

УДК 630.43:005.584.1

ПРИМЕНЕНИЕ ВИДЕОТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ

Л.В. КАТКОВСКИЙ, С.Ю. ВОРОБЬЕВ

*Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко
Курчатова, 7, Минск, 220108, Беларусь*

*Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций
Министерства по чрезвычайным ситуациям РБ
Солтыса, 183а, Минск, 220046, Беларусь*

Поступила в редакцию 11 января 2011

Рассматриваются способы повышения пожарной безопасности объектов путем раннего обнаружения пожара с применением видеотехнологий. Описаны состав и принцип действия перспективной системы на основе комплексирования видеокамер и датчиков температуры.

Ключевые слова: пожар, мониторинг, датчик, видеоизображение, видеодетекторы пожара.

Введение

Развитие и применение систем контроля технологий производства, охранного телевидения, контроля доступа показывают, что видеотехнологии могут успешно решать и задачи обеспечения пожарной безопасности объектов и территорий [1]. Видеодетекторы могут обнаруживать пожар в помещении и на открытых площадках автоматически по специфическим признакам: задымленность, открытое пламя, характерные движения и частоты колебаний объекта на изображении [2, 3], позволяя, в то же время, при необходимости оператору визуально оценивать ситуацию на объекте.

Традиционные сигнализаторы пожара, как правило, производят анализ выборки частиц или температур и проверку прозрачности воздуха [4, 5]. Эти устройства требуют близкого расположения к пожару и не всегда надежны, так как большинство из них реагирует на дым, который не обязательно является результатом пожара. Видеодетекторы могут использоваться в тех случаях, когда обычные сигнализаторы пожара не применимы. Возможные применения видеотехнологий в системах пожарной безопасности показаны на рис. 1.

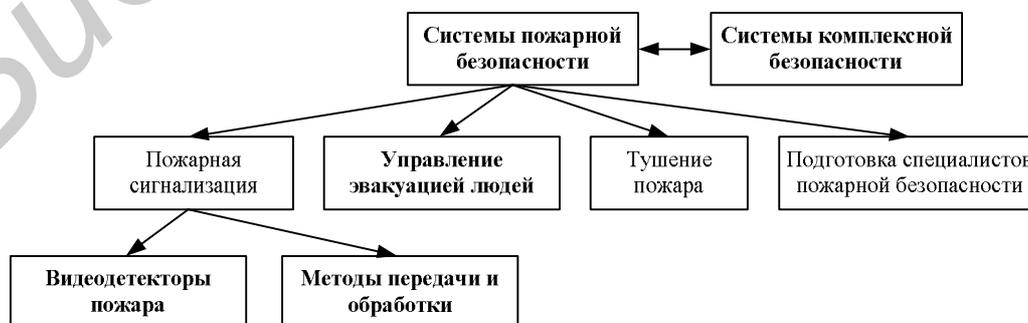


Рис. 1. Основные применения видеотехнологий в системе пожарной безопасности

Большинство рассматриваемых систем основано на компьютерной обработке изображений и анализе их изменений. Так, дым идентифицируется на основе динамических и структурных особенностей, а также шкалы яркости. Детектор способен отсеивать ложные срабатывания, такие как облака, пыль и прочие помехи. Программное обеспечение позволяет маскировать области постоянного или вероятного присутствия некоторых видов дыма (промышленных объектов или жилых домов). Из существующих специализированных программных детекторов, позволяющих распознавать раннее появление дыма и сигнализировать об этом оператору, следует упомянуть, американскую Fire Hawk, английскую D-Тес, немецкую AWFS. Существуют также видеорегистраторы с функцией детектора дыма для предотвращения лесных пожаров, которые можно объединять по протоколу TCP/IP в сеть.

Разработчики приводят данные, согласно которым вероятность ложного срабатывания составляет менее 1%, а дальность распознавания – 10 км для области дыма размером 10x10 м.

В ряде методов используются опорные изображения, полученные до наступления тревожной ситуации при нормальных условиях и для различных условий освещенности [1]. При этом методы определения условий окружающей среды (день, вечер, осадки и др.) преимущественно основаны на детальном анализе изображений, а в некоторых системах используется внутренний хронометраж, данные о широте и долготе. Интересен метод, основанный на анализе отдельных фрагментов изображения по специальным признакам, что позволяет распознавать наличие дыма, тени, тумана и пр. [1]. Существенным недостатком данных методов является низкая надежность работы, а также большое время обработки.

В другой группе методов используется банк данных типовых блоков видеоизображений тревожных ситуаций – форма и тип пламени, задымления и т.д., а также различных возмущающих факторов, таких как солнечная засветка, свет фар движущихся автомобилей, различного рода световые блики, и др., которые сравниваются с отдельными частями реального изображения [1]. У этих методов низкая вероятность ложных срабатываний наблюдается только в определенных четких границах их использования, что связано с конечным количеством хранимых типовых блоков пламени и элементов возмущений, не позволяющих охватить сколь угодно широкий круг реальных ситуаций. Высоки аппаратные требования, необходимо сложное программное обеспечение (ПО) для конкретного объекта защиты [1].

Существуют методы, основанные на обнаружении пламени путем анализа статической, динамической, яркостной и цветовой составляющих отдельных элементов изображения, в том числе с применением сенсоров ближнего ИК-диапазона [1]. Недостатком данных методов является сложность идентификации пламени, которое может находиться на значительном удалении от камеры.

Ряд технологий обнаружения пожаров полагается на спектральный анализ, используя редкое и обычно дорогое спектроскопическое оборудование. Эти методы могут давать ложные тревоги в тех случаях, когда цвета объектов близки с огнем, например, солнце. В работе [4] для классификации областей пожара и не-пожара на изображении используются цвет и движение. Для инициализации камеры требуется ручное создание опорных прямоугольников с учетом расстояния объекта детектирования от камеры. Другой метод [5] определяет пожар, используя статистические алгоритмы, применяемые к монохромным видеоизображениям, снятым высокоскоростной камерой. Этот метод требует больших затрат на вычисления и работает в идеальных условиях. В [6] для распознавания огня в видеосериях используются цветные данные и временные изменения малых участков изображений. В методе используется вручную промаркированное обучающее множество, формируемое заранее для создания таблицы поиска.

В [7–9] пожар определяется следующим образом. Сначала контур области огня определяется с помощью статистической цветовой модели HSV (hue-saturation-value: цветовой тон – насыщенность – значение). Полученная область преобразуется в полярные координаты. Результаты преобразования каждого входного изображения помещаются во временные ряды. Затем извлекаются данные колебаний – пространственно-временная информация о контуре преобразуется в частотную область (преобразование Фурье). Полученный набор вводится в нейронную сеть. Данная процедура обнаружения пожара дает хорошие результаты, но сложность вычислений слишком высока для использования в режиме реального времени.

В [10] описана система контроля леса, использующая камеру, управляемую удаленным оператором (используется приближение, поворот камеры), также предоставляются данные о

температуре, влажности, ветре, но система не может определять пожар автоматически. В отличие от этого видеодетекторы пожара должны работать без участия оператора, используя достаточно сложное ПО в режиме реального времени.

Таким образом, видеосистемы со специальным ПО представляют собой значительно более дешевую альтернативу тепловизорам, которые в принципе способны определять тепловые объекты на расстоянии 10–15 км, в том числе в ночное время, но из-за высокой цены, как правило, не используются для обнаружения возгораний.

Теоретический анализ

Рассмотрим принципы работы видеодетектора дыма более подробно. Для получения серии изображений используются, как правило, обычные видеокамеры наблюдения, видеопотоки от которых анализируются специализированным ПО. Оно осуществляет поиск на изображении определенных шаблонов, характерных для дыма, применяя алгоритмы детектирования и фильтрации ложных тревог. Видеодетектор дыма можно настроить на обнаружение шаблонов движения дыма в выбранных областях изображения, формируемого видеокамерой, путем анализа разностного изображения (между двумя последовательными кадрами): время реакции видеодетектора дыма составляет несколько секунд (рис. 2). После того, как видеодетектор обнаружил дым, система не только просигнализирует об этом оператору, но и покажет ему на мониторе соответствующие кадры с задымлением. При этом расстояние между телекамерой и источником задымления не имеет принципиального значения, это может быть 10 или 100 м. Все равно видеодетектор сможет обнаружить дым и обеспечить раннее оповещение, чего нельзя добиться с помощью традиционных сигнализаторов пожара.



Рис. 2. Детектирование дыма на видеоизображении (элементы дыма показаны стрелками)

Важно отметить, что системы, основанные на видеодетекторе дыма, принципиально отличаются от телекамер наблюдения, которые не в состоянии отличить дым от других источников движения. Сложные алгоритмы видеодетектора дыма позволяют ему, например, четко отличать дым от похожих на него явлений [11].

В настоящее время за рубежом все большее применение получают видеодетекторы дыма, интегрированные в системы сетевого видеонаблюдения. Все чаще они применяются в системах пожарной безопасности дорожных, железнодорожных и эксплуатационных тоннелей. Установка подобной системы производства компании D-Тес в дорожном туннеле гавани Сиднея являет собой пример возможностей по обеспечению оперативного обнаружения потенциального источника возгорания. В рассматриваемом примере система видеонаблюдения с видеодетектором дыма была подключена к 40 телекамерам, установленным в туннеле, что позволило гарантировать крайне важное раннее обнаружение дыма в туннеле. В туннеле была организована серия контролируемых возгораний автомобилей для того, чтобы проверить, как вытяжная система справится с удалением дыма, а также протестировать на практике способности точечных извещателей пожарной сигнализации и системы пожаротушения.

На этих испытаниях, когда горели реальные автомобили, температура в туннеле превышала 500 °С. Система видеонаблюдения с видеодетектором дыма сделала запись, а первый сигнал тревоги она подала уже через 14 сек после того, как появились первые видимые признаки дыма и прежде чем разгорелось видимое пламя. В течение всего времени испытаний система подала 30 сигналов тревоги. При этом во время этих испытаний ни одна из обычных систем пожарной сигнализации не заметила возгорание в туннеле [11].

В Академии Государственной противопожарной службы Российской Федерации разработано устройство, одновременно обнаруживающее и идентифицирующее такие факторы пожара, как пламя, дым, обрушение строительных конструкций с учетом различных условий освещенности и внешних искажений. Структурная схема предлагаемого устройства представлена на рис. 3.

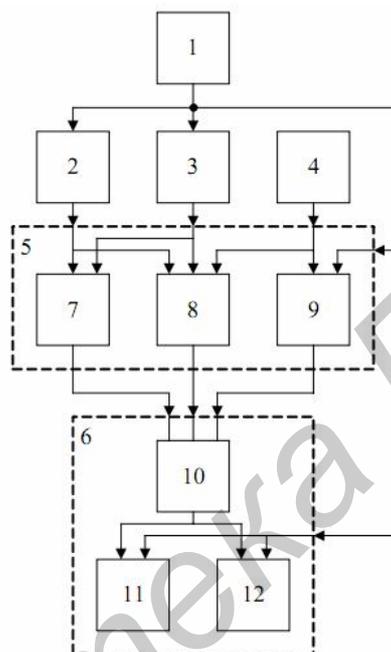


Рис. 3. Блок-схема устройства для обнаружения пожара на промышленных объектах: 1 – видеокамера; 2 – фильтр искажений; 3 – блок распознавания искажений; 4 – блок анализа фона; 5 – блок обнаружения пожара; 6 – модуль принятия решений; 7 – детектор пламени; 8 – детектор дыма; 9 – детектор активности (движения); 10 – блок логический; 11 – блок формирования извещений; 12 – блок архивации

В процессе функционирования цифровой сигнал с видеокамеры 1 поступает на фильтр искажений 2, блок распознавания искажений 3, детектор активности 9 и модуль принятия решений 6. В фильтре искажений 2 происходит очистка сигнала от искажений, вызванных кратковременным появлением в зоне обнаружения летящих целей, вспышек молний и т.п. В блоке распознавания искажений 3 происходит распознавание искажений, вызванных условиями окружающей среды и погодными условиями, не связанными с пожаром, такими как атмосферные осадки, ветер, туман и т.п. Распознанные искажения учитываются в алгоритме работы детектора пламени 7 и детектора дыма 8. В детекторе активности 9 происходит обнаружение движения в заданных областях.

Блок анализа фона 4 содержит фотоэлемент для определения условий освещенности объекта и выбора режима «день/ночь». Информация с блока анализа фона 4 учитывается при детектировании видеосигнала в блоках 8 и 9. После фильтра искажений 2 цифровой видеосигнал поступает на детектор пламени 7 и детектор дыма 8. В блоке 7 происходит анализ всего кадра видеоизображения и выделение на нем светлых зон (сегментов), «похожих» на пламя. Цветовая интенсивность и переменная составляющая выделенных светлых сегментов анализируется на видеоряде (например, из 8 кадров). При наличии определенного уровня яркости по каждому цветному каналу и флуктуации переменной составляющей определенной частоты, происходит выдача сигнала о срабатывании детектора пламени 7.

В блоке 8 происходит анализ всего кадра видеоизображения и выделение на нем темных зон (сегментов), «похожих» на дым. Векторная скоростная составляющая перемещения

темных сегментов анализируется в блоке 8 на видеоряде (например, из 8 кадров). При наличии определенного вектора и скорости переменной составляющей происходит выдача сигнала о срабатывании видеодетектора дыма 8.

В блоке 9 происходит обнаружение движения на заранее запрограммированных участках изображения. Сигнал о срабатывании детектора активности 9 выдается при наличии интенсивности движения заданного уровня.

На модуль принятия решений 6 поступают сигналы о срабатывании детектора пламени 7, детектора дыма 8 и детектора активности 9, а также цифровой сигнал с видеокamеры 1 для передачи на пульт наблюдения и архивации (на рис. 3 не показан). Блоком логическим 10, в соответствии с заданным алгоритмом, принимается решение о начале пожара: например, при срабатывании двух и более детекторов за определенный промежуток времени или срабатывании одного из детекторов с определенной периодичностью. Затем сигнал о пожаре поступает в блок архивации 12, где по команде с блока логического 10 он записывается в энергонезависимой памяти и в блок формирования извещений 11. Блок 11 формирует извещения о пожаре и преобразует видеоизображение в пакетную форму для передачи по команде в сигнальную линию.

Данное устройство предназначено главным образом для использования в системах пожарной сигнализации и пожаротушения для защиты крупных промышленных объектов, в том числе резервуарных парков хранения нефтепродуктов, сложных и крупногабаритных технологических установок на предприятиях нефтепереработки, где применение других известных средств обнаружения недостаточно эффективно. Оно может быть установлено в труднодоступных местах без постоянного пребывания людей, а также в обычных условиях для повышения достоверности и уменьшения времени обнаружения пожара [1, 12].

В настоящее время специалистами НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ совместно с НИИ ПБ и ЧС МЧС РФ в рамках выполнения задания Государственной программы научных исследований «Научное обеспечение безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций» на 2011–2015 гг. запланирована разработка макетного образца аппаратно-программного комплекса для дистанционного обнаружения и мониторинга пожаров со стационарных объектов и подвижных носителей.

Предлагаемая система обнаружения и мониторинга пожаров реального времени будет состоять из цветной цифровой камеры небольшого формата (либо, в варианте исполнения – трех миниатюрных цифровых черно-белых камер со специально подобранными оптическими/поляризационными фильтрами на входе каждой камеры), одноэлементных датчиков излучения среднего и теплового ИК-диапазонов с полями зрения, соответствующими камерам изображения, блока управления и обработки (одноплатный компьютер), помещенных в общий корпус. Система совместно использует информацию: по статистике цветовых каналов RGB-изображения (либо спектральных/поляризационных изображений в варианте исполнения), температурам, определяемым по датчикам ИК-каналов, и пространственно-временной динамике каждого пикселя цветовых каналов и температур.

Датчик среднего ИК-диапазона (3–5 мкм) наиболее функционален для обнаружения пожаров, поскольку этот диапазон имеет минимальное атмосферное ослабление и максимальную чувствительность. В среднем ИК-диапазоне излучение, испускаемое раскаленными телами максимально, при этом само пламя и дым почти прозрачны для излучения в этом диапазоне. В ряде реальных атмосферных ситуаций и условий пожара более точным оказывается определение температуры по тепловому ИК-каналу (8–13 мкм). Использование в совокупности с цифровой видеокamerой двух узких каналов, лежащих в среднем и тепловом ИК-диапазонах (недорогие одноэлементные приемники), значительно повышает надежность и точность обнаружения пожара и определения его параметров (температур, положения фронта пламени, скорости фронта).

Адаптивная модель фона наблюдаемой области и обобщенная цветовая и поляризационная модель пожара будут разработаны с помощью статистического анализа выборки изображений, содержащих пиксели пожара.

Алгоритм обработки последовательных кадров изображений будет использовать совместно цветовые данные пожара с временными изменениями идентифицированной области пожара на основе выделения фона. Система должна отличать похожие на пожар по цвету участки

(например, солнце) от настоящих пожаров в наблюдаемой области. Чтобы решить эту проблему, будет анализироваться информация о движении потенциального пожара. Достоверность обнаружения будет подтверждаться на основе пороговых алгоритмов детектирования повышения температур в результате обработки сигналов тепловых датчиков.

Таким образом, цветовые (спектральные/поляризационные) данные пожара, температура и движение (временные изменения) используются для классификации областей пожара и не-пожара. Система обнаружения пожара будет использоваться для определения пожара в последовательности кадров видеосерий в реальном масштабе времени.

В результате будут созданы макетный образец автоматической системы дистанционного обнаружения и мониторинга пожаров в реальном времени со стационарных пунктов и подвижных носителей и методика измерений, обнаружения и мониторинга пожаров с использованием созданной системы. Система позволит обеспечить высокое качество данных дистанционных измерений, в реальном времени обрабатывать данные, вести мониторинг пожара и прогнозировать его развитие, что приведет к снижению затрат при обнаружении и ликвидации пожаров, минимизации наносимого ущерба.

Макетный образец системы пройдет полигонные испытания, будет разработан регламент ее применения. Система будет выполнена на современном научно-техническом уровне, что позволит повысить качество и оперативность принимаемых решений по ликвидации обнаруженных пожаров, решать задачи мониторинга объектов и территорий в интересах МЧС РБ, Минлесхоза, других министерств и ведомств. Основные планируемые технические характеристики:

- определение малоразмерного пожара сразу же после его начала (несколько секунд);
- вероятность правильного обнаружения пожара должна составлять не менее 98 %;
- система должна пройти испытания и аттестацию в НИИ ПБ МЧС РБ.

Заключение

Пожар на начальном этапе развития проходит обычно четыре стадии: термодеструкция или тление (термическое разложение) твердого горящего материала, выделение дыма, пламя с дымом и открытое пламя. Анализ проведенных исследований позволяет сделать вывод о том, что обнаружение пожара на первой стадии с применением видеотехнологий дает больше времени для борьбы с его распространением прежде, чем он причинит значительный ущерб и разрушения. Традиционные дымовые пожарные извещатели, как правило, обнаруживают дым, когда пожар уже перешел во вторую стадию, что снижает эффективность его ликвидации [12].

Применение видеодетекторов позволяет осуществлять обнаружение таких опасных факторов пожара, как дым, пламенное горение в момент возникновения. Наличие видеoinформации с места срабатывания и видеоархивация поможет установить причину возникновения пожара и аварии, а также проанализировать действия персонала по их ликвидации. Кроме этого, с помощью систем видеодетектирования могут быть защищены сложные и протяженные технологические установки, которые не удается эффективно защищать традиционными средствами пожарной автоматики. При использовании современной оптики видеокамеры можно устанавливать за сотни метров от зоны контроля, полностью исключив воздействие на них агрессивной (пожаровзрывоопасной) среды, обнаруживать огонь и дым вне помещений. Наконец, этим системам присуща самодиагностика работоспособности.

На основе анализа изложенного материала можно выделить предполагаемую область применения систем, использующих видеодетекторы пожара:

- мониторинг дорожных, железнодорожных, эксплуатационных тоннелей, метро;
- мониторинг промышленных объектов с технологическими процессами;
- мониторинг лесных массивов.

Перспективными системами, отличающимися быстротой детектирования пожара и высокой вероятностью правильного их обнаружения, должны стать системы на основе комбинации цифровых видеокамер и тепловых датчиков.

APPLICATION OF THE VISION TECHNOLOGIES FOR OBJECT FIRE SAFETY ENHANCEMENT

L.V. KATKOVSKY, S.YU. VOROB'JOV

Abstract

The means for object fire safety enhancement by early fire detection with application of the vision technologies are examined. The structure and principle of operation for some forward-looking system based on integration of video cameras and thermal sensors are described.

Литература

1. Членов А.Н., Буцынская Т.А., Демехин Ф.В. и др. // Пожарная безопасность. 2008. №4. С. 96–101.
2. Членов А.Н., Фомин В.И., Буцынская Т.А. и др. Исследование и разработка средств обнаружения пожара. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb/2006-6/2006-6.html>.
3. Членов А.Н., Демехин Ф.В. Общие принципы построения видеодетектора пожара. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb/2005-4/2005-4.html>.
4. Cleary T., Grosshandler W. Survey of fire detection technologies and system evaluation/certification methodologies and their suitability for aircraft cargo compartments. US, 1999.
5. Davis W., Notarianni K. NASA fire detection study. US, 1999.
6. Water Philips III, Mubarak Shah, Niels da Vitoria Lobo. // Flame recognition in video, Pattern Recognition Letters 23. 2002. P. 319–327.
7. Neily L.E., Neville R.A., McNoll W.D. // 12th Canadian Symposium on Remote Sensing. 1989. Vol. 14. P. 2610–2610.
8. Yamagishi H., Yamaguchi J. // Proceedings of 1999 International Symposium on Micromechatronics and Human Science. 1999. P. 255–260.
9. Yamagishi H., Yamaguchi J. // 26th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society 12. 2000. P. 824–829.
10. Moutinho J.N., Mesquita F.D., Martins N. et al. // IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation 12. 2003. P. 191–194.
11. Мур Я. // It & Securiti NEWS. 2009. №11. С. 6.
12. Федоров А.В., Буцынская Т.А. Раннее обнаружение пожара техническими средствами пожарной сигнализации [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb/2009-1/2009-1.html>.