

УДК 621.397

Ю.Р. Кирпиченко, М.И. Курячий, И.Н. Пустынский

Видеоинформационные системы наблюдения и контроля при сложных условиях видимости

Рассмотрены состояние и перспективы развития телевизионных систем наблюдения и контроля при сложных условиях видимости.

Ключевые слова: ПЗС, КМОП, тепловизионные приборы, активно-импульсные телевизионные системы, сложные условия.

К видеоинформационным системам наблюдения и контроля до недавнего времени в основном относили «многоинформационные интерактивные системы, обеспечивающие высококачественное воспроизведение видеоинформации на экранах различных размеров в многолюдных местах как на открытом пространстве (площади, улицы, стадионы и т.п.), так и в закрытых пространствах (залы, торговые центры, метро и т.п.)» [1].

На наш взгляд, к видеоинформационным системам наблюдения и контроля относятся телевизионно-вычислительные системы [2], когда вместо или наряду с получением изображения на экране осуществляется извлечение из видеосигнала необходимой информации об объекте, которая затем используется для регистрации изображения или управления. Этот процесс можно интерпретировать как получение изображения в форме, пригодной для потребителей информации, в том числе для измерительных и автоматических устройств.

Наряду с вещательным и прикладным телевидением видеоинформационные системы и устройства широко используются в науке, технике, медицине и других сферах.

Высококачественное воспроизведение изображения как для большой аудитории, так и для отдельного оператора невозможно без высококачественного преобразования наблюдаемой сцены в видеосигнал. Качество преобразования зависит от условий наблюдения и технических возможностей телевизионных систем (ТВС), регистрирующих изображение сцены.

Особый интерес в плане повышения качества изображения в этой связи представляют системы наблюдения и контроля в сложных условиях видимости [3], к которым относятся: низкие уровни освещённости (сумерки, ночь и полная темнота); низкая прозрачность среды распространения оптического излучения (дымка, туман, дождь, снег, пыль, малопрозрачная жидкость); наличие световых помех от фар встречного транспорта, прожекторов, светильников, пламени пожаров, трассеров, вспышек выстрелов, взрывов, дымовых шашек, низкий контраст объекта с фоном и малая яркость объекта, наличие маскировок и т.д.

В работе [3] приведена классификация приборов визуализации изображений (ПВИ), которая построена на сочетании совокупности наиболее типичных признаков, представляющих практический интерес. В соответствии с этим ПВИ разделяются:

1. По физическому принципу построения.
2. По назначению ПВИ делятся на:
 - 2.1. Общего народнохозяйственного применения.
 - 2.2. Специального применения.
3. По среде распространения излучения ПВИ делятся на:
 - 3.1. Наземное применение.
 - 3.2. Подземное применение.
 - 3.3. Воздушное применение.
 - 3.4. Подводное применение.
4. По степени скрытости работы ПВИ делятся на:
 - 4.1. Активные (с дополнительным подсветом наблюдаемого объекта).
 - 4.2. Пассивные (без подсвета).
 - 4.3. Пассивно-активные (работающие с подсветом или без него, в зависимости от внешних условий).
5. По характеру обработки изображения различают:

- 5.1. Цифровую обработку изображения (ЦОИ) с его накоплением.
- 5.2. ЦОИ в реальном масштабе времени.
- 5.3. Автоматизацию обнаружения и распознавания с применением вычислительной техники.
- 5.4. Автоматизацию обнаружения и распознавания с применением когерентно-оптических корреляторов.

6. По характеру размещения на стационарном объекте или на транспортном средстве различают ПВИ:

- 6.1. С наружной компоновкой по отношению к корпусу объекта (авиационные и многие военные приборы).
- 6.2. С внутренней компоновкой внутри корпуса объекта (в основном приборы для бронетанковой техники).
- 6.3. На подъёмной мачте.

ТВС, способные работать при наличии хотя бы одного из перечисленных условий ограничения видимости либо их совокупности, можно, например, классифицировать по физическому принципу построения так, как показано на рис. 1.

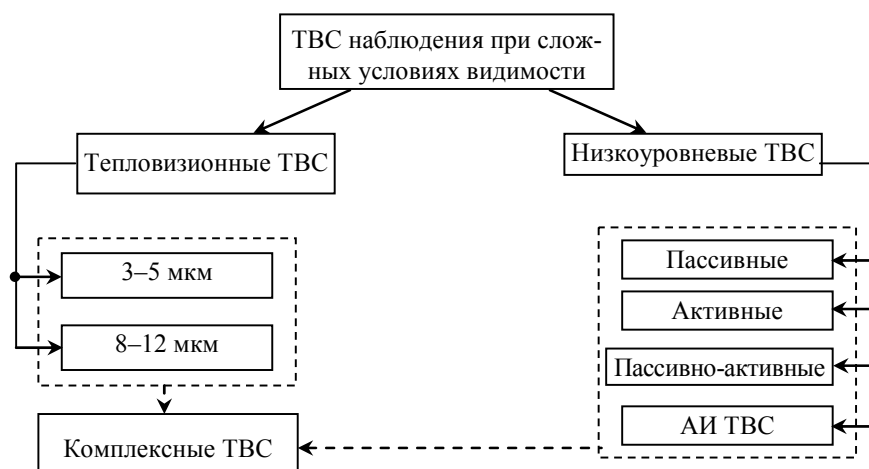


Рис. 1. Классификация ТВС-наблюдения и контроля при сложных условиях видимости

ТВС в зависимости от назначения и требований к качеству изображения может быть реализована в виде одной из представленных на рис. 1 либо как комплексная, представляющая собой их сочетание. При этом она должна быть укомплектована необходимой оптикой и дополнена в случае необходимости вычислительными средствами обработки изображения. Широкий круг задач наблюдения при сложных условиях видимости может быть решен с помощью низкоуровневых ТВС. Так, например, на современном рынке автомобильных датчиков изображений (видеокамер) представлены два основных типа – это ПЗС- и КМОП-камеры. Эти камеры обладают характеристиками, достаточными для решения широкого круга задач обеспечения безопасности.

Для многих применений, несмотря на меньшую чувствительность КМОП-камеры предпочтительнее ПЗС-камеры. Например, их проще интегрировать в общий комплекс интеллектуального управления автомобилем. И, что не менее важно, они, по сравнению с ПЗС-камерами, обладают более широким динамическим диапазоном. Благодаря широкому динамическому диапазону оператор лучше различает детали местности и объектов на ней при наличии в поле зрения одновременно и темных, и ярких элементов изображения как при высоких, так и при низких освещенностях. Несмотря на достаточно высокие светотехнические и эксплуатационные характеристики таких камер, обеспечить видение при низких освещенностях ($< 0,001$ лк) и в полной темноте с их помощью не представляется возможным.

Для обеспечения возможности наблюдения в таких условиях существует несколько способов. К ним относятся сочленение рассмотренных выше датчиков с электронно-оптическим преобразователем (ЭОП), организация внешней подсветки, разработка телевизионных датчиков с расширенной в длинноволновую область спектра спектральной характеристикой чувствительности и т.д.

В качестве искусственных источников подсветки обычно используются источники ИК-диапазона. Как правило, это лазерные или светодиодные источники. Использование ИК-диапазона источни-

ков подсвета обусловлено меньшим ослаблением излучения в атмосфере, возможностью скрытного наблюдения и, например, необходимостью исключить возможность ослепления водителей встречных автомобилей. Использование ТВС с усилителем яркости (ЭОП) расширяет возможности видения при низких уровнях освещенности. Однако применение ЭОП существенно уменьшает динамический диапазон ТВС со стороны более высоких освещенностей.

Рассмотренный выше класс ТВС обладает одним существенным недостатком: наличие дождя, снега, тумана и т.д. затрудняет видение в таких условиях либо вовсе исключает такую возможность. Проблема обеспечения видения в таких экстремальных условиях может быть решена с помощью тепловизионных либо активно-импульсных (АИ) ТВС.

До недавнего времени тепловизионные камеры из-за высокой цены применялись лишь в таких областях, как военная техника и пожарная безопасность. За последние годы благодаря новым разработкам матриц, преобразующих тепловое излучение в электрический сигнал, совершенствованию технологий их производства цена тепловизионных камер заметно снизилась. Дальнейшее совершенствование существующих технологий, разработка новых способов преобразования теплового излучения в видеосигнал приведет к дальнейшему снижению цены тепловизионных камер и, как следствие к расширению области их применения.

Принцип действия тепловизионных приборов основан на восприятии теплового излучения от объекта и окружающего его фона, формировании теплового изображения объекта и преобразовании его в видимое. Они работают в средней ИК-области спектра: 3–5 или 8–12 мкм. В этих областях спектра меньше рассеяние излучения в атмосфере по сравнению с традиционными спектральными областями работы АИ ПНВ.

Это обеспечивает определенное преимущество тепловизионных приборов перед АИ ТВС, в особенности при работе при пониженной прозрачности атмосферы. В частности, тепловизионные приборы могут работать при задымлении, когда АИ ТВС в своих традиционных областях спектра неработоспособны. Кроме того, из-за сравнительно небольшой мощности световых помех в средней ИК-области спектра тепловизионные приборы обладают достаточно высокой помехозащищенностью.

Тепловизионные приборы обладают и рядом недостатков. Так, из-за своей низкой пространственной разрешающей способности они не выявляют мелких подробностей наблюдаемого пространства. Но самое главное – тепловизионные приборы позволяют видеть только те объекты, температура которых отличается от температуры окружающего фона, т.е. при наличии температурного контраста. Например, камень, находящийся на проезжей части, или бревно, лежащее поперек дороги, не будут видны в тепловизионный прибор, если они холодные. Это свойство особенно важно при вождении судов. Тепловизионные приборы имеют своеобразный характер изображения, так как в них видны только нагретые участки наблюдаемых объектов. Это требует определенной подготовки оператора, более длительной, чем подготовка при работе с АИ ПНВ [4].

АИ ТВС могут работать в пассивном (без подсвета), активно-непрерывном (с подсветом наблюдаемого объекта лазерным излучением, но без стробирования ЭОП) и в активно-импульсном (АИ) режиме (импульсный подсвет в сочетании со стробированием ЭОП).

По дальности действия АИ ТВС в целом превосходят тепловизионные приборы. Это вызвано следующими причинами:

- за счет отсекающего видения фона АИ ТВС обеспечивают существенно более высокий контраст в изображении по сравнению с тепловизионными приборами, в которых изображение фона сохраняется;
- благодаря более высокой геометрической разрешающей способности АИ ТВС по сравнению с тепловизионными приборами (30–50 штрихов/мм, тогда как в тепловизионных – 15 штрихов/мм) [4].

Поисковые возможности приборов во многом зависят от угла поля зрения. При работе в АИ-режиме он равен углу подсвета лазерного осветителя. Из энергетических соображений этот угол обычно составляет от $0,5 \times 1,0$ до $2 \times 4^\circ$.

Пассивный режим работы АИ ТВС обеспечивает достаточную для поиска дальность действия только при нормальной прозрачности атмосферы и при отсутствии в поле зрения прибора световых помех. Тепловизионные приборы могут работать и при неблагоприятных условиях при любом поле зрения.

Таким образом, поисковые возможности тепловизионных приборов (при изменении внешних условий в широком диапазоне) выше, чем у АИ ТВС. В последних осуществлять поиск при работе в АИ-режиме нельзя не только из-за узости угла поля зрения, но и из-за того, что для поиска объекта по глубине нужно менять задержку между импульсом подсвета и импульсом, стробирующим ЭОП [4].

Многочисленные эксперименты, проведенные в натуральных условиях, показали, что в туманах и дождях, где работоспособны АИ ТВС, тепловизионные приборы снижают свою работоспособность, и наоборот. В связи с этим представляется целесообразным объединить АИ ТВС в единый комплекс, что позволит компенсировать недостатки одного канала достоинствами другого [5]. Как и тепловизионные приборы, так и АИ ТВС постоянно совершенствуются. Совершенствование АИ ТВС сводится как к совершенствованию элементов, входящих в ее состав, так и оптимизации структуры АИ ТВС, алгоритмов обработки изображения и т. д.

Работы в этом направлении ведутся и на кафедре телевидения и управления ТУСУРа. Кафедрой совместно с Институтом оптики атмосферы СО РАН были разработаны АИ ТВС «Зонд» и «Обзор» [6–8]. Работы по совершенствованию АИ ТВС на кафедре телевидения и управления ТУСУРа были продолжены в 2009–2011 гг. в рамках проекта № 2.1.2/12356 «Исследование и разработка методов коррекции искажений в телевизионных датчиках при экстремальных условиях контроля и наблюдения» аналитической ведомственной программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2011 годы)» и госзадания «Наука–2012» по проекту 2/12 «Повышение качества изображения в АИ ТВС при сложных условиях контроля и наблюдения».

Работы проводились по следующим направлениям:

- теоретические исследования по оптимизации режимов работы телевизионных датчиков с усилителями яркости для повышения чувствительности и разрешающей способности АИ ТВС;
- создание измерительного комплекса для испытаний АИ ТВС, в целом, и проверки отдельных её узлов;
- разработка элементов АИ ТВС и создание экспериментального макета АИ ТВС;
- создание программного обеспечения для проведения экспериментальных исследований и измерения технических параметров АИ ТВС.

Разработанное в рамках проекта программное обеспечение позволяет автоматизировать измерение параметров АИ ТВС (разрешение, зашумлённость, координатные искажения и др.), а также исследовать более сложные алгоритмы цифровой обработки сигнала для улучшения качества изображения и расширения технических возможностей АИ ТВС.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований позволили сформулировать ряд перспективных направлений работ по дальнейшему совершенствованию АИ ТВС. К ним, в частности, относятся:

- создание и введение в состав АИ ТВС аппаратно-программного комплекса, обеспечивающего реализацию алгоритмов цифровой обработки изображений в реальном масштабе времени;
- повышение точности вычислительных алгоритмов путём учёта нестационарности шума ТВ-датчика, использующего ЭОП;
- оптимизация параметров объектива переноса изображения с экрана ЭОП на фоточувствительную поверхность ТВ-датчика и т.д.

С целью повышения качества изображений в АИ ТВС, увеличения чувствительности и разрешающей способности нами была предложена система, описание которой приведено в работе [9]. Повышение качества АИ ТВС достигается обеспечением синхронного стробирования ПЗС-матрицы, ЭОП и привязки временных параметров импульсов подсвета и стробирования к тактовой частоте ТВ-камеры.

Такая система работает следующим образом.

В режиме выделения одной зоны видимости сформированное передающим объективом импульсное излучение оптического излучателя освещает объект наблюдения. Запуск оптического излучателя синхронизируется строчными синхроимпульсами телевизионной камеры. Одновременно импульсы, задержанные относительно импульсов запуска оптического излучателя на время распространения излучения до объекта наблюдения и обратно, подаются на фотокатод ЭОП. Приёмный объектив формирует изображение зоны видимости на фотокатоде ЭОП.

Во время действия импульса стробирования на выходном экране ЭОП воспроизводится усиленное по яркости изображение зоны видимости, которое с помощью согласующего объектива переносится на фоточувствительную поверхность матрицы ПЗС.

Учитывая, что накопление полезного сигнала осуществляется за время, равное произведению длительности импульса стробирования ЭОП на их количество за время полукадра, а шумовые электроны накапливаются в течение всего полукадра, на электронный затвор ПЗС синхронно с импуль-

сами стробирования ЭОП подаются импульсы длительностью, большей или равной импульсу стробирования. После окончания импульса на электронном затворе ПЗС-режим накопления выключается.

Накопленные заряды, характеризующие распределение освещенности в зоне видимости, темновой ток ПЗС и темновой фон ЭОП, записываются в вертикальные регистры ПЗС в моменты поступления на неё импульсов записи.

В результате количество шумовых зарядов на элементе ПЗС уменьшится на величину, пропорциональную отношению времени полукадра к длительности импульса на электронном затворе ПЗС.

В следующем полукадре изображение, записанное в вертикальные регистры, построчно выводится и регистрируется на телевизионном мониторе. В последующих полукадрах последовательность работы повторяется. Высокая точность и стабильность формирования задержек и длительностей импульсов, обеспечиваемые привязкой временных параметров импульсов к тактовой частоте ТВ-камеры, позволяют дополнительно увеличить чувствительность и разрешающую способность АИ ТВС за счет минимизации размытия зоны видимости.

Реализован и исследован вариант построения подобной АИ ТВС.

В состав системы входят: телевизионная камера с повышенной чувствительностью и электроно-оптическим преобразователем, устройство подсветки, источник питания, блок управления и ноутбук со специализированным программным обеспечением. Устройством подсветки является осветитель на базе полупроводникового лазера или импульсных светодиодов, который преимущественно работает в активно-импульсном режиме.

Основные технические характеристики системы: дальность видимости – 200 м; глубина видимости – 20 м; угол поля зрения – 6–10 градусов; длина волны излучения подсветки – 830 нм; длительность импульса подсветки – 120 нс; частота повторения импульсов подсветки – 50–5000 Гц; длительность строба приемника – 120 нс.

Литература

1. Кривошеев М.И. Новый подход к развитию цифрового вещания // Media Vision. – 2010. – № 6. – С. 4–11.
2. Казанцев Г.Д. Измерительное телевидение: учеб. пособие для вузов / Г.Д. Казанцев, М.И. Курячий, И.Н. Пустынский. – М.: Высшая школа, 1994. – 228 с.
3. Гейхман И.Л. Видение и безопасность / И.Л. Гейхман, В.Г. Волков. – М.: РАЕН, 2009. – 840 с.
4. Волков В.Г. Активно-импульсные ПНВ и тепловизионные приборы. Анализ возможностей применения // Фотоника. – 2007. – № 4. – С. 24–28.
5. Гейхман И.Л. Основы улучшения видимости в сложных условиях / И.Л. Гейхман, В.Г. Волков. – М.: Недра-Бизнес-центр, 1999. – 286 с.
6. Стробируемая система ночного видения ZOND / В.В. Белов, В.С. Белоусов, М.И. Курячий и др. // Наука – производству. – 2003. – № 39. – С. 32–38.
7. Активно-импульсные телевизионные системы «Зонд» и «Обзор» / В.В. Белов, В.С. Белоусов, Б.Д. Борисов и др. // Изв. вузов. Приборостроение. – 2005. – № 11. – С. 51–54.
8. Активные ТВ-системы видения с селекцией фонов рассеивания / В.В. Белов, Г.Г. Матвиенко, Р.Ю. Пак и др. // Датчики и системы. – 2012. – № 3. С. 25–30.
9. Пат. № 2406100 РФ, МПК G01S 17/06. Активно-импульсная телевизионная система / Ю.Р. Кирпиченко (РФ), М.И. Курячий (РФ), И.Н. Пустынский (РФ). – № 2008152485/28; заявл. 29.12.2008; опубл. 10.12.2010. – Бюл. № 34, – 8 с.

Кирпиченко Юрий Романович

Канд. техн. наук, доцент каф. телевидения и управления ТУСУРа
Тел.: (382-2) 42-33-87
Эл. почта: kirp@tu.tusur.ru

Курячий Михаил Иванович

Канд. техн. наук, доцент каф. телевидения и управления ТУСУРа
Тел.: (382-2) 41-33-80
Эл. почта: kur@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

Kirpichenko Yu.R., Kuryachy M.I., Pustynsky I.N.

Video information systems of supervision and control under difficult visibility conditions

The condition and development prospects of supervision and control television systems under difficult visibility conditions are considered.

Keywords: CCD, CMOS infrared imager devices, active and pulse television systems, difficult conditions.
