

М. Ю. Соколов – магистрант кафедры компьютерной математики и программирования

М. А. Нарбут (д-р техн. наук, проф.) – научный руководитель

ОБНАРУЖЕНИЕ ОГНЯ В ВИДЕОПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

Пожары – одна из вечных проблем человечества с доисторических времен. Огонь может привести к человеческим жертвам или полностью экономически уничтожить предприятие – если, например, в заводском цеху сгорит конвейерное оборудование стоимостью в несколько миллионов долларов.

В настоящее время наиболее распространёнными способами для обнаружения огня являются пробы частиц и измерение внешней температуры. Однако они все требуют размещение соответствующих датчиков и приборов в непосредственной близости от источников возгорания. Кроме того, указанные методы не являются в достаточной степени надежными (особенно это относится к объектам, расположенным на открытом воздухе). Системы обнаружения дыма с помощью видеонаблюдения применяются в широчайшем спектре решений, где время реагирования является критическим параметром для минимизации ущерба от огня.

Детектирование огня по видеоизображению имеет ряд преимуществ, по сравнению с традиционными методами.

- к ним следует отнести возможность обнаружения огня даже на открытых пространствах, где обычные методы химического анализа бесполезны,
- реакция на возникновение опасной ситуации является практически мгновенной: обнаружение огня происходит в момент его возникновения,
- видеоизображение позволяет более точно определить место расположения очага возгорания,
- возможность проведение анализа уже имеющихся изображений с целью обнаружения огня на них, то есть осуществление поиска соответствующих кадров в видеоархивах.

Алгоритмы идентификации пожароопасных ситуаций на объектах требуют выполнения специфических процедур с кадрами видеопоследовательности, определенного порядка их анализа для выделения необходимых фрагментов на кадрах видеоизображения и дальнейшей идентификации возникновения пламенного горения. Идентификация наличия в кадре видеопоследовательности пламени выполняется с использованием цветовых и динамических характеристик изображения.

Исходя из вышесказанного, можно заключить, что надёжность функционирования автоматической системы идентификации признаков пожара на объекте будет зависеть от двух основных факторов: выбранного алгоритма обработки поступающей видеоинформации, а также качества получаемого видеоизображения (разрешение изображения, частота смены кадров, чувствительность и т.д.).

Основным отличием огня на сцене обычно является мерцание - постоянное изменение границ языков пламени и динамика изменения цвета пламени. Мерцание огня выявляется путем анализа видео с помощью вейвлетов. С их помощью можно построить многоступенчатый алгоритм, включающий в себя следующие этапы:

- определение движущихся пикселей или областей в данном кадре видеопоследовательности,
- проверка соответствия цвета выделенных движущихся пикселей заранее определенной цветовой гамме огня,
- дискретное вейвлет-преобразование (ДВП) применяется для проведения частотно-временного анализа исходного сигнала (яркость пикселя на заданных координатах i -го кадра, представленная массивом целых чисел).
- двухмерное дискретное вейвлет-преобразование (ДДВП), которое позволяет обнаруживать высокую частоту поведения не только на границе, но и внутри огневой области.

Движущийся пиксели и области в видеопотоке определяются при помощи метода вычитания фона. Пусть $Y_t(x, y)$ – значение яркости пикселя $I(x, y)$ в момент времени t . Тогда фон в момент времени $t+1$ вычисляется как

$$B_{t+1}(x, y) = \begin{cases} B_t(x, y), & \text{если пиксель } (x, y) \text{ относится к фону} \\ kB_t(x, y) + (1 - k)I_t(x, y), & \text{если пиксель } (x, y) \text{ относится к переднему плану} \end{cases},$$

где $B_t(x, y)$ – значение фона в точке (x, y) в предыдущий момент времени. Параметр k представляет собой действительное число, близкое к 1.

Для определения движущихся пикселей из текущего кадра вычитается фон:

$$|B_{t-1}(x, y) - I_t(x, y)| > h,$$

где h – пороговое значение.

В результате формируется бинарная маска *Blobs*, с помощью которой определяется, является ли пиксель (x, y) движущимся.[1]

На втором этапе происходит проверка цвета движущихся пикселей. Цвет проверяется с заранее заданным цветовым распределением, которое представляет собой возможную гамму огня в пространстве *RGB*. Такое распределение получается при помощи обработки изображений, содержащих области огня. Возможная цветовая гамма образует набор точек в трехмерном пространстве. Такой набор точек можно описать смесью гауссовских распределений в пространстве *RGB*.

Если пиксель относится к области пламени, то цвет данного пикселя попадает внутрь сферы. Введем бинарную маску, определяющую, имеет ли рассматриваемый пиксель цвет огня или нет. Ее пересечение с маской *Blobs* дает новую маску, называемую *Fire*. [1]

Третий этап включает временной анализ изменение значение яркости пикселя. Каждый пиксель $I(x, y)$ бинарной маски подается на вход двухступенчатой системы фильтрации (рис. 1). Сигнал $I(x, y)$ – это одномерный сигнал, представляющий собой временные изменения значений яркости пикселя (*Y* модели *YUV*). Двухступенчатая система фильтрации состоит из высокочастотного и низкочастотного фильтров, каждый из которых охватывает половину всего частотного диапазона и имеет следующие коэффициенты $\{-0.25; 0.5; -0.25\}$ $\{0.25; 0.5; 0.25\}$, т.е. сигналы на выходе фильтров определяются как $-0.25I_{t-1}(x, y) + 0.5I_t(x, y) - 0.25I_{t+1}$ и $0.25I_{t-1}(x, y) + 0.5I_t(x, y) + 0.25I_{t+1}$ соответственно. В результате фильтрации и прореживания получаются вейвлет –сигналы $d_t(x, y)$ и $e_t(x, y)$.

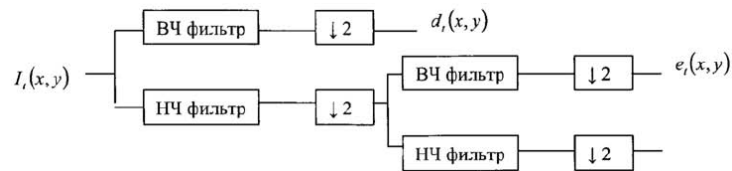


Рис. 1 Двухступенчатая система фильтрации

Если в точке (x, y) наблюдается высокочастотные осцилляции, то сигналы d_t и e_t будут иметь ненулевые значения. Для стационарных пикселей их значения будут нулевыми или очень близкими к нулю. Если пиксель в некоторый момент времени является частью границы пламени, то в некоторый промежуток времени будут появляться пики вследствие перехода цвета фона к цвету пламени и наоборот. Если же объект, окрашенный в цвет огня, движется через точку (x, y) , то в одном из профилей сигналов появится только один пик из-за перехода от фоновой цвета к цвету объекта. Таким образом, количество переходов через нуль сигналов d_t и e_t может быть использовано для отличия пикселей огня от пикселей объектов, имеющих цвет огня. [2] Для этого необходимо внести пороговое значение.

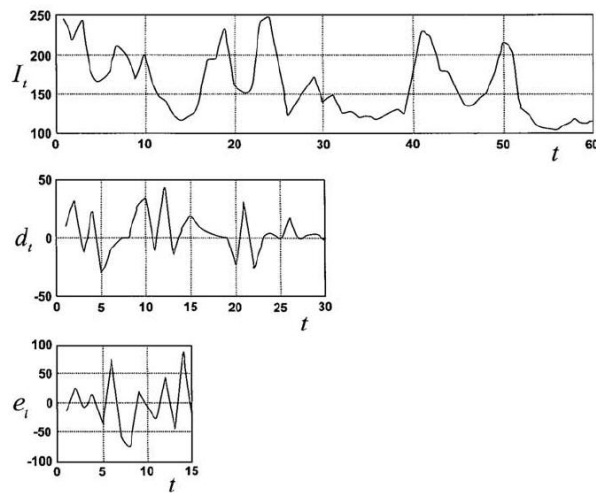


Рис. 2. Изменение во времени значения яркости Y пикселя $I(x, y)$ и вейвлет-сигналы d и e

Четвёртый этап включает пространственный анализ областей, содержащих пиксели маски Fire. В обычном объекте, имеющем цвет огня и, изменения значения яркости в движущихся областях будет незначительным. В движущихся областях, соответствующих пламени на изображении, такие изменения будут весьма существенные. Производится двумерное дискретное вейвлет преобразование. ДДВП состоит из поочередного одномерного вейвлет преобразования строк и столбцов матрицы значений яркости изображения. Сначала выполняется одномерное вейвлет-преобразование каждой строки в отдельности, преобразованная строка записывается на прежнее место. Далее вейвлет преобразование применяется ко всем столбцам. [3]

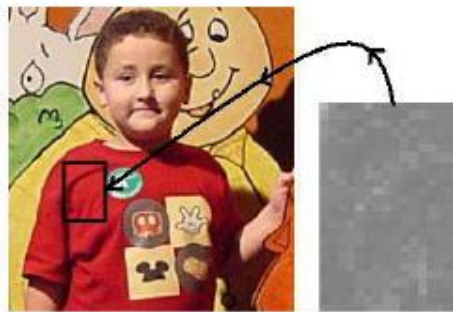


Рис. 3. Пространственный анализ похожей на пламя области

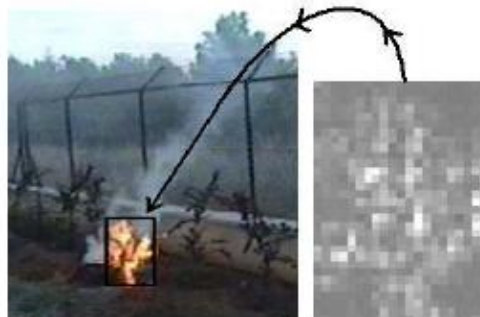


Рис. 4 Пространственный анализ области пламени

В результате изображение разбивается на четыре равных части. В результате вычисляется параметр v_4 :

$$v_4 = \frac{1}{MN} \sum_{x,y} |W^{lh}(x,y)|^2 + |W^{hl}(x,y)|^2 + |W^{hh}(x,y)|^2,$$

где $W^{lh}(x,y)$ – коэффициенты пространственного вейвлет-преобразования, получающиеся после применения сначала низкочастотных, а потом высокочастотных фильтров, $W^{hl}(x,y)$ – коэффициенты пространственного вейвлет-преобразования, получающиеся после применения высокочастотных сначала, а потом низкочастотных фильтров, $W^{hh}(x,y)$ – после двухразового применения высоко частного фильтра, MN – число пикселей изображения, соответствующим областям цвета огня. Если найденный параметр превышает наперед заданное пороговое значение, то существует большая вероятность того, что эта движущаяся и имеющиеся цвет огня область в действительность область огня.

После осуществления всех этапов необходимо принять решение о принадлежности выделенной области огня. Для этого рассчитывается величина H :

$$H = \sum_{i=1}^4 w_i v_i,$$

где w_i – заданные весовые коэффициенты, v_i – результаты четырех этапов алгоритма. Если значение H превышает значения порога, то считается, что данный пиксель является пикселем огня. Параметр $v_1 = 1$, если пиксель является движущимся, и $v_1 = 0$ – если он стационарен. Параметр $v_2 = 1$, если пиксель имеет цвет огня и 0 – в противном случае. Параметр $v_3 = 1$, если число переходов через 0 сигналов $d_t(x,y)$ и $e_t(x,y)$ в течение нескольких сигналов превышает пороговое значение и 0 – в противном случае. [2]

Данный подход для обнаружения пламени в видеопоследовательности на основе временного и пространственного анализа предполагаемой области дает более точные результаты. Он исключает возможность ложных срабатываний на солнечный свет и свет от лампы накаливания, а так же другие области, имеющий похожий цвет на цвет пламени.

Библиографический список

1. Лукьяница, А.А. Цифровая обработка видеоизображения/ А.А. Лукьяница, А.Г. Шишкин. М.: Ай – Эс – Эс Пресс, 2009. 518с.
2. Vision Based Fire Detection, Che-Bin Liu and Narendra Ahuja, Beckman Institute University of Illinois at Urbana-champaign.
3. Поликар Р. Введение в вейвлет–преобразование/Р. Поликар, пер. с англ. В.Г. Грибунин, Спб.: АБТЭКС, 2009. 59 с.