

УДК 621.39:519.2

АЛГОРИТМЫ АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ СИСТЕМЫ РАННЕГО ОБНАРУЖЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

В.Н. Васюков, А.Ю. Зайцева

Новосибирский государственный технический университет

Предлагаются некоторые алгоритмы анализа изображений, предназначенные для применения в программном обеспечении систем противопожарного видеомониторинга лесных массивов, а также алгоритмы предварительной обработки изображений, направленной на повышение эффективности таких систем. Основными являются алгоритм контрастного обнаружения объектов неопределенной формы на более темном неровном фоне, а также алгоритм обнаружения движения, основанный на сравнении соседних изображений одного и того же участка местности. Эти алгоритмы предназначены для обнаружения дымовых облаков, являющихся первыми признаками начинающегося лесного пожара. Для повышения эффективности этих алгоритмов предложены алгоритмы предварительной обработки изображений, а именно алгоритм выравнивания яркости фона, алгоритм сегментации изображения на зоны, занятые небом и лесом, а также алгоритм геометрического преобразования изображения с целью частичной компенсации перспективных искажений. Алгоритм выравнивания фона основан на принципах математической морфологии. При сегментации изображения на зоны, занятые небом и лесом, учитываются признак яркости, морфологический спектр бинаризованного изображения и признак удаленности от горизонтальных границ изображения. Дальнейшее развитие исследований предполагается в направлении разработки методов оценивания характеристик систем раннего обнаружения лесных пожаров путем имитационного динамического моделирования изображений дымовых облаков на фоне леса.

Ключевые слова: лесные пожары, раннее обнаружение, видеомониторинг, дымовое облако, сегментация, выравнивание фона, имитационное моделирование.

DOI: 10.17212/1727-2769-2014-4-57-69

Введение

Проблема своевременного обнаружения лесных пожаров является актуальной для многих стран мира, обладающих значительными лесными ресурсами. Огромные средства, затрачиваемые на пожаротушение, можно сберечь, если пожар будет обнаружен на стадии возникновения. Традиционными являются наземный, авиационный и спутниковый методы мониторинга лесных массивов. Авиационный и спутниковый методы эффективны при обнаружении пожаров, которые занимают значительную площадь. Кроме того, эти методы сопряжены со значительными затратами. Сравнительно недорогим и достаточно эффективным способом раннего обнаружения лесных пожаров является непрерывный наземный мониторинг лесных массивов с помощью видеокамер, устанавливаемых на пожарных вышках, вышках мобильной связи, высотных сооружениях и т. д.

Работа оператора такой системы весьма утомительна, так как требует постоянного внимания при визуальном анализе изображений лесных участков, доставляемых видеокамерами в соответствии с режимом обзора контролируемой территории. Эффективность работы оператора системы видеомониторинга уменьшается с возрастанием количества одновременно контролируемых им видеокамер. С другой стороны, увеличение количества камер в системе дает возможность расширения

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (госзадание, проект № 1176).

© 2014 В.Н. Васюков, А.Ю. Зайцева

контролируемой площади. Повышение эффективности системы может быть достигнуто путем автоматизации обработки видеoinформации, поступающей от камер. Таким образом, актуальной представляется задача построения алгоритмов анализа изображений с целью автоматического обнаружения признаков возгорания и распознавания очагов пожара.

За последние десятилетия в Хорватии, Италии, Германии, Португалии, а также в России было разработано несколько подобных друг другу систем видеомониторинга, однако ни одна из них, насколько известно авторам, не является полностью автоматизированной [1, 2]. Одна из таких систем, названная FireStation, была разработана сотрудниками Новосибирского государственного технического университета [3–6]. Общим недостатком известных в настоящее время систем противопожарного видеомониторинга является неполная автоматизация и наличие большого количества настраиваемых параметров (например, в работе [1] их приводится более двадцати).

В данной работе предлагаются некоторые алгоритмы предварительной обработки и анализа изображений, не требующие столь значительного числа настраиваемых параметров и обеспечивающие эффективное обнаружение лесных пожаров на стадии возникновения и начального развития.

1. Принципы построения системы раннего обнаружения лесных пожаров

Признаком начинающегося пожара в большинстве случаев можно считать появление и развитие дымового облака, которое, как правило, представляется светлым пятном неопределенной меняющейся формы на фоне сравнительно однородного более темного изображения леса. Действующая система включает купольные видеокамеры, снабженные web-интерфейсом и связанные с центральным компьютером диспетчерского пункта. Программное обеспечение системы управляет web-камерами в соответствии с режимом обзора лесного массива и анализирует поступающие от камер изображения. При круговом обзоре угловое перемещение каждой камеры осуществляется дискретно, благодаря чему возникает возможность сравнения изображений (снимков), полученных для одного и того же углового положения камеры в различные моменты времени. Временной интервал между такими изображениями может составлять от десятков секунд до десятков минут в зависимости от пропускной способности каналов связи, по которым доставляются изображения.

Для обнаружения дымового облака на фоне изображения лесного массива используются признак яркостного контраста и признак движения. Яркость дымового облака на этапе возникновения лесного пожара практически всегда превышает среднюю яркость фона (отметим, что алгоритм обнаружения, основанный на признаке повышенной яркости, пригоден и для обнаружения пожаров в темное время суток, так как реагирует на пламя). Задача обнаружения дымового облака осложняется как неопределенностью его формы, так и значительными колебаниями яркости фона, образованного изображениями отдельных деревьев. Кроме того, характеристики фона существенно меняются в зависимости от времени суток, времени года, погодных условий и т. д.

В процессе работы системы могут происходить ошибки двух видов: решение о наличии возгорания, когда его нет (ошибка первого рода) и решение об отсутствии возгорания, в то время как оно имеет место (ошибка второго рода). Причинами ошибок первого рода (ложных тревог) могут быть локальные изменения яркости фона, а также движение фрагментов изображений. В системах, предназначенных для обнаружения редких событий, к которым относятся возгорания, как правило, стремятся к тому, чтобы вероятность ошибки первого рода не пре-

вышла заданного уровня (критерий Неймана–Пирсона). Для снижения вероятности ложной тревоги без ущерба для вероятности правильного обнаружения целесообразно выделить на изображении области, которые заведомо не могут представлять интереса, например, дороги, небо и другие объекты, исключив их из анализа. Далее такие области называются зонами нечувствительности. Область неба может занимать до 40–50 % площади изображения, поэтому отнесение ее к зоне нечувствительности существенно снижает вероятность ложной тревоги. В действующей системе зоны нечувствительности задаются оператором вручную при начальной настройке системы, что возможно благодаря тому, что круговой обзор осуществляется дискретно с фиксированным шагом по азимуту, поэтому камеры автоматически устанавливаются с высокой точностью в одинаковые положения при переходе на новый цикл обзора. Очередное изображение практически точно по ориентации и направлению совпадает с последующим и предыдущим изображениями данного участка местности. Поэтому границы зон нечувствительности задаются однажды и остаются в дальнейшем неизменными.

Алгоритм обнаружения дымовых облаков по признаку яркостного контраста [6–9] основан на анализе динамики характеристик связанных компонент пороговых множеств при понижении порога. Под пороговым множеством понимается множество точек изображения, в которых функция яркости (светлоты) превышает заданный порог.

Полутоновое изображение можно описать функцией двух переменных $f(x, y)$, где x, y – координаты точки на плоскости, принадлежащей области Ω . Пороговое множество, ассоциированное с порогом a , определяется выражением

$$T_a = \{(x, y) : f(x, y) \geq a\}.$$

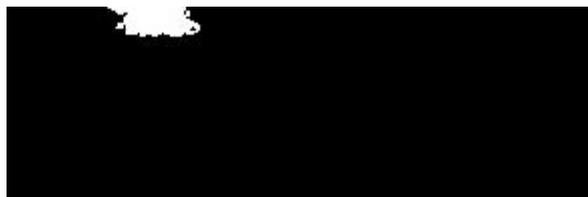
Изменение порога a в пределах $(-\infty, \infty)$ порождает семейство (ансамбль) пороговых множеств $T = \{T_a, a \in \mathbb{R}\}$, которое позволяет восстановить полутоновое изображение путем выполнения операции $f(x, y) = \sup\{a, (x, y) \in T_a\}$. Представление полутонового изображения, заданного на непрерывной плоскости, через пороговые множества инвариантно относительно любого монотонного преобразования яркости. Для цифрового изображения $f[m, n]$, принимающего целые значения $0, 1, \dots, A$ на множестве точек с целыми координатами m, n , пороговое множество T_a можно определить аналогично, как $T_a = \{(m, n) : f[m, n] \geq a\}$. Исходное изображение может быть восстановлено посредством операции $f[m, n] = \max\{a, (m, n) \in T_a\}$. Представление цифрового изображения, заданного на дискретной плоскости, через пороговые множества приближенно инвариантно относительно монотонных преобразований шкалы яркости.

Пороговое множество может состоять из одной или нескольких связанных компонент. При понижении порога связанные компоненты могут возникать, расти и сливаться, при этом поведение таких характеристик, как количество связанных компонент, их средняя и максимальная мощность (площадь), различается при наличии на изображении объекта интереса и в его отсутствие. Решение об обнаружении объекта принимается при превышении заданного порогового значения k_0 показателем $k = S_{\max} / \bar{S}$, равным отношению максимальной площади S_{\max} связанной компоненты порогового множества к средней площади \bar{S} остальных компонент. Если по достижении количества связанных компонент, равного заранее задан-

ному значению N , превышения не произошло, принимается решение об отсутствии объекта. Работоспособность алгоритма подтверждена экспериментами с использованием реальных изображений. Преимуществом алгоритма является его слабая чувствительность к монотонным нелинейным преобразованиям шкалы яркости; кроме того, при его построении не использовались предположения о статистических свойствах изображения. Единственными параметрами алгоритма, требующими настройки, являются k_0 и N . Пример изображения дымового облака на фоне леса и результат его обнаружения по контрастному признаку приведены на рис. 1, а, б.



а



б

Рис. 1 – Дымовое облако на фоне леса (а) и результат работы алгоритма контрастного обнаружения (б)

Fig. 1 – Smoke cloud on wood background (а) and contrast detection algorithm performance result (б)

Алгоритм обнаружения движения использует подход, основанный на вычитании двух изображений (кадров), полученных от одной камеры с интервалом, равным периоду кругового обзора. Камеры при круговом обзоре вращаются дискретно, поэтому на этих кадрах формируются изображения одного и того же участка местности, которые при отсутствии в поле зрения движущихся объектов отличаются незначительно. Результатом вычитания изображений, полученных для одного участка в соседних циклах сканирования, является изображение, элементы которого заметно отличаются от нуля в тех областях, где имело место значительное изменение (движение). Для обнаружения этих областей используется алгоритм контрастного обнаружения, описанный выше (рис. 2, а–в).

Пара алгоритмов обнаружения, основанных на признаках яркостного контраста и движения, может быть использована в различных вариантах. Можно обнаруживать области движения, а затем проверять, имеется ли значительное превышение яркости над окружающим фоном. Второй вариант заключается в применении алгоритма контрастного обнаружения и последующей проверке, движется ли обнаруженный объект. Алгоритмы могут также выполняться параллельно, тогда решение об обнаружении принимается, если оба алгоритма дают совпадающие решения о наличии признаков дымового облака. Во всех случаях применение пары алгоритмов уменьшает вероятность ложной тревоги и повышает эффективность системы.

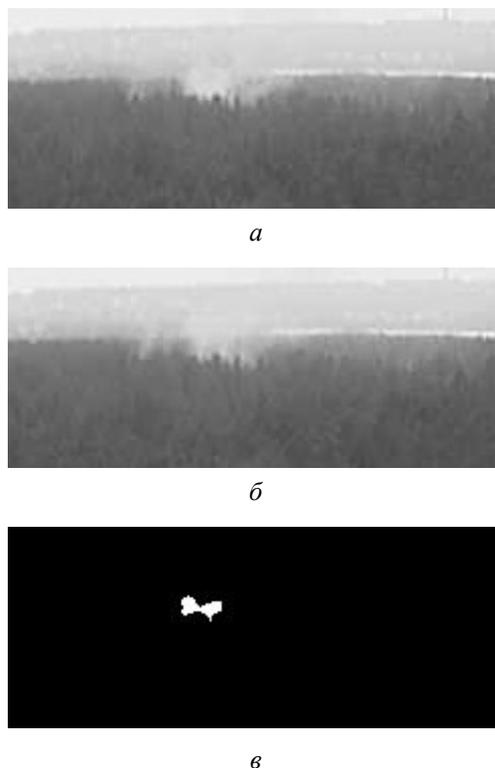


Рис. 2 – Соседние изображения (а, б) и результат обнаружения движения (в)

Fig. 2 – Neighboring images (a, b) and result of movement detection (c)

Описанные алгоритмы анализа изображений представляют собой ядро программного обеспечения системы раннего обнаружения лесных пожаров [4–5]. Для более надежного и эффективного функционирования системы ниже предлагаются алгоритмы предварительной обработки изображений.

2. Алгоритмы предварительной обработки изображений

Выравнивание яркости фона

Алгоритм контрастного обнаружения обладает достаточной эффективностью, если выполняется основное условие: фон представляет собой функцию двух переменных, которая колеблется около некоторого в среднем постоянного значения. Иными словами, в изображении должен отсутствовать яркостный тренд.

Реальные изображения характеризуются значительной вариацией как средней яркости, так и размаха колебаний яркости относительно среднего уровня, поэтому необходимым этапом предварительной обработки представляется выравнивание фона. Под этим далее понимается компенсация яркостного тренда, вызванного в частности наличием атмосферной дымки, благодаря которой с увеличением расстояния до наблюдаемого объекта, как правило, повышается яркость и уменьшается контрастность изображения.

Для выравнивания фона используется алгоритм, основанный на применении операций математической морфологии – размыкания и замыкания [6, 10]. Изображение N , получаемое в результате выравнивания, определяется путем вычита-

ния из исходного изображения A среднего арифметического результатов комбинаций операций размыкания \circ и замыкания \bullet исходного изображения A структурным элементом B в форме диска (радиус диска, равный 5, подобран эмпирически):

$$N = A - [(A \bullet B) \circ B + (A \circ B) \bullet B] / 2.$$

Пример результата успешного выравнивания показан для одного столбца изображения на рис. 3. Рамкой выделен участок, соответствующий области изображения, подлежащей анализу с целью обнаружения дымовых облаков (остальная часть изображения относится к зоне нечувствительности).

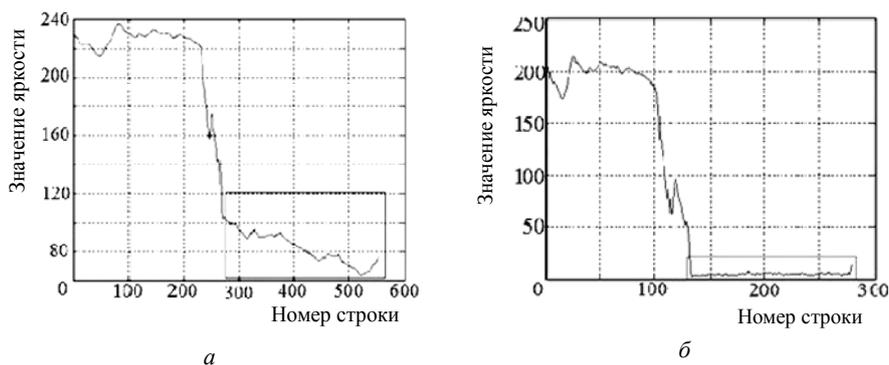


Рис. 3 – Зависимость средней по строке яркости от номера строки изображения до (а) и после (б) морфологического выравнивания яркости

Fig. 3 – Average row intensity dependence on image row number before (a) and after (b) morphological intensity aligning

Геометрическое преобразование текстуры фона

Изображения леса имеют явно выраженный текстурный характер, однако текстура является неоднородной из-за того, что она образована изображениями объектов (деревьев), имеющими разные угловые размеры в зависимости от дальности. Представляется целесообразным производить геометрическое преобразование изображений с целью частичной компенсации действия законов геометрической перспективы. Данное преобразование позволяет повысить однородность текстуры леса, образованной кронами деревьев, и текстуры неба, образованной очертаниями облаков. Это способствует повышению эффективности алгоритмов, основанных на анализе динамики пороговых множеств, а также текстурной сегментации, рассматриваемой далее.

Преобразование, предназначенное для компенсации перспективных искажений текстуры, сводится к передискретизации столбцов изображения с переменным шагом, изменяющимся по закону, учитывающему увеличение углового размера объекта при его приближении к камере. Эффект выравнивания текстуры достигается благодаря тому, что отсчеты переднего плана берутся все реже, и их количество уменьшается (рис. 4).

Сегментация изображения

Наблюдение за охраняемой территорией обычно осуществляется в режиме кругового обзора; при необходимости оператор может использовать ручной режим управления выбранной камерой для более детального изучения подозрительного участка. Гибкость системы видеонаблюдения существенно возрастает при введении режима патрулирования по заданному маршруту (под маршрутом

понимается последовательность угловых положений, в которые перемещается оптическая ось камеры). Работа, связанная с заданием зон нечувствительности при вводе нового маршрута требует определенной квалификации, которой оператор может не обладать, а также значительных временных затрат. Таким образом, возникает потребность в автоматической сегментации изображения на области, занятые лесом (который представляет собой объект мониторинга) и небом, которое должно быть отнесено к зоне нечувствительности алгоритма обнаружения.

*a**б*

Рис. 4 – Исходное изображение (*a*) и результат его геометрического преобразования (*б*)

Fig. 4 – Initial image (*a*) and result of geometric transformation (*b*)

В основе процедур разделения изображения на области (сегментации) лежит различие областей по некоторым признакам, например, по яркости, цвету или текстуре [11]. В данной работе в качестве признаков, позволяющих разделить точки изображения на два класса – «небо» и «лес», использована совокупность текстуры, яркости и признака, характеризующего удаленность точек изображения от противоположных горизонтальных границ изображения.

Существует множество подходов к текстурной сегментации. Наряду со статистическими, структурными и спектральными методами сегментации широко применяются методы математической морфологии.

С точки зрения минимизации вычислительных затрат целесообразно заменить полутоновое изображение бинарным контурным препаратом (рис. 5). При такой замене информация о текстуре в значительной степени сохраняется благодаря тому, что текстура характеризуется не абсолютными значениями яркости изображения, а локальными изменениями яркости и их взаимным расположением [12]. Для выделения контуров используется оператор Кэнни [13].

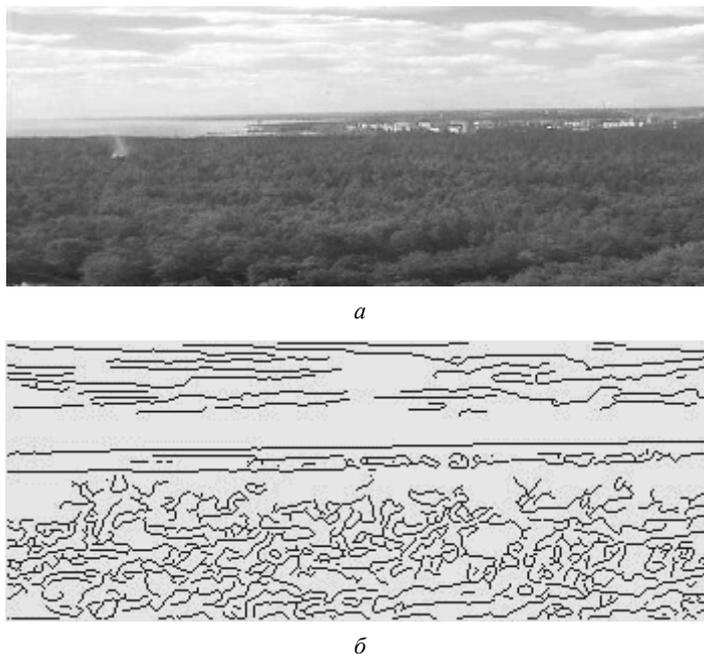


Рис. 5 – Изображение (а) и его контурный препарат (б)

Fig. 5 – Grayscale image (a) and it's binary skeleton (b)

Видно, что в области изображения, занятой лесом, контурные линии расположены ближе друг к другу, чем контуры в области, занятой небом (эта закономерность усиливается благодаря предварительному применению геометрического преобразования изображения). Это различие, формально выраженное различием морфологических спектров, построенных отдельно для областей леса и неба, используется для сегментации.

Морфологический спектр представляет собой зависимость количества единичных пикселей, сформировавшихся в результате морфологической обработки, от размера структурного элемента. В качестве морфологической операции выбрана эрозия изображения контурного препарата круглым структурным элементом.

Для выделения текстурного признака изображение контурного препарата сканируется скользящим окном прямоугольной формы; при каждом его положении вычислялся морфологический спектр части изображения, заключенной в окне. Получаемые векторы морфологических спектров существенно различаются для областей неба и леса. Оказалось, что достаточно использовать всего одно значение морфологического спектра (при одинаковых значениях аргумента) для эффективного различения областей.

Яркостный признак выражается в существенном различии средних уровней яркости изображения в областях леса и неба. Каждый столбец изображения сканируется вертикальным одномерным окном; попавшие в окно значения яркости усредняются, результат присваивается центральной точке окна. Множество усредненных значений яркости рассматривается в качестве второго признака различия областей леса и неба.

Третий признак формируется на основе того, что вероятность принадлежности пиксела классу «лес» уменьшается при движении по изображению снизу вверх, в то время, как для класса «небо» она увеличивается. Поэтому в качестве третьего классификационного признака выбран номер строки изображения.

В трехмерном пространстве признаков разбиение точек изображения на два класса – «небо» и «лес» производится методом кластерного анализа, известным как метод «*k*-средних».

С точки зрения снижения вероятности ложной тревоги форма границы не так важна, как площадь и расположение области неба, относимой к зоне нечувствительности. Поэтому найденная граница аппроксимируется линейной функцией по методу наименьших квадратов; а поскольку признак возгорания – дым может располагаться выше линии горизонта, то, чтобы не увеличить вероятность пропуска, найденная граница, определяющая границу зоны нечувствительности, принимается на некоторую величину («запас»), определяемую эмпирически (рис. 6) [14–15].

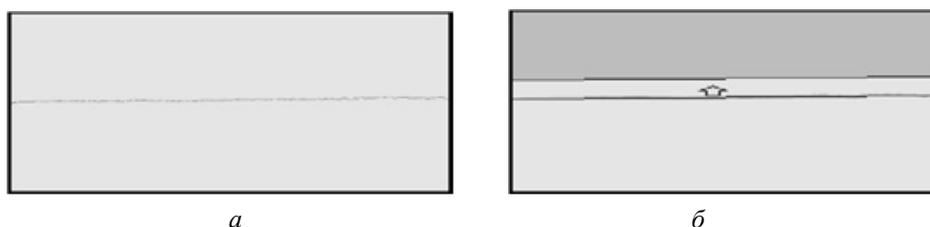


Рис. 6 – Найденная граница между областью неба и леса (а), ее линейная аппроксимация и определенная зона нечувствительности (б)

Fig. 6 – The boundary between sky and wood regions (а), linear approximation and the defined dead zone (б)

Моделирование динамических изображений дыма и фона

Одной из проблем, связанных с разработкой алгоритмов раннего обнаружения лесных пожаров, является оценивание их эффективности. Как правило, в системах противопожарного мониторинга используются разнородные алгоритмы, в том числе эвристические, поэтому оценить их эффективность аналитически не представляется возможным или такой анализ крайне затруднен. Естественной альтернативой представляется экспериментальная оценка эффективности на основе реальных наблюдаемых изображений. Однако помимо больших временных затрат такому способу оценки свойственно принципиальное ограничение: он практически непригоден для оценивания вероятности правильного обнаружения возгорания. Причиной этого является то обстоятельство, что пожар является событием редким в статистическом смысле, в то время как для оценивания вероятности некоторого события с приемлемой точностью количество благоприятных исходов должно быть весьма значительным. Таким образом, практически единственным выходом представляется моделирование изображений дымовых облаков с последующим наложением их на изображения леса. В работе [16] была предложена динамическая модель изображения дымового облака, основанная на концепции клеточного автомата. Эта модель может использоваться для сравнения эффективности различных алгоритмов обнаружения путем генерирования достаточного количества изображений дымовых облаков и внедрения их в реальные изображения фона. Дальнейшим развитием этого подхода является разрабатываемая в настоящее время модель динамического фона, предполагающая имитацию колебаний деревьев под действием ветра. Это позволит приблизить условия применения алгоритмов к реальным и более адекватно оценивать их характеристики, включая вероятности правильного обнаружения и ложной тревоги.

Заключение

Предложены алгоритмы предварительной обработки и анализа изображений, позволяющие повысить эффективность системы раннего обнаружения лесных пожаров.

Пара алгоритмов обнаружения, основанных на признаках яркостного контраста и движения, может быть использована разными способами. Можно обнаруживать движущиеся объекты, а затем проверять, имеется ли значительное превышение яркости над окружающим фоном. Другой вариант заключается в применении алгоритма обнаружения по яркостному контрасту, после чего выполняется проверка, движется ли обнаруженный объект. Наконец, алгоритмы могут выполняться параллельно, тогда решение об обнаружении принимается, если оба алгоритма дают совпадающие решения о наличии признаков дымового облака. Во всех случаях применение пары алгоритмов уменьшает вероятность ложной тревоги и повышает эффективность системы.

Отнесение к зоне нечувствительности области неба, которая заведомо не может содержать признаков пожара, направлено на снижение вероятности ложной тревоги без уменьшения вероятности правильного обнаружения. Предложенный алгоритм автоматической сегментации изображения на области леса и неба даже с учетом возможных неточностей снижает вероятность ложной тревоги без ущерба для вероятности правильного обнаружения. Использование геометрического преобразования изображений вместе с процедурой выравнивания яркости улучшает условия применения контрастного алгоритма и повышает качество сегментации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wildfire smoke detection using computational intelligence techniques enhanced with synthetic smoke plume generation / R.D. Labati, A. Genovese, V. Piuri, F. Scotti // *Systems, Man, and Cybernetics*. – 2013. – Vol. 43, iss. 4. – P. 1003–1012. – doi: 10.1109/TSMCA.2012.2224335.
2. Šerić L., Stipaničev D., Štula M. Observer network and forest fire detection // *Information Fusion*. – 2011. – Vol. 12, iss. 3. – P. 160–175. – doi: 10.1016/j.inffus.2009.12.003.
3. Васюков В.Н., Подовинников А.Н., Васюков В.В. Программное обеспечение диспетчерского пункта видеосистемы обнаружения лесных пожаров // *Сборник научных трудов НГТУ*. – 2007. – № 3 (49). – С. 69–74.
4. Васюков В.Н., Бондаренко В.В. Архитектура программно-аппаратного комплекса автоматизированного обнаружения лесных пожаров // *Современные проблемы радиоэлектроники: сборник научных трудов Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых и студентов, посвященной 117 годовщине Дня радио*, г. Красноярск, 3–4 мая 2012 г. – Красноярск: Изд-во СФУ, 2012. – С. 197–201.
5. Бондаренко В.В., Васюков В.В. Программно-аппаратный комплекс автоматизированного обнаружения лесных пожаров // *Материалы XI международной конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП-2012»*, Новосибирск, 2–4 октября 2012 г. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2012. – Т. 2. – С. 59–64.
6. Vasuyukov V., Kalennikova E. An adaptive procedure of smoke and background discrimination in the early fire detection video system // *Proceedings of the 6th International Forum on Strategic Technology IFOST 2011, August 22–24, 2011*. – Harbin, China, 2011. – P. 844–847. – doi: 10.1109/IFOST.2011.6021152.
7. Васюков В.Н. Контрастное обнаружение объектов неопределенной формы на сложном фоне // *Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации*. – 2012. – № 1 (18). – С. 61–68.
8. Васюков В.Н., Бондаренко В.В. Адаптивный выбор порога при контрастном обнаружении объектов неопределенной формы на неровном фоне // *Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации*. – 2013. – № 2 (21). – С. 34–45.
9. Bondarenko V.V., Vasuyukov V.N. Adaptive thresholding for contrast detection of objects of indefinite form // *Proceedings of 14 International conference of Young Specialists on*

- Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM 2013), Altai, Erlagol, 1–5 July 2013. – Novosibirsk: NSTU Publ., 2013. – P. 59–62. – doi: 10.1109/EDM.2013.6641941.
10. **Васюков В.Н., Зайцева А.Ю.** Предварительная обработка изображения для контрастного обнаружения объекта неопределенной формы на сложном фоне // Сборник научных трудов НГТУ. – 2013. – № 1 (71). – С. 65–71.
 11. **Petrou M., Sevilla P.G.** Image processing: dealing with texture. – Chichester, England: John Wiley & Sons, 2006. – P. 527–528.
 12. **Васюков В.Н.** Бинарная гиббсовская модель текстуры для анализа и сегментации изображений // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. – 2005. – № 2 (5). – С. 81–93.
 13. **Sanny J.** Computational approach to edge detection // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1986. – Vol. PAMI-8, iss. 6. – P. 679–698. – doi: 10.1109/TPAMI.1986.4767851.
 14. **Зайцева А.Ю., Васюков В.Н.** Алгоритм сегментации изображений для системы противопожарного мониторинга // Современные проблемы радиоэлектроники: сборник научных трудов Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых и студентов, посвященной 119 годовщине Дня радио, Красноярск, 6–8 мая 2014 г. – Красноярск: Изд-во СФУ, 2014. – С. 165–170.
 15. **Vasyukov V.N., Zaitseva A.Y.** Image analysis algorithms for forest fire monitoring systems // 12th International Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE-2014). – Novosibirsk: NSTU Publ., 2014. – Vol. 1. – P. 327–331.
 16. **Vasyukov V.N., Podovinnikov A.N.** Simulating 2D images of smoke clouds for the purpose of fire detection algorithms adjustment // Proceedings of the Third International Forum on Strategic Technology IFOST 2008, June 23–29, 2008. – Novosibirsk; Tomsk, 2008. – P. 369–370. – doi: 10.1109/IFOST.2008.4602977.

IMAGE ANALYSIS ALGORITHMS FOR SYSTEMS OF EARLY FOREST FIRE DETECTION

Vasyukov V.N., Zaitseva A.Yu.

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

We propose some image analysis algorithms intended for software used in forest fire early detection systems and image pre-processing algorithms aimed at increasing the effectiveness of such systems. The core algorithms are the algorithm of contrast detection of shapeless objects against the low-intensity rough background and the algorithm of movement detection. The later is based on the comparison of two images of the same forest region. The proposed algorithms are developed for detecting smoke clouds which are initial features of an incipient fire. To increase the effectiveness of the suggested algorithms image pre-processing algorithms are used, namely a background intensity smoothing algorithm, an algorithm of image segmentation into sky and wood regions, and a geometric image transformation algorithm to partially compensate image perspective distortions. Background intensity smoothing is based on mathematical morphology methods. Image segmentation is provided by using an intensity characteristic, a morphological spectrum of a binary image and remoteness from horizontal image boundaries. Further development of methods for evaluating characteristics of early forest fire detection systems by means of simulation modeling of smoke clouds against the wood background is planned.

Keywords: forest fire, early detection, video monitoring, smoke cloud, image segmentation, background intensity aligning, simulation modeling.

REFERENCES

1. Labati R.D., Genovese A., Piuri V., Scotti F. Wildfire smoke detection using computational intelligence techniques enhanced with synthetic smoke plume generation. *Systems, Man, and Cybernetics*, 2013, vol. 43, iss. 4, pp. 1003–1012. doi: 10.1109/TSMCA.2012.2224335
2. Šerić L., Stipaničev D., Štula M. Observer network and forest fire detection. *Information Fusion*, 2011, vol. 12, iss. 3, pp. 160–175. doi: 10.1016/j.inffus.2009.12.003

3. Vasyukov V.N., Podovinnikov A.N., Vasyukov V.V. Programmnoe obespechenie dispetcherskogo punkta videosistemy obnaruzheniya lesnykh pozharov [Software for the control centre of early forest fire detection videosystem]. *Sbornik nauchnykh trudov NGTU – Transaction of Scientific Papers of Novosibirsk State Technical University*, 2007, no. 3 (49), pp. 69–74.
4. Vasyukov V.N., Bondarenko V.V. [Forest fire automated detection hardware and software suite architecture]. *Sbornik nauchnykh trudov Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii molodykh uchenykh i studentov "Sovremennye problemy radioelektroniki"* [Collection of scientific works of Russian scientific and technical conference of young scientists and students "Modern problems of radioelectronics"], 3–4 May 2012, Krasnoyarsk, SFU Publ., 2012, pp. 197–201.
5. Bondarenko V.V., Vasyukov V.N. [Forest fire automated detection hardware and software suite]. *Materialy XI mezhdunarodnoi konferentsii "Aktual'nye problemy elektronnoy priborostroeniya APEP-2012"* [Proceedings of 11th International Conference "Actual Problems of Electronics Instrument Engineering APEIE-2012"], Novosibirsk, 2012, vol. 2, pp. 59–64.
6. Vasyukov V.N., Kalennikova E. [An adaptive procedure of smoke and background discrimination in the early fire detection video system]. Proceedings of the 6th International Forum on Strategic Technology IFOST 2011, Harbin, China, August 22–24, 2011, pp. 844–847. doi: 10.1109/IFOST.2011.6021152
7. Vasyukov V.N. Kontrastnoe obnaruzhenie ob'ektov neopredelennoi formy na slozhnom fone [Contrast detection of indefinite form objects at composite background images]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii – Proceedings of the Russian higher school Academy of sciences*, 2012, no. 1 (18), pp. 61–68.
8. Vasyukov V.N., Bondarenko V.V. Adaptivnyi vybor poroga pri kontrastnom obnaruzhenii ob'ektov neopredelennoi formy na nerovnom fone [Adaptive thresholding for contrast detection of shapeless objects against uneven background]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii – Proceedings of the Russian higher school Academy of sciences*, 2013, no. 2 (21), pp. 34–45.
9. Bondarenko V.V., Vasyukov V.N. Adaptive thresholding for contrast detection of objects of indefinite form. Proceedings of 14 International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM 2013), Altai, Erlagol, 1–5 July 2013, Novosibirsk, NSTU Publ., 2013, pp. 59–62. doi: 10.1109/EDM.2013.6641941
10. Vasyukov V.N., Zaitseva A.Yu. Predvaritel'naya obrabotka izobrazheniya dlya kontrastnogo obnaruzheniya ob'ekta neopredelennoi formy na slozhnom fone [Image preprocessing for contrast detecting an object of indefinite form on the complex background]. *Sbornik nauchnykh trudov NGTU – Transaction of Scientific Papers of Novosibirsk State Technical University*, 2013, no. 1 (71), pp. 65–71.
11. Petrou M., Sevilla P.G. Image processing: dealing with texture. Chichester, England, John Wiley & Sons, 2006, pp. 527–528.
12. Vasyukov V.N. Binarnaya gibbsovskaya model' tekstury dlya analiza i segmentatsii izobrazhenii [Binary Gibbs model of texture for image analysis and segmentation]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii – Proceedings of the Russian higher school Academy of sciences*, 2005, no. 2 (5), pp. 81–93.
13. Canny J. A Computational approach to edge detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1986, vol. PAMI-8, iss. 6, pp. 679–698. doi: 10.1109/TPAMI.1986.4767851
14. Zaitseva A.Yu., Vasyukov V.N. [Image segmentation algorithm for forest fire video monitoring system]. *Sbornik nauchnykh trudov Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii molodykh uchenykh i studentov "Sovremennye problemy radioelektroniki"* [Collection of scientific works of Russian scientific and technical conference of young scientists and students "Modern problems of radioelectronics"], 6–8 May 2014, Krasnoyarsk, SFU Publ., 2014, pp. 165–170.
15. Vasyukov V.N., Zaitseva A.Yu. Image analysis algorithms for forest fire monitoring systems. Proceedings of 12th International Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE-2014), Novosibirsk, NSTU Publ., 2014, vol. 1, pp. 327–331.
16. Vasyukov V.N., Podovinnikov A.N. Simulating 2D images of smoke clouds for the purpose of fire detection algorithms adjustment. Proceedings of the Third International Forum on Strategic Technology IFOST 2008, Novosibirsk, Tomsk, June 23–29 2008, pp. 369–370. doi: 10.1109/IFOST.2008.4602977

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



Васюков Василий Николаевич – родился в 1951 году, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом научных исследований, Новосибирский государственный технический университет. Область научных интересов: цифровая обработка и статистический анализ сигналов и изображений. Опубликовано 120 научных работ. (Адрес: 630073, Россия, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, E-mail: vasyukov_vn@ngs.ru, vasyukov@corp.nstu.ru).

Vasyukov Vasily Nikolaevich (b. 1951) – Doctor of Technical Sciences, professor, head of Scientific Research Department, Novosibirsk State Technical University. His research interests are currently focused on digital signal and image processing and analysis. He is author of 120 scientific papers. (Address: 20, Karl Marx Av., Novosibirsk, 630073, Russia, E-mail: vasyukov_vn@ngs.ru, vasyukov@corp.nstu.ru).



Зайцева Анна Юрьевна – родилась в 1993 году, Магистрант 2 курса, Новосибирский государственный технический университет. Область научных интересов: алгоритмы обработки и анализа сигналов и изображений. Опубликовано 11 научных работ. (Адрес: 630073, Россия, Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, E-mail: Violino1Ann@mail.ru, ayuzaitseva@yandex.ru).

Zaitseva Anna Yuryevna (b. 1993) – Second year Master student, Novosibirsk State Technical University. Her research interests are signal and image processing and analysis algorithms. She is author of 11 scientific papers. (Address: 20, Karl Marx Av., Novosibirsk, 630073, Russia, E-mail: Violino1Ann@mail.ru, ayuzaitseva@yandex.ru).

*Статья поступила 24 ноября 2014 г.
Received November 24, 2014*

To Reference:

Vasyukov V.N., Zaitseva A.Yu. Algoritmy analiza izobrazhenii dlya sistemy rannego obnaruzheniya lesnykh pozharov [Image analysis algorithms for systems of early forest fire detection]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii – Proceedings of the Russian higher school Academy of sciences*, 2014, no. 4, pp. 57–69.