативное позитивное изображение объекта в положительном контрасте в начале или в центре зоны наблюдения.

Точность измерения дальности объекта зависит от ошибки определения временного положения сигнала объекта относительно импульса стробирования или зоны наблюдения. Точность измерения положения сигнала возрастает при увеличении крутизны фронтов сигнала и отношения сигнала к шуму. Поэтому для определения временного положения сигнала в режиме анализа могут использоваться максимальные крутизна фронтов и отношение сигнала к шуму, полученные при переходе от положительного сигнала и контраста изображения объекта к отрицательному сигналу и от отрицательного сигнала и контраста к положительному в результате изменения направления сканирования зоны. Точность определения положения объекта и зоны наблюдения по дальности возрастает при уменьшении шага и повышении частоты сканирования зоны. При выборе частоты сканирования в режиме анализа и накопления сигналов, равной 5 кГц, и смещении зоны в прямом и обратном направлениях сканирования 75–100 м шаг сканирования и точность измерения дальности составят соответственно 1,5–2 м. Для увеличения точности измерения параметров и достоверности распознавания быстродвижущихся объектов может применяться стробирование и слежение за объектом наблюдения по дальности и по угловым координатам поля зрения системы [4].

**Средства обработки видеоинформации.** Цифровая обработка сигналов и изображений, измерение и контроль информативных параметров объектов, управление режимами работы АИТВС могут выполняться на базе современных персональных компьютеров. Для обработки сигналов и изображений в реальном времени, повышения качества изображений, точности измерения параметров объектов применяются устройства, реализованные на основе быстродействующих универсальных или цифровых сигнальных процессоров и программируемой логики на базе программируемых логических интегральных схем.

Эффективность АИТВС может значительно увеличиться в результате применения новых методов и принципов построения системы, при которых обработка видеоинформации производится не дополнительными аппаратно-программными средствами на выходе ПЗС-камеры, а в самом процессе преобразования, формирования, выборки и считывания видеоданных. Эту задачу можно решить в результате разработки принципиально новых аппаратно-программных средств на основе комбинированных металл-окисел полупроводниковых (КМОП) преобразователей с произвольным доступом, выборкой светочувствительных элементов, с управляемыми режимами накопления и считывания зарядов элементов матрицы. Разработка и создание АИТВС на базе КМОП-преобразователей с электронным сканированием элементов матрицы, программно-управляемыми параметрами зоны наблюдения по дальности и автоматическим переключением режимов работы позволят решить задачу адаптации АИТВС к изменяющимся внешним условиям окружающей среды. Основным преимуществом метода считывания и обработки видеоинформации на основе КМОП-технологии является очень высокий уровень интеграции, который достигается за счет реализации многих функций системы на одной сверхбольшой интегральной схеме, позволяющей объединить сложные узлы или блоки устройства на одном чипе. На базе КМОП-преобразователей могут создаваться программно-управляемые устройства, представляющие собой объединение на одном кристалле непосредственно матрицы светочувствительных фотодиодов, модулей коммутации элементов с координатной адресацией, в которых могут храниться и считываться адреса элементов матрицы, формирующих зоны наблюдения по дальности и окна сканирования по угловым координатам поля зрения системы. Совмещенные с КМОП-преобразователем логические схемы могут обеспечить адаптивное управление частотой и размерами зон видимости и окон сканирования, регулировку экспозиции элементов матрицы, синхронизацию импульсов излучения подсветки, стробирования сигналов и сканирования зоны наблюдения. Применение принципиально новых аппаратно-программных средств на базе КМОП-матрицы и отдельных ее элементов позволит разработать и создать адаптивную, многофункциональную АИТВС, эффективно работающую как в нормальных, так и в сложных условиях наблюдения.

**Заключение.** Регулировка диафрагмы входного и согласующего объективов, напряжений питания ЭОП, временная и спектральная селекция сигналов повышают качество изображений и дальность действия АИТВС в широком диапазоне изменения освещенности фона, яркости естественных и искусственных оптических помех, прозрачности атмосферы и окружающей среды. Преимуществами автоматического режима управления по сравнению с ручным и полуавтоматическим режимом являются уменьшение времени обзора, обнаружения, распознавания, измерения дальности объекта

и повышение быстродействия АИТВС. Накопление сигналов и улучшение отношения сигнала к шуму за время анализа сигнала при двухэтапном методе обнаружения объектов увеличивает достоверность обнаружения и распознавания объектов. Изменение направления сканирования зоны по дальности, использование в режиме анализа положительного и отрицательного контрастов изображений объекта увеличивают точность измерения дальности объектов. Реализация предлагаемых методов на базе стандартных ПЗС-камер и телевизионно-вычислительных средств или на основе КМОП-преобразователей позволит повысить основные технические характеристики и эффективность работы АИТВС в различных условиях окружающей среды.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках базовой части государственного задания № 2014/225 по проекту 769.

#### *Литература*

1. Гейхман И.Л. Видение и безопасность / И.Л. Гейхман, В.Г. Волков. – М.: РАЕН, 2009. – 840 с.
2. Кирпиченко Ю.Р. Видеоинформационные системы наблюдения / Ю.Р. Кирпиченко, М.И. Курячий, И.Н. Пустынский // Доклады ТУСУРа. – 2012. – № 2 (26), ч. 1. – С. 105–110.
3. Пустынский И.Н. Особенности построения систем измерительного телевидения / И.Н. Пустынский, М.И. Курячий, А.Г. Костевич, Н.И. Мищенко // Изв. вузов. Приборостроение. – 2005. – № 11. – С. 13–18.
4. Мищенко Н.И. Возможные пути улучшения технических характеристик телевизионных измерительных систем // Доклады ТУСУРа. – 2008. – № 2 (18), ч. 2. – С. 40–43.
5. Kopeika N.S. A system engineering approach to imaging. – Bellingham, WA, USA: SPIE Optical Engineering Press, 1998. – 679 p.

---

#### **Мищенко Николай Иванович**

Ст. науч. сотр. каф. телевидения и управления ТУСУРа  
Тел.: 41-33-68  
Эл. почта: mish@tu.tusur.ru

#### **Пустынский Иван Николаевич**

Д-р техн. наук, профессор, зав. каф. телевидения и управления ТУСУРа  
Тел.: (382-2) 41-34-23  
Эл. почта: in@tu.tusur.ru

Mishchenko N.I., Pustynsky I.N.

#### **Methods and means of increasing technical characteristics of active pulse television computing systems for supervision**

The paper considers the principles of operation of active pulse television computing systems for supervision over objects in various environmental conditions, even in presence of an optical noise source. We offer the following methods and means of increasing technical characteristics: visibility range, sensitivity, image quality, noise stability, reliability of detection and recognition, accuracy in measuring informative parameters of objects.

**Keywords:** television system, converter, object image, radiator, illumination, contrast, supervision, range, noise.