

# Разработка аппаратно-программного видеотеплового комплекса дистанционного обнаружения пожаров



Катковский Л.В., НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ, (докладчик)

Воробьев С.Ю., НИИ ПБ и ЧС МЧС РФ,  
Богуш Р.П., Бровко Н.В.,  
Полоцкий государственный университет

Обнаружение пожара на ранней стадии его возникновения является ключевой задачей современных систем пожарной охраны. В зависимости от состава горючих материалов и условий окружающей среды пожар на начальном этапе может характеризоваться различными факторами: локальным повышением температуры (тление), наличием дыма, пламени с дымом или только открытого пламени. Перспективным направлением развития средств раннего обнаружения пожаров является видеомониторинг, который имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными методами, а именно: обеспечивается обнаружение пожара на открытых пространствах; оборудование систем видеонаблюдения не должно находиться в непосредственной близости от потенциального очага возгорания; возможность обнаружения возгорания в начальной стадии с точным определением местоположения очага пожара.

Интенсивное развитие и использование видеодетекторов пожаров в последние годы обусловлено также тем, что оно становится эконо-

мически выгодным ввиду ряда факторов. Среди них: снижение цен на электронику, развитие систем связи (в том числе беспроводной), возможность автоматического обнаружения дыма и пламени как основных факторов, характеризующих пожар, непрерывный контроль, а также совмещение систем охранного видеонаблюдения и пожарной сигнализации в единое решение визуального контроля пространства.

Одним из основных недостатков автоматических систем дистанционного обнаружения пожаров является высокий процент ложных тревог, однако в последнее время разработаны некоторые способы по его минимизации. Это, в основном, новые, более сложные, варианты обработки изображений. При этом некоторым системам обнаружения пожара присуща высокая степень вычислений, что создает трудности в использовании их в режиме реального времени.

Другой недостаток систем видеонаблюдения, ограничивающий область их применимости, — относительно небольшие дальности обнаружения. Увеличение дальности действия, с одновременным снижением вероятности ложной тревоги, может быть обеспечено путем комбинации сенсоров, анализирующих электромагнитное излучение (включая изображения) в нескольких спектральных диапазонах (видимом, среднем ИК, тепловом ИК). Многоканальность также обеспечивает блокирование ложного сигнала как от прямого излучения различных источников света — ламп, солнца, так и от бликов-отражений излучения от местных предметов.

Основной задачей представляемой здесь разработки является создание отечественного недорогого аппаратно-программного комплекса дистанционного обнаружения и мониторинга пожаров со встроенной видеоаналитикой, основанной на анализе изображений видеодатчиков. Комплекс позволяет использовать совместно цветные,

температурные и временные характеристики в последовательности кадров видео-серий невысокой частоты и интегрировать данные ИК-датчиков для обнаружения пожара в реальном времени. Далее связь и передача данных могут осуществляться через Интернет и каналы мобильной связи.

Разрабатываемый аппаратно-программный комплекс представляет собой автономную оптоэлектронную систему видеонаблюдения, снабженную ИК-датчиками, применяемыми для параллельной (одновременной) регистрации видеозображения и таких факторов пожара, как превышение инфракрасного излучения (превышение температуры) над фоновым. Он может быть использован для раннего обнаружения пожара на промышленных предприятиях, объектах транспортной инфраструктуры, в лесном и сельском хозяйстве, на логистических объектах, а также объектах топливно-энергетического комплекса.

Видеотепловой комплекс состоит из цветной цифровой видеокамеры, одноэлементных (либо, в варианте исполнения, малоформатных матриц с небольшим числом элементов) приемников излучения среднего и теплового ИК-диапазонов, с полями зрения, соответствующими полю зрения видеокамеры, блоков питания, управления и обработки, помещенных в общий корпус (рис.1). ПО обработки данных совместно использует цветные (RGB) данные, сигналы ИК-каналов и движение (пространственно-временные изменения) для классификации областей пожара и не пожара в последовательности кадров в реальном времени.

Датчик среднего ИК-диапазона (3-5 мкм) наиболее функционален для обнаружения пожаров, поскольку этот диапазон имеет минимальное атмосферное ослабление и максимальную чувствительность. Излучение пожара здесь максимально, при этом само пламя и дым

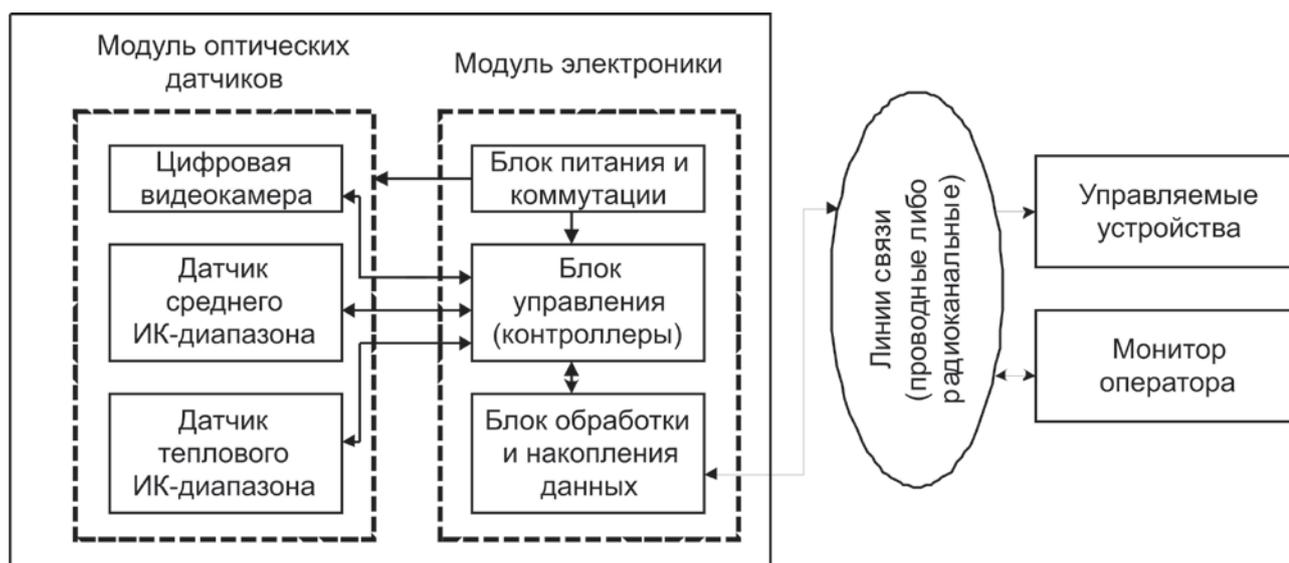


Рис. 1. Блок-схема аппаратно-программного комплекса обнаружения пожаров

почти прозрачны для излучения в этом диапазоне. В ряде реальных атмосферных ситуаций и условий пожара предпочтительным оказывается использование теплового ИК-канала, 8-14 мкм (более высокие температуры в канале при более высоких уровнях насыщения сигнала).

Важнейшим моментом был выбор ИК-датчиков и расчет рабочих параметров комплекса. Наиболее дешевый вариант ИК-датчика может быть реализован на основе одноэлементного фотоприемника смотрящего типа (без сканирования поля зрения) без охлаждения либо с применением недорогих одно- или двухступенчатых термоэлектрических охладителей. В качестве таких датчиков были рассмотрены болометры, пироэлектрики и фоторезисторы. В таблице 1 приведены рассчитанные для указанных датчиков предельные дальности обнаружения малоразмерного пожара (площадью 1м<sup>2</sup>) в среднем и тепловом ИК-диапазонах для чистой атмосферы и в условиях плохой видимости для широкого поля зрения (30-40°), соответствующего полю зрения видеокамеры.

В качестве видеокамеры для рассматриваемого комплекса была выбрана недорогая компактная сетевая камера Zavio F7110 с объективом Tampron Variofocal 3-8 мм с максимальной апертурой F/1,0. Эта камера имеет пороговую световую освещенность на входном зрачке 0,5 лк. С указанным объективом камера с форматом кадра 1/4" имеет следующие поля зрения (с учетом трансфокации): по горизонтали — 22,6-56,1°, по вертикали — 17,1-43,6°. Учитывая количество

пикселей камеры, 1280x1024, для мгновенного минимального поля зрения получаем 0,017°=0,00031 рад (на максимальном фокусе) и максимального — 0,044°=0,00076 рад (на минимальном фокусе). На расстоянии 1000 м, которое использовалось для расчета освещенностей, проекция пикселя на плоскость объекта имеет размеры от 0,31x0,31 м до 0,76x0,76 м. Как показывают расчеты, с расстояния 1 км очаг пожара размером 1 м<sup>2</sup> обнаруживаться видеокамерой не будет. Такого размера очаг пожара с температурой 1500К будет обнаруживаться видеокамерой с расстояния 220 м и менее. Для увеличения дальности обнаружения очага необходимо использовать видеокамеры с большей чувствительностью. На больших расстояниях малоразмерный очаг обнаруживается ИК-датчиками.

Запись видеоизображений будет вестись с помощью внутрен-

него устройства цифровой записи на встроенную карту формата MicroSD (например, объемом 16 Гб, на которую можно записать более 250 тыс. изображений в VGA-формате (640x480). Передавать по сети (или беспроводному каналу) можно только нужные кадры (с потенциальным или обнаруженным пожаром), снижая нагрузку на сеть (обычный сетевой кабель для электропитания и передачи данных) или используя низкоскоростные каналы связи (требуется меньшая ширина канала, так как обработка производится внутри комплекса). Старые записи можно автоматически перезаписывать (циклический буфер). Для сохранения изображения и управления записью по событию в автономном режиме требуется только питание PoE. Современные камеры наблюдения размером 3,1 Мп (2048x1536) позволяют получать изображения с частотой 20 кадр/

Таблица 1. Предельные дальности обнаружения R<sub>d</sub> очага пожара в ИК-диапазоне

Тип ИК-приемника	R <sub>d</sub> , км хорошая видимость	R <sub>d</sub> , км плохая видимость
спектральный диапазон 3-5 мкм		
Болометр, A <sub>D</sub> = 1x1 мм	3,8	2,0
Пироэлектрик, A <sub>D</sub> = 1x2 мм	5,4	2,6
Фоторезистор на основе халькогенита свинца, A <sub>D</sub> = 5x5 мм	7,5	3,2
спектральный диапазон 8-14 мкм		
Болометрическая матрица, A <sub>D</sub> = 50x50 мкм	11,0	4,1
Болометр, A <sub>D</sub> = 1x1 мм	4,7	2,3
Пироэлектрик, A <sub>D</sub> = 1x2 мм	4,1	2,2
Примечание: R <sub>d</sub> — предельная дальность обнаружения, -площадь приемника.		

сек. Для пожарной охраны объекта разрабатываемым комплексом будет достаточна частота 4-8 кадр/сек. Децентрализованная архитектура позволяет управлять устройством записи (запись по событию) и использовать недорогие и надежные стандартные сетевые устройства, не требующие специального ПО, что оптимально при малой пропускной способности проводной или беспроводной сети.

Высокая достоверность обнаружения пожара и низкая вероятность ложной тревоги, а также точность определения координат возгорания достигается как аппаратной частью (в большей степени характеристиками видеокамер и ИК-датчиков), так и алгоритмическим обеспечением. В то же время, построение эффективных методов и алгоритмов для интеллектуальных систем видеомониторинга пожаров является достаточно сложной задачей, поскольку реальные видеоизображения характеризуются значительным количеством различных шумов и возмущений, имеющих схожие характеристики с заданными объектами: туман, солнечная засветка, световые блики различного характера, медленно движущиеся малоконтрастные объекты, тени и т.д.. Исследования в данной области значительно активизировались в последние годы, но, несмотря на важность задачи, в настоящее время она не решена в полной мере.

Для обнаружения дыма в интеллектуальных системах видеонаблюдения, использующих стационарные видеокамеры, предлагается

детектор автоматического обнаружения дыма на основе анализа динамических и статических свойств видеоизображений. В основе работы детектора лежит алгоритм, включающий следующие основные шаги: предобработка кадров; построение фонового кадра и поиск движущихся областей; обнаружение областей-кандидатов; классификация движущихся областей-кандидатов.

Предобработка кадров видеоряда направлена на улучшение их яркостно-контрастных характеристик и уменьшение временных затрат на дальнейших этапах обработки. Движение рассматривается как первичный признак при обнаружении дыма, и на первом этапе алгоритма для извлечения из текущего кадра медленно движущихся областей применяется метод вычитания фона. Объединение движущихся пикселей в связанные области-кандидаты выполняется с использованием операций математической морфологии и контурного анализа.

Отличительной особенностью алгоритма является также то, что классификация областей осуществляется на основе анализа направления их векторов движения, определяемых блочным методом вычисления оптического потока, направленных под углом от 45° до 135° к нижней горизонтальной оси кадра (согласно основному направлению распространения дыма), и вычисления контраста Вебера. Такой подход позволяет достаточно эффективно отличать дым от объектов со схожим поведением. На заключительном

этапе блок классификации выдает сигнал тревоги в случае обнаружения дыма.

Предлагаемый алгоритм реализован программно с использованием Visual C++ и библиотеки алгоритмов компьютерного зрения и обработки изображений OpenCV. Для экспериментов использовались видеопоследовательности, полученные в реальных условиях, размещенные на сайтах <http://signal.ee.bilkent.edu.tr/VisiFire/Demo/SampleClips.html> и <http://www.openvisor.org>. На тестовых видеопоследовательностях присутствуют дым, движущиеся люди, движущийся транспорт, сложный динамический фон, исследовались также видеопоследовательности, которые не содержат дым. Время обработки текущего кадра зависит от размеров областей-кандидатов и изменчивости фона. Результаты показаны в таблице 2.

Результаты исследований разработанного детектора дыма свидетельствуют, что алгоритм обеспечивает достаточно стабильное его обнаружение на сложном динамическом фоне, обладает удовлетворительными временными затратами и может использоваться как в существующих системах видеонаблюдения при расширении их функциональных возможностей, так и при разработке новых видеосистем раннего обнаружения пожара.

В настоящее время разрабатывается алгоритм и ПО автоматического обнаружения открытого пламени по последовательности изображений. Макетный образец комплекса будет создан в следующем году. ■

**Таблица 2. Результаты обнаружения дыма алгоритмом**

Кадр видеоряда размером 320x240						
Описание видеоряда	Дым из дымовой шашки	Дым за окном	Дым в помещении	Дым на автостоянке, горит автомобиль	Мониторинг аудитории, наличие теней и бликов, дым отсутствует	Малоконтрастное изображение: движущиеся люди, тени, дым отсутствует
Среднее время обработки (мс)	12,7	14,8	14,9	15,5	16,4	14,6
Дым присутствовал / найден (номер кадра)	10/12	20/112	80/87	360/388	-/-	-/-
Число кадров с ложным обнаружением / общее число кадров	0/900	0/244	0/483	0/2200	0/1073	0/1179