

УДК 621.39:519.2

**СИСТЕМА РАННЕГО ОБНАРУЖЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ –
АРХИТЕКТУРА И АЛГОРИТМЫ****В.Н. Васюков¹, А.Ю. Зайцева¹, В.В. Бондаренко²**¹*Новосибирский государственный технический университет*²*ОАО «Технопарк Новосибирского Академгородка»*

Предлагаются принципы построения видеосистемы раннего обнаружения лесных пожаров, включая архитектуру, алгоритмы предварительной обработки изображений и анализа видеопоследовательности с целью обнаружения и распознавания дымового облака, являющегося первым признаком начинающегося пожара. Система включает совокупность видеокамер, установленных на возвышениях и объединенных в единую сеть с сервером, входящим в состав диспетчерского пункта. Камеры совершают круговой обзор с получением изображений лесного массива, смещенных относительно друг друга на фиксированный угол по азимуту (например, при смещении на 45° панорама содержит 8 изображений). Информативными признаками при обнаружении дымовых облаков являются яркостный контраст и движение облаков относительно фона. Фон, образованный изображениями деревьев, является неоднородным вследствие перспективных искажений при наблюдении под различными углами, а также ввиду различий яркости для переднего и заднего плана. Предварительная обработка изображений направлена на выравнивание фона по яркости и компенсацию перспективных искажений с целью обеспечения благоприятных условий для работы алгоритма контрастного обнаружения и алгоритма обнаружения движения. Алгоритм контрастного обнаружения основан на анализе динамики связанных компонент пороговых множеств и обладает слабой чувствительностью к априорно неизвестным параметрам изображений, однако предполагает однородность фона, на котором наблюдается более яркое пятно неизвестной формы и размера (возможно, два или три таких пятна). Движение дымового облака обнаруживается на основе анализа разности двух изображений, полученных в соседних циклах обзора местности. Для исследования эффективности алгоритмов предложена методика на основе моделирования изображений дымовых облаков на динамическом фоне, включающем реальное изображение лесного массива с имитацией его движения. Приведены результаты сравнения эффективности разработанных и известных алгоритмов.

Ключевые слова: лесные пожары, раннее обнаружение, видеонаблюдение, облачная архитектура, имитационное моделирование.

DOI: 10.17212/1727-2769-2015-2-43-56

Введение

Проблема своевременного обнаружения лесных пожаров актуальна для многих стран, обладающих значительными лесными ресурсами. К традиционным методам противопожарного мониторинга лесных массивов относятся наземный, воздушный и спутниковый [1]. Первый сводится к визуальному контролю лесных массивов, осуществляемому наблюдателем с пожарной наблюдательной вышки. Недостатком данного метода является необходимость постоянного присутствия наблюдателя на посту. Кроме наземного метода широко применяется воздушный

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (госзадание, проект № 1176).

© 2015 В.Н. Васюков, А.Ю. Зайцева, В.В. Бондаренко

метод контроля лесных массивов: работниками служб противопожарной безопасности совершается облет лесных территорий на вертолетах или самолетах. В последние годы приобрели популярность беспилотные летательные аппараты (БПЛА) [2]. Наземный пункт управления БПЛА служит центром сбора информации, в том числе потока видеоданных, регистрируемых с борта БПЛА. Для обнаружения лесных пожаров и распознавания очагов возгорания также используются спутниковые системы [3]. Воздушный и спутниковый методы контроля являются сравнительно дорогостоящими, поэтому широкое применение получили системы наземного наблюдения, основанные на применении совокупности датчиков, размещенных на охраняемой территории.

В качестве датчиков в наземных системах противопожарного мониторинга могут использоваться видеокамеры видимого излучения, обеспечивающие наблюдение дыма в дневное время и пламени огня пожара – в ночное; тепловизоры, улавливающие излучаемый пламенем тепловой поток; ИК-спектрометры, позволяющие измерять характеристики теплового излучения; лазерные локаторы ИК-диапазона [4]. Лазерные и ИК-системы имеют высокую чувствительность и обеспечивают большую достоверность, однако по сравнению с системами, использующими ПЗС-камеры видимого диапазона, – значительно более высокую стоимость. Поэтому наиболее приемлемым решением задачи раннего обнаружения лесных пожаров считается создание систем, основанных на применении ПЗС-камер видимого и ближнего ИК спектрального диапазона.

Во многих странах мира, где остро стоит проблема борьбы с лесными пожарами, используются подобные друг другу системы противопожарного мониторинга, основанные на использовании видеокамер [1], [4–8]. Работа оператора такой системы заключается в непрерывном визуальном анализе состояния лесных массивов, что приводит к быстрому утомлению и снижению эффективности обнаружения. Поэтому общая тенденция в развитии таких систем заключается в повышении степени автоматизации и передаче большей части функций оператора компьютерной программе. Получаемые камерами изображения передаются по каналам связи в диспетчерский пункт, где подвергаются компьютерной обработке и анализу. При обнаружении компьютерной программой признаков пожара подается сигнал тревоги, который побуждает оператора к анализу подозрительной области, отображаемой на экране, с использованием ручного управления камерой (изменение направления оптической оси камеры, поворот, изменение масштаба), после чего оператор принимает окончательное решение о наличии либо отсутствии возгорания. Увеличение площади, покрываемой совокупностью камер, требует увеличения их количества, что приводит к снижению эффективности системы, так как оператору приходится контролировать большее число камер, в результате чего резко возрастает его утомляемость. Отсюда возникает необходимость создания автоматизированных процедур обработки изображений с целью обнаружения на них признаков пожара, распознавания очага возгорания и определения его географических координат для вызова пожарной бригады. Автоматизация увеличивает общую эффективность системы, обеспечивает точность и своевременность обнаружения, ограниченные влиянием человеческого фактора.

Подобная система с рабочим названием FireStation, созданная сотрудниками Новосибирского государственного технического университета [9, 10], в течение ряда лет используется муниципальным предприятием «Горзеленхоз» для мониторинга лесных массивов в городской черте Новосибирска. Опыт эксплуатации привел к необходимости совершенствования как программного обеспечения, так и архитектуры системы.

Данная статья посвящена краткому описанию архитектурных решений и разработанных алгоритмов, воплощенных в новом варианте системы, а также предлагаемой методики сравнительной оценки эффективности видеосистем раннего обнаружения лесных пожаров.

1. Состав и принцип действия системы

Принцип функционирования действующей системы противопожарного мониторинга FireStation основан на работе комплекта купольных веб-камер, установленных на возвышениях (вышках, башнях, зданиях) и осуществляющих панорамный обзор потенциально опасных с точки зрения возникновения пожара участков лесных массивов [10]. Панорамный обзор осуществляется дискретно, с фиксированным шагом по азимуту, поэтому камеры автоматически устанавливаются с высокой точностью в одинаковые положения после завершения полного цикла обзора. Информация в виде изображений поступает от веб-камер по радиоканалам в диспетчерский пункт, программное обеспечение которого выполняет предварительную обработку и анализ с целью обнаружения дыма в дневное время и пламени – в ночное.

Недостатком действующей системы является жесткая архитектура, ориентированная на использование камер определенного типа и доступ к ним только с центрального компьютера по радиоканалу. Новое программное обеспечение системы должно обладать адаптивностью к различным аппаратным решениям, обеспечивать требуемые быстродействие и точность. Должна быть обеспечена высокая достоверность принимаемых решений и точность определения координат очагов возгорания, достаточная для своевременного принятия противопожарных мер. Программное обеспечение системы не должно требовать специального обучения оператора, предполагается наличие достаточно общих навыков работы с компьютером на уровне неквалифицированного пользователя. Необходимо обеспечить возможность выбора типа и модели видеокамер для применения в системе противопожарного мониторинга исходя из интересов пользователя. Программное обеспечение должно содержать средства отображения событий на on-line-картах, фиксации событий в журналах, ведение фото- и видеоархивов, должна быть обеспечена возможность удаленного доступа и другие сервисные функции, расширяющие возможности системы, повышающие ее гибкость и надежность.

С учетом перечисленных требований в основу модернизированной системы FireStation положена клиент-серверная архитектура, в которой вся обработка поступающей информации сосредоточена на сервере сети [11]. Отличительной особенностью вновь разработанного программного обеспечения является возможность работы с системой без установки специализированного программного обеспечения на компьютер пользователя (оператора). В качестве клиентского приложения выступает web-браузер. Таким образом, теперь при изменении логики функционирования системы изменяется лишь программное обеспечение сервера, и нет необходимости изменять клиентские приложения и обновлять их у всех пользователей. Кроме того, максимально снижаются требования к аппаратуре пользователей. Так как все данные – параметры настройки камер, полученные изображения, результаты их обработки, отчеты – хранятся в базе данных сервера, FireStation представляет собой универсальную систему с множественным доступом и независимым интерфейсом. Для связи удаленных пользователей с системой через сеть Интернет применяется web-сервер, работающий совместно с основным сервером системы и единой базой данных. Это позволяет получать доступ к информации и формировать отчеты из любой точки сети Интернет. Кроме того, возможен обмен информацией между группой серверов с установленным программ-

ным обеспечением «FireStation» в автоматическом режиме и формирование единых отчетов.

Новая архитектура строится на web-сервере, осуществляющем все аспекты деятельности, за исключением отображения информации для конечного пользователя. Модульная архитектура отделяет интерфейс отдельной модели камеры от логики работы программы и позволяет внедрять новые типы камер, вновь разрабатываемые алгоритмы и т. д. Это дает возможность применять гибко настраиваемые алгоритмы и критерии принятия решений, повышает надежность и гибкость системы в целом. Использование системы управления базами данных (СУБД) позволяет увеличить скорость работы при условии непрерывно растущих объемов хранимых и обрабатываемых данных.

Основные элементы архитектуры показаны на рис. 1.

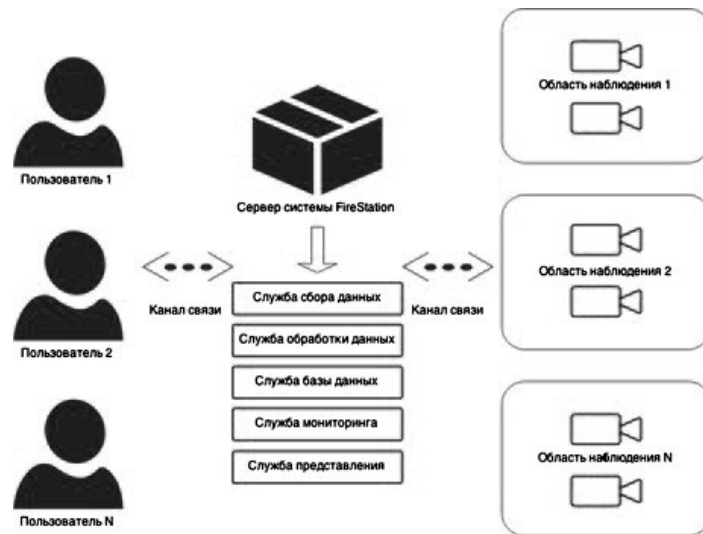


Рис. 1 – Основные элементы программно-аппаратного комплекса

Fig. 1 – Basic units of hardware-software complex

Совокупность видеокамер, установленных на некоторой территории, образует область видеонаблюдения (на рис. 1 – «Область наблюдения *л*»). Контроль и сбор данных осуществляются с помощью службы сбора данных, запущенной на сервере. Сервер имеет доступ к видеокамерам через локальную или глобальную сеть в зависимости от реализации системы. Служба сбора данных выполняет задачи получения и хранения изображений, получаемых от видеокамер. Служба обработки данных выполняет все функции, связанные с обработкой изображений в соответствии с применяемыми алгоритмами. При изменении и/или дополнении алгоритма служба дополняется новыми параметрами без необходимости приостанавливать работу системы. Служба базы данных выполняет все задачи, связанные с хранением, изменением параметров изображений (результат обработки исходного изображения алгоритмами), настроек системы и пользователей. Служба представления отвечает за формирование отчетов пользователям (данные с видеокамер, результаты обработки изображений, графики, привязка к местности, события системы). Управление функциональными частями сервера осуществляется через web-браузер администратором системы. Служба мониторинга определяет работоспособность серверов и камер системы видеонаблюдения. Если пропадает сигнал какой-либо камеры или отключается один из серверов системы, оператор или

инженер получает оповещение в форме вывода сообщения на экран, подачи звукового сигнала либо отправки сообщения по электронной почте.

Одной из проблем, снижающих эффективность системы, является ограниченная пропускная способность интернет-каналов. Зачастую видеокамеры устанавливаются в местах с доступными сетями 2G/3G, не позволяющими передавать значительный поток информации, что увеличивает время реакции на события. Для преодоления этого недостатка предложено решение по переносу части вычислений на процессор видеокамеры, что позволяет выполнять частичную обработку изображений без передачи на сервер и обеспечивает возможность работы при низкой скорости передачи данных.

2. Алгоритмы обработки и анализа изображений

Алгоритмы обнаружения дымовых облаков

Для обнаружения дымового облака, являющегося основным признаком начинающегося лесного пожара в светлое время суток, на фоне изображения лесного массива используются признак яркостного контраста и признак движения [12, 13]. Дымовое облако на ранней стадии лесного пожара практически всегда светлее фона, поэтому задача заключается в обнаружении светлого пятна на более темном фоне (алгоритм обнаружения, основанный на яркостном контрасте, в темное время суток реагирует на пламя). Сложность задачи состоит в неопределенности формы дымового облака, а также в неоднородности и изменчивости фона, образованного изображениями отдельных деревьев.

Алгоритм обнаружения дымовых облаков по признаку яркостного контраста, описанный в [12–15], основан на анализе динамики характеристик связанных компонент пороговых множеств (СКПМ) при понижении порога. Решение об обнаружении объекта принимается при превышении критического значения $k_{кр}$ отношением $k = S_{max} / S_{-}$ максимальной площади S_{max} связанной компоненты порогового множества к средней площади S_{-} остальных СКПМ. Преимуществами алгоритма являются слабая чувствительность к монотонным изменениям яркости изображения и малое число параметров, требующих априорного задания. Кроме того, алгоритм безразличен к форме дымового облака. К недостаткам относится требование однородности (стационарности) фона, поэтому перед применением алгоритма необходима предварительная обработка изображения для выравнивания фона.

Алгоритм обнаружения движения использует подход, основанный на вычитании двух изображений (кадров), полученных от одной камеры с интервалом, равным периоду кругового обзора. Дискретный характер вращения камер обеспечивает установку камеры по завершении полного цикла обзора в то же положение по азимуту (угол наклона предполагается постоянным). Поэтому на соседних кадрах формируются изображения одного и того же участка местности, которые при отсутствии в поле зрения движущихся объектов отличаются незначительно. Результатом вычитания для пары соседних кадров является изображение, элементы которого заметно отличаются от нуля лишь в тех областях, где имело место значительное изменение (движение). Для обнаружения этих областей используется алгоритм контрастного обнаружения, описанный выше.

Описанная пара алгоритмов может быть использована в различных вариантах. Например, можно после выделения областей движения проверять, имеется ли значительное превышение яркости над окружающим фоном. Второй вариант заключается в проверке, движется ли объект, обнаруженный яркостным алгорит-

мом. Наконец, при параллельном выполнении алгоритмов решение об обнаружении пожара принимается, если оба алгоритма дают совпадающие решения о наличии признаков дымового облака. В любом случае применение пары алгоритмов уменьшает вероятность ложной тревоги и повышает эффективность системы.

Описанные алгоритмы анализа изображений представляют собой ядро программного обеспечения системы раннего обнаружения лесных пожаров FireStation [11]. Создание условий для их эффективного применения обеспечивается алгоритмами предварительной обработки изображений.

Алгоритмы предварительной обработки изображений

В системах, предназначенных для обнаружения редких событий, к которым относятся возгорания, обычно стремятся к тому, чтобы вероятность ошибки первого рода (ложной тревоги) не превышала заданного уровня (критерий Неймана–Пирсона). Уровень F_0 допустимой вероятности ложной тревоги должен быть достаточно малым, чтобы обеспечить комфортные условия труда оператора. Понижение F_0 обычно приводит и к снижению вероятности правильного обнаружения. Однако на практике изображения содержат значительные области, которые заведомо не представляют интереса с точки зрения решаемой задачи (например, небо, дороги, здания и т. п.). Такие области целесообразно исключить из анализа, что снижает вероятность ложной тревоги без ущерба для вероятности правильного обнаружения. Благодаря тому, что круговой обзор осуществляется дискретно с фиксированным шагом по азимуту и камеры автоматически устанавливаются с высокой точностью в одинаковые положения при переходе на новый цикл обзора, можно однажды при настройке системы определить границы зон нечувствительности, в пределах которых изображения будут игнорироваться. В действующей системе зоны нечувствительности задаются однократно вручную при начальной настройке системы. Следует отметить, что процесс задания зон нечувствительности трудоемок и требует определенной квалификации. Эту операцию можно существенно облегчить и ускорить за счет применения разработанного **алгоритма сегментации**, предназначенного для разбиения изображения на области, занимаемые лесом и небом [16, 17]. Результат работы алгоритма используется как начальное приближение для формирования зон нечувствительности; оператор лишь должен при необходимости скорректировать их границы.

Алгоритм выравнивания фона предназначен для обеспечения условий функционирования алгоритма контрастного обнаружения, основанного на анализе динамики СКПМ. Под выравниванием фона 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 [18]. Изображение N , получаемое в результате выравнивания, определяется путем вычитания 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):

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

3. Сравнительная оценка эффективности систем раннего обнаружения лесных пожаров

В процессе работы системы раннего обнаружения лесных пожаров могут происходить ошибки двух видов – ложная тревога и пропуск возгорания. Эффективность таких систем должна оцениваться на основе критерия Неймана–Пирсона. Согласно этому критерию более эффективной является система, которая обеспечивает минимальную величину вероятности $P_{\text{пр}}$ пропуска события (максимальную вероятность $P_{\text{по}}$ правильного обнаружения) при условии, что вероятность ложной тревоги не превышает заданной величины F_0 .

На практике для систем раннего обнаружения лесных пожаров рассчитать указанные вероятности не представляется возможным из-за множества факторов – комплексного эвристического характера алгоритмов, неоднородности фона получаемых изображений, различной освещенности сцены, неопределенности формы и яркости дымового облака и т. п. Поэтому вместо точных расчетных значений показателей эффективности приходится использовать оценки, полученные экспериментально с использованием реальных или модельных изображений. При этом возможности оценивания вероятностей ложной тревоги и правильного обнаружения радикально различаются.

Материалом для оценивания вероятности ложной тревоги служат изображения леса в отсутствие пожара. Таких изображений в процессе работы системы накапливается большое количество, что обеспечивает возможность нахождения достаточно точной оценки. В то же время для оценивания вероятности правильного обнаружения требуются изображения дымовых облаков на фоне леса. Подобного рода изображений, накопленных в архиве в процессе работы системы, не может быть много, потому что лесной пожар является редким в статистическом смысле событием, а его искусственное воссоздание с целью анализа таких изображений требует больших временных и материальных затрат. В качестве инструмента, позволяющего оценивать характеристики эффективности обнаружителя путем статистического моделирования, в данной работе предлагается имитационная модель, позволяющая воссоздать картину появления и дальнейшего развития дымового облака на изображении лесного массива.

В работе [19] была предложена стохастическая клеточная модель для генерирования двумерных полутоновых изображений развивающегося дымового облака. В отличие от традиционных клеточных автоматов, где состояние одной центральной клетки изменяется в зависимости от состояний соседних клеток, в предложенной модели состояние соседних клеток модифицируется в зависимости от состояния центральной клетки. Каждой клетке приписывается определенное неотрицательное число, характеризующее «количество дыма» в ней. Динамика развития дымового облака определяется двумя механизмами – детерминированной диффузией и случайным дрейфом. Диффузия описывает увеличение и подъем дымового облака, обусловленные его тепловым расширением. Дрейфом называется стохастический механизм движения дыма под действием ветра различной силы.

В отличие от работы [19], где смоделированные изображения дыма накладывались на статичные реальные изображения леса, в данной работе предлагается более реалистичная динамическая модель изображения, фонового по отношению к дыму. Хотя при каждом новом цикле обзора камеры устанавливаются с высокой точностью в прежние положения, изображения, соответствующие одному и тому

же участку лесного массива, не являются статичными: их изменение происходит вследствие колебаний деревьев под действием ветра, меняющейся освещенности и др. Таким образом, разность двух изображений одного и того же участка лесного массива, полученных в различных циклах обзора, можно рассматривать как двумерный случайный процесс (случайное поле). Характер этого поля, нестационарного в вертикальном направлении, иллюстрируется графиками оценок математического ожидания и среднеквадратического отклонения, найденных согласно выражениям

$$m_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N I_{i,j}, \quad (1)$$

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (I_{i,j} - m_i)^2}, \quad (2)$$

где $I_{i,j}$ – яркость точки, находящейся в i -й строке и j -м столбце разностного изображения; N – количество столбцов, и усредняются по всему набору разностных изображений. Найденные оценки математического ожидания $m = \{m_i, i = \overline{1, N}\}$ и среднеквадратического отклонения $\sigma = \{\sigma_i, i = \overline{1, N}\}$ представлены в виде графиков на рис. 2.

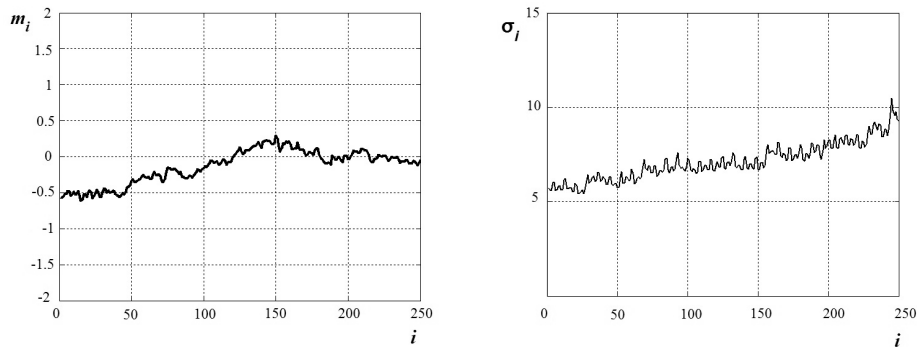


Рис. 2 – Оценки параметров двумерного случайного поля

Fig. 2 – Estimates of parameters of two-dimensional random field

Анализ графиков показывает, что математическое ожидание разностного изображения близко к нулю; это подтверждает, что фоновые изображения в соседних кадрах отличаются незначительно. Тенденция к увеличению среднеквадратического отклонения при движении вниз вдоль столбцов разностных изображений связана с тем, что для объектов переднего плана изменения яркости под действием одних и тех же факторов являются более существенными при формировании изображения, чем для объектов, располагающихся дальше от камеры.

Полученные оценки используются для генерирования последовательности реализаций нестационарного псевдослучайного поля, которые суммируются со статичным изображением леса, в результате чего формируется последовательность фоновых изображений, имитирующая движение фона. Затем на полученные фоновые изображения накладываются последовательные изображения развивающегося дымового облака, формируемые на основе клеточной модели [19]. Оценива-

ние вероятностей ложной тревоги и правильного обнаружения производится путем подсчета соответствующих событий в достаточно длинной серии опытов.

По предлагаемой методике была проведена сравнительная оценка эффективности алгоритма контрастного обнаружения, основанного на анализе динамики СКПМ, и алгоритма классификации точек изображения по яркостному признаку, использующего метод кластеризации «K-means».

Алгоритм кластеризации «K-means» является разновидностью классификатора по минимальному расстоянию [20]. Для реализации данного метода необходимы априорные сведения о количестве классов и об исходных значениях центров каждого класса. Для решения задачи обнаружения дыма классификация точек изображения выполняется в одномерном пространстве признаков: по шкале яркости изображения. Разбиение точек изображения в случае наличия дымового облака на два класса (классы «фон» и «объект») не дает приемлемых результатов обнаружения, поэтому были добавлены промежуточные классы с целью снижения внутриклассовой дисперсии каждого класса по яркостному параметру. В этом случае в качестве класса объекта обнаружения принимается класс точек изображения с максимальным значением яркости его центра, что связано с предположением о повышенной яркости объекта интереса (дымового облака). Увеличение количества классов приводит к соответствующему увеличению объема вычислений, а значит, и времени работы алгоритма обнаружения методом «K-means». Однако большая вычислительная емкость алгоритма компенсируется простотой его реализации.

Представлены результаты сравнительного анализа эффективности указанных алгоритмов по предлагаемой методике (см. таблицу). Количество опытов равно 1120 для каждого алгоритма. Следует отметить, что для систем раннего обнаружения лесных пожаров помимо вероятности правильного обнаружения важную роль играет такой параметр, как время обнаружения: чем быстрее пожар будет обнаружен, тем больше вероятность его успешного тушения. В связи с этим кроме вероятностных характеристик для каждого алгоритма оценивалось время обнаружения пожара, выражаемое значением номера изображения, в котором произошло обнаружение, в последовательности сгенерированных изображений.

Оценки характеристик эффективности
Efficiency characteristics estimates

Алгоритм	Оценка вероятности правильного обнаружения	Номер кадра
K-means	0.371	95
СКПМ	0.817	36

Оценка вероятности ложной тревоги в обоих случаях равна нулю.

Таким образом, алгоритм, основанный на анализе динамики СКПМ, более эффективен по сравнению с алгоритмом, использующим метод «K-means».

Заключение

На основе опыта эксплуатации видеосистемы раннего обнаружения лесных пожаров FireStation разработана модернизированная клиент-серверная архитектура, в которой обработка информации сосредоточена на сервере сети. В программном обеспечении системы реализованы алгоритмы предварительной обработки изображений и алгоритмы обнаружения дымового облака, как признака начинающегося пожара. Предварительная обработка изображений направлена на вырав-

нивание фона по яркости и компенсацию перспективных искажений с целью обеспечения благоприятных условий для работы алгоритма контрастного обнаружения и алгоритма обнаружения движения, основанных на анализе динамики связанных компонент пороговых множеств. Для исследования эффективности алгоритмов предложена методика на основе моделирования изображений дымовых облаков на динамическом фоне, включающем реальное изображение лесного массива с имитацией его движения. По предлагаемой методике проведена оценка эффективности алгоритма контрастного обнаружения, основанного на анализе динамики СКПМ, и алгоритма классификации точек изображения по яркостному признаку, использующего метод кластеризации «K-means».

ЛИТЕРАТУРА

1. Wildfire smoke detection using computational intelligence techniques / A. Genovese, R.D. Labati, V. Piuri, F. Scotti // *Proceedings of the IEEE 2011 International Conference on Computational Intelligence for Measurement Systems and Applications (CIMSAS 2011)*, Ottawa, Ontario, Canada, September 19–21, 2011. – Piscataway, New Jersey: IEEE, 2011. – P. 1–6. – doi: 10.1109/CIMSAS.2011.6059930.
2. **Ollero A., Martínez-de-Dios J.R., Merino L.** Unmanned aerial vehicles as tools for forest-fire fighting [Electronic resource] // *Proceedings of the V International Conference on Forest Fire Research*, 27–30 November 2006, Coimbra, Portugal / D.X. Viegas (ed.). – Amsterdam: Elsevier, 2006. – URL: http://grvc.us.es/publica/congresosint/documentos/2006VICFFR_AOLLERO.pdf (accessed: 08.06.2015).
3. Wildland fire detection from space: theory and application / D. Cahoon, B. Stocks, B. Alexander, A. Baum, J. Goldammer // *Biomass Burning and its Inter-Relationships with the Climate System, Advances in Global Change Research Series* / J.L. Innes, M.M. Verstraete, M. Beniston (eds.); series ed.: M. Beniston. – Dordrecht and Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000. – P. 151–169.
4. **Stipanicev D., Vuko T., Štula M.** Forest fire protection by advanced video detection system – Croatia experiences [Electronic resource] // *Third TIEMS Workshop – Improvement of Disaster Management Systems – local and global trends*, Trogir, Hrvatska, 26–27 September 2006. – Trogir: RCADR Divulje, 2006. – URL: https://bib.irb.hr/datoteka/279548.TIEMS_-_Stipanicev_i_ostali.pdf (accessed: 08.06.2015).
5. **Vries J.S. de.** Autonomous wildfire surveillance // *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*. – 1993. – Vol. 2020: Infrared Technology. XIX. – P. 243–250. – doi: 10.1117/12.160577.
6. **Schroeder D.** Evaluation of three wildfire smoke detection systems // *Advantage*. – 2004. – Vol. 5, N 24. – P. 1–8.
7. **Gomez-Rodriguez F., Arrue B.C., Ollero A.** Smoke monitoring and measurement using image processing: application to forest fires // *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*. – 2003. – Vol. 5094: Automatic Target Recognition. XIII. – P. 404–411. – doi: 10.1117/12.487050.
8. State of the art in vision-based fire and smoke detection / S. Verstockt, P. Lambert, R. van de Walle, B. Merci, B. Sette // *14th International Conference on Automatic Fire Detection*, 8–10 September, 2009. – Duisburg, Germany: University of Duisburg-Essen, Department of Communication Systems, 2009. – Vol. 2. – P. 285–292.
9. **Васюков В.Н., Подовинников А.Н., Васюков В.В.** Программное обеспечение диспетчерского пункта видеосистемы обнаружения лесных пожаров // *Сборник научных трудов НГТУ*. – 2007. – № 3 (49). – P. 69–74.
10. **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.

11. **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: в 7 т. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2012. – Т. 1. – С. 138–142.
12. **Vasyukov 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, Heilongjiang, China, 2011. – Vol. 2. – P. 844–847. – doi: 10.1109/IFOST.2011.6021152.
13. **Васюков В.Н.** Контрастное обнаружение объектов неопределенной формы на сложном фоне // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. – 2012. – № 1 (18). – С. 61–68.
14. **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.
15. **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. – P. 59–62. – doi: 10.1109/EDM.2013.6641941.
16. **Vasyukov V.N., Zaitseva A.Yu.** Image analysis algorithms for forest fire monitoring systems // Proceedings of 12th International Conference APEIE 2014, 2–4 October 2014. – Novosibirsk, 2014. – Vol. 1. – P. 327–331. – doi: 10.1109/APEIE.2014.7040908.
17. **Васюков В.Н., Зайцева А.Ю.** Алгоритмы анализа изображений для системы раннего обнаружения лесных пожаров // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. – 2014. – № 4 (25). – С. 57–69. – doi: 10.17212/1727-2769-2014-4-57-69.
18. **Gonzales R.C., Woods R.E.** Digital image processing. – New Jersey: Prentice Hall, 2002. – 793 p.
19. **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.
20. **Petrou M., Sevilla P.G.** Image processing: dealing with texture. – Chichester, England: John Wiley & Sons, 2006. – P. 527–528.

EARLY FOREST FIRE DETECTION SYSTEM - CONFIGURATION AND ALGORITHMS

Vasyukov V.N.¹, Zaitseva A.Yu.¹, Bondarenko V.V.²

¹*Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation*

²*Technopark of Novosibirsk Akademgorodok, Novosibirsk, Russian Federation*

We suggest principles of the early forest fire detection system construction including configuration of the system, image preprocessing algorithms, video data analysis for the purpose of detection and recognition of a smoke cloud. The developed system involves a set of video cameras mounted at high points and combined into the single network with a server at control center. Cameras provide a panoramic view, form forest areas images relatively shifted on a fixed azimuth angle, for example, panorama contains 8 images if shift angle equals 45 degrees. Intensity contrast and movement towards background of smoke are offered to be informative detection features. Actually, image background formed by trees observed at a different angle is non-homogenous due to perspective distortion effect and foreground and background intensity difference. To provide favourable conditions for contrast detection and movement detection algorithms performance preprocessing is offered to align background intensity and compensate perspective distortions. Contrast detection is based on threshold sets connected compounds dynamics analysis and possesses a low sensitivity to priori indefinite image parameters. However, the algorithm assumes homogenous background with a high-intensity spot (probably two or three spots)

of indefinite shape and size on it. Smoke movement detection is based on subtraction of scene images of two neighboring view cycles. To investigate the algorithms we propose the technique of smoke cloud over dynamic background images modeling, the latter represents a real image of forest added with its movement imitation. The results of efficiency comparison of the developed and existed algorithms are described.

Keywords: Forest fires, early detection, video monitoring, cloud architecture, simulation modeling.

DOI: 10.17212/1727-2769-2015-2-43-56

REFERENCES

1. Genovese A., Labati D.R., Piuri V., Scotti F. Wildfire smoke detection using computational intelligence techniques. *Proceedings of the IEEE 2011 International Conference on Computational Intelligence for Measurement Systems and Applications (CIMS A 2011)*, Ottawa, Ontario, Canada, September 19–21, 2011. Piscataway, New Jersey, IEEE, pp. 1–6. doi: 10.1109/CIMS A.2011.6059930
2. Ollero A., Martínez-de-Dios J.R., Merino L. Unmanned aerial vehicles as tools for forest-fire fighting. *Proceedings of the V International Conference on Forest Fire Research*, Coimbra, Portugal, 27–30 November, 2006. Available at: http://grvc.us.es/publica/congresosint/documentos/2006VICFFR_AOLLERO.pdf (accessed 08.06.2015)
3. Cahoon D., Stocks B., Alexander B., Baum A., Goldammer J. Wildland fire detection from space: theory and application. *Biomass Burning and its Inter-Relationships with the Climate System, Advances in Global Change Research Series*. Innes J.L., Verstraete M.M., Beniston M. (eds.), Series ed.: M. Beniston. Dordrecht and Boston, Kluwer Academic Publishers, 2000, pp. 151–169.
4. Stipančev D., Vuko T., Štula M. Forest fire protection by advanced video detection system – Croatia experiences. *Third TIEMS Workshop – Improvement of Disaster Management Systems – Local and Global Trends*, Trogir, Hrvatska, 26–27 September 2006. Available at: https://bib.irb.hr/datoteka/279548.TIEMS_-_Stipanicev_i_ostali.pdf (accessed 08.06.2015)
5. Vries J.S. de. Autonomous wildfire surveillance. *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering. Infrared Technology*. XIX, 1993, vol. 2020, pp. 243–250. doi: 10.1117/12.160577
6. Schroeder D. Evaluation of three wildfire smoke detection systems. *Advantage*, 2004, vol. 5, no. 24, pp. 1–8.
7. Gomez-Rodriguez F., Arrue B.C., Ollero A. Smoke monitoring and measurement using image processing – application to forest fires. *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering. Automatic Target Recognition*. XIII, 2003, Vol. 5094, pp. 404–411. doi: 10.1117/12.487050
8. Verstockt S., Lambert P., Van de Walle R., Merci B., Sette B. State of the art in vision-based fire and smoke detection. *14th International Conference on Automatic Fire Detection*, Duisburg, Germany, University of Duisburg-Essen, Department of Communication Systems, 8–10 September, 2009, vol. 2, pp. 285–292.
9. 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 Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2007, no. 3 (49), pp. 69–74.
10. Vasyukov V.N., Bondarenko V.V. [Architecture of hardware-software complex for automated forest fire detection]. *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, 2012, pp. 197–201. (In Russian).

11. Bondarenko V.V., Vasyukov V.V. Hardware and software complex configuration for automated wildfire detection. *Proceedings of 11th International Conference on Actual Problems of Electronics Instrument Engineering, APEIE 2012*, Novosibirsk, 2–4 October, 2012, vol. 1, pp. 101–104. doi: 10.1109/APEIE.2012.6629151
12. Vasyukov 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*, Harbin, Heilongjiang, China, August 22–24, 2011, vol. 2, pp. 844–847. doi: 10.1109/IFOST.2011.6021152
13. 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.
14. 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.
15. Vasyukov V.N., Bondarenko V.V. 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, pp. 59–62. doi: 10.1109/EDM.2013.6641941
16. 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, 2–4 October 2014, vol. 1, pp. 327–331. doi: 10.1109/APEIE.2014.7040908
17. 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 (25), pp. 57–69. doi: 10.17212/1727-2769-2014-4-57-69
18. Gonzales R.C., Woods R.E. *Digital image processing*. New Jersey, Prentice Hall, 2002. 793 p.
19. 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
20. Petrou M., Sevilla P.G. *Image processing: dealing with texture*. Chichester, England, John Wiley & Sons, 2006, pp. 527–528.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



Васюков Василий Николаевич – родился в 1951 году, д-р техн. 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. Карла 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).



Бондаренко Валентин Викторович – родился в 1988 г. В 2010 г. окончил Новосибирский государственный технический университет. Инженер, Технопарк Новосибирского Академгородка. Основные научные интересы: алгоритмы обработки видеоизображений, разработка веб-приложений. Опубликовано 4 научные статьи. (Адрес: 630111, Россия, г. Новосибирск, ул. Кропоткина 126. Электронная почта: svix88@mail.ru)

Bondarenko Valentin Victorovich was born in 1988. In 2010 he graduated from the Novosibirsk State Technical University, engineer, Technopark of Novosibirsk Academgorodok. His research interests are video processing algorithms, development of Web applications. He is author of 4 scientific papers. (Address: Nikolaeva str. 12, Novosibirsk, 630090, Russia. E-mail: svix88@mail.ru)

Статья поступила 11 мая 2015 г.

Received May 11, 2015

To Reference:

Vasyukov V.N., Zaitseva A.Yu., Bondarenko V.V. Sistema rannego obnaruzheniya lesnykh pozharov – arkhitektura i algoritmy [Early forest fire detection system – configuration and algorithms]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii – Proceedings of the Russian higher school Academy of sciences*, 2015, no. 2 (27), pp. 43–56. doi: 10.17212/1727-2769-2015-2-43-56