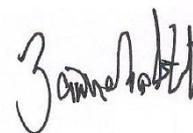


На правах рукописи



Зайцева Анна Юрьевна

**ОБНАРУЖЕНИЕ ДЫМОВЫХ ОБЛАКОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ЛЕСНЫХ
МАССИВОВ В СИСТЕМАХ ПРОТИВОПОЖАРНОГО
ВИДЕОМОНИТОРИНГА**

Специальность: 05.13.17 – Теоретические основы информатики

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Новосибирск – 2019

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», г. Новосибирск

Научный руководитель: **Васюков Василий Николаевич**,
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Двойнишников Сергей Владимирович**,
доктор технических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск, лаборатория основ безопасности и эффективного использования реакторных установок, заведующий лабораторией;

Косых Валерий Петрович,
кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск, лаборатория цифровых методов обработки изображений, заведующий лабораторией

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», г. Томск

Защита состоится «20» июня 2019 года в 16⁰⁰ часов в конференц-зале на заседании диссертационного совета Д 212.173.06 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» по адресу: 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Новосибирского государственного технического университета и на сайте <http://nstu.ru>.

Автореферат разослан «__» _____ 2019 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

кандидат технических наук, доцент



Андрей Владимирович Фаддеев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Работа посвящена проблеме раннего обнаружения лесных пожаров. Для мониторинга потенциально опасных с точки зрения возникновения пожаров лесных зон применяются системы, которые основаны на работе видеокамер видимого диапазона излучения. Недостатком данных систем является влияние погодных и атмосферных условий на эффективность обнаружения. Тем не менее, применение видеокамер видимого частотного диапазона представляет собой экономически приемлемое и достаточно эффективное решение задачи автоматического обнаружения лесных пожаров.

В основе методов цифровой обработки изображений, разработанных для решения проблемы обнаружения лесных пожаров, лежит анализ цветовых и текстурных характеристик пламени от пожара, яркостных и текстурных характеристик дымового облака, а также анализ динамики характеристик движущихся объектов (скорости, направления, площади). Значительный вклад в развитие методов обнаружения лесных пожаров внесли ученые: Т. Celik (Турция), В. U. Toreyin (Турция), D. Stipanicev (Хорватия), А. А. Лукьяница (Россия) и др.

Эффективность систем обнаружения лесных пожаров как статистически редких событий оценивается на основе вероятности правильного обнаружения и вероятности ложной тревоги. Недостаточное внимание уделяется созданию методов и алгоритмов предварительной обработки изображений с целью снижения количества ложных срабатываний системы под влиянием мешающих факторов. Актуальна задача разработки алгоритмов предварительной обработки изображений в системах обнаружения лесных пожаров, обеспечивающих приемлемый уровень вероятности ложной тревоги.

Лесной пожар является статистически редким событием, поэтому актуальна разработка алгоритмов обнаружения, которые не требуют априорной статистической информации об изображениях, так как получение достаточных объемов данных крайне затруднено. В то же время оценивание эффективности алгоритмов обнаружения и алгоритмов предварительной обработки изображений может быть выполнено на основе метода статистического моделирования, для чего необходима разработка соответствующих имитационных моделей.

Цель работы: разработка эффективного алгоритма обнаружения дымового облака, как признака начинающегося лесного пожара, а также алгоритмов предварительной обработки изображений, способствующих снижению вероятности ложной тревоги в системах противопожарного видеомониторинга лесных массивов.

Для достижения цели в работе поставлены задачи:

- 1) Разработать алгоритм обнаружения движения дымового облака на лесном фоне.
- 2) Разработать модель изображения дымового облака, распространяющегося на фоне лесного массива, обеспечивающую возможность оценивания эффективности алгоритмов обнаружения дымовых облаков путем моделирования.
- 3) Разработать алгоритм сегментации изображений лесных массивов на области, занятые лесом и небом.
- 4) Разработать алгоритм сегментации изображений лесных массивов на области, занятые лесом и зданиями.

Методы исследования. Для решения поставленных задач использованы методы цифровой обработки изображений, методы теории обнаружения, статистического моделирования, теории множеств, кластерного анализа, математической морфологии, теории гиббсовских марковских случайных полей.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Разработан алгоритм обнаружения движения дымового облака на основе анализа динамики характеристик связанных компонент пороговых множеств изображения разности кадров видеопоследовательности при понижающемся пороге, отличающийся отсутствием необходимости априорной информации об изображении.
2. Разработана динамическая модель изображения дымового облака, распространяющегося на фоне лесного массива, отличающаяся реалистичностью генерируемых изображений, используемых для оценивания характеристик эффективности алгоритмов обнаружения.
3. Предложен способ извлечения текстурного признака на основе оценивания значений морфологического спектра по изображению бинарного контурного препарата.
4. Разработано несколько вариантов многоуровневой иерархической гиббсовской модели текстурного изображения и алгоритмов сегментации на их основе; разработаны гиббсовские модели бинарных, трехзначных и четырехзначных случайных полей, предназначенные для описания свойств препаратов текстуры, используемых в качестве наблюдаемых уровней иерархической гиббсовской модели.

Положения, выносимые на защиту:

1. Алгоритм обнаружения движения, не требующий априорной информации об изображениях.
2. Динамическая модель изображения дымового облака, распространяющегося на фоне лесного массива, применяемая в качестве

инструмента для оценивания характеристик эффективности алгоритмов обнаружения дымовых облаков.

3. Алгоритм текстурной сегментации изображений лесных массивов на области, занятые лесом и небом, лесом и зданиями.

Практическая ценность работы. Разработанные алгоритмы обнаружения и предварительной обработки изображений предназначены для практического применения в системах противопожарного видеомониторинга лесных массивов. Алгоритм обнаружения движения обеспечивает достаточно надежное и своевременное обнаружение дымового облака на лесном фоне. Применение алгоритмов сегментации направлено на снижение трудоемкости работы оператора по определению границ зон нечувствительности с целью ограничения вероятности ложной тревоги.

Реализация результатов работы. Результаты работы использованы в научно-исследовательских проектах:

– Государственное задание Министерства науки и высшего образования Российской Федерации на период 2015-2016 гг., проект № 1176 «Средства и методы повышения помехоустойчивости контрольно-измерительных систем, систем видеомониторинга, электроразведки полезных ископаемых, тепло- и сейсмолокации» (исполнитель).

– Грант Российского фонда фундаментальных исследований 2016-2017 гг., проект № 16-37-00151 «Текстурная сегментация изображений на основе иерархической гиббсовской модели» (руководитель).

Научные результаты диссертационной работы использованы при модернизации программного обеспечения системы противопожарного видеомониторинга, которая находится в эксплуатации МКУ г. Новосибирска «Горзеленхоз», что подтверждено соответствующим актом о внедрении. Теоретические результаты, полученные в диссертации, внедрены в учебный процесс кафедры Теоретических основ радиотехники факультета Радиотехники и электроники ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», что подтверждено соответствующим актом о внедрении.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Содержание диссертации соответствует п. 5 области исследований «Разработка и исследование моделей и алгоритмов анализа данных, обнаружения закономерностей в данных и их извлечениях, разработка и исследование методов и алгоритмов анализа текста, устной речи и изображений» паспорта специальности научных работников 05.13.17 – «Теоретические основы информатики» по техническим наукам.

Апробация результатов диссертации. Результаты работы представлены на международном форуме по стратегическим технологиям «International Forum on

Strategic Technologies», Харбин, Китай, 2018 г. и Новосибирск, Россия, 2016 г.; международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения», Новосибирск, 2014 г., 2016 г. и 2018 г.; международной конференции молодых специалистов по микро/нанотехнологиям и электронным устройствам «International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices» Эрлагол, Алтай, 2017 г. и 2018 г.; всероссийской научно-технической конференции «Современные проблемы радиоэлектроники», Красноярск, 2016 г.; всероссийской научной конференции молодых ученых «Наука. Технологии. Инновации», Новосибирск, 2012 г., 2013 и 2014 г.; международной научной студенческой конференции, Новосибирск, 2017 г., международной научно-практической конференции аспирантов и магистрантов «Progress Through Innovations», Новосибирск, 2017 г.; межвузовской научной студенческой конференции, Новосибирск, 2013 г., международном научном конгрессе «Совершенствование системы управления, предотвращения и демпфирования последствий чрезвычайных ситуаций регионов и проблемы безопасности жизнедеятельности населения», Новосибирск, 2014 г.; научных студенческих конференциях «Дни науки НГТУ», Новосибирск, 2013 г. и 2014 г.

Публикации. По материалам диссертационного исследования опубликовано 30 печатных работ, в том числе: 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК; 7 публикаций в трудах международных конференций, индексируемых Scopus и Web of Science.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, 3 глав основного содержания, включающих 10 таблиц и 82 рисунка, заключения, списка литературы из 126 наименований и 1 приложения. Общий объем диссертационной работы составляет 132 страницы.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цели и задачи исследования, охарактеризованы научная новизна работы, ее практическая значимость, реализация и апробация результатов работы, представлены положения, выносимые на защиту.

В первой главе определены понятия, связанные с обработкой и анализом цифровых изображений. Приведено обоснование использования синей компоненты цветного изображения при реализации алгоритмов обнаружения дымового облака как признака начинающегося пожара на лесном фоне для системы противопожарного видеомониторинга.

Для решения задачи обнаружения дымового облака применяется признак движения. Анализ движения выполняется на основе вычитания изображений,

полученных при одинаковом положении оптической оси камеры, которые рассматриваются как кадры видеопоследовательности $I = \{I_1, I_2, \dots, I_R\}$. Подход к обнаружению движения основан на анализе разностного изображения I_p как поверхности в трехмерном пространстве (Рисунок 1):

$$I_p = I_i - I_j \neq 0 \quad \forall i, j = \overline{1..R}, i \neq j. \quad (1)$$

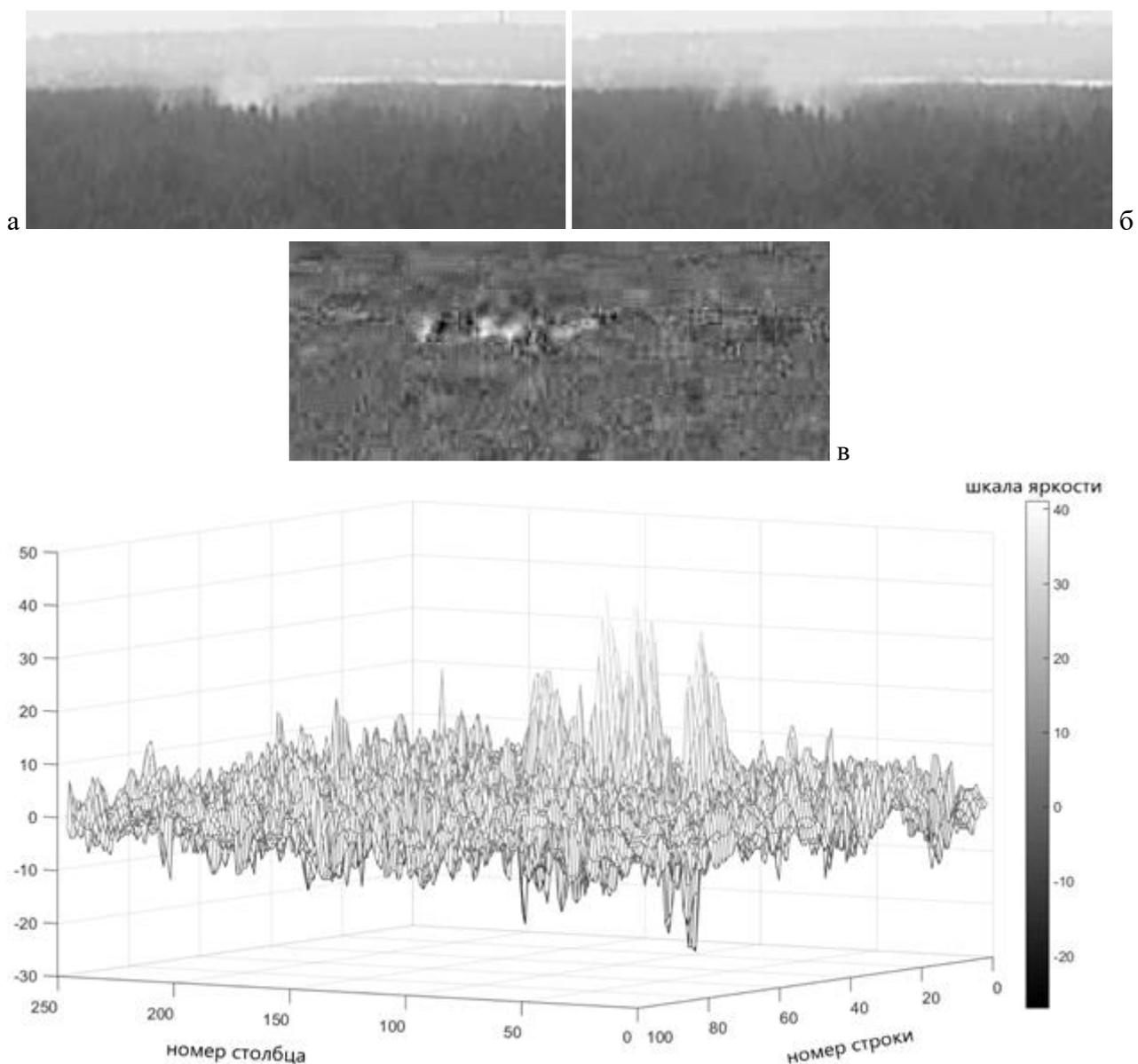


Рисунок 1 – Представление изображения разности (в) фрагментов соседних кадров видеопоследовательности (а) и (б) в виде поверхности в трехмерном пространстве (г)

Существенные изменения яркости вследствие движения дымового облака приводят к образованию характерной формы поверхности функции яркости разностного изображения I_p в виде локализованного «холма». Анализ формы поверхности проводится с применением алгоритма контрастного обнаружения

объектов неопределенной формы на сложном фоне, в основе которого лежит анализ динамики характеристик связных компонент пороговых множеств (СКПМ) при понижающемся пороге. С точки зрения обнаружения движения знак I_p не играет роли, поэтому применяется преобразование

$$I_{p2} = |I_p|. \quad (2)$$

Пороговым множеством называется множество точек изображения, в которых функция яркости превышает заданный порог. Пороговое множество для цифрового полутонового изображения I_{p2} , ассоциируемое с порогом $a \in [0; 255]$, определяется выражением

$$T_a = \{(x, y) : I_{p2}[x, y] \geq a\}. \quad (3)$$

Связное i -ое подмножество (или связная компонента) порогового множества T_a определяется как подмножество $t_a^{(i)} \in T_a$, такое что для любых двух точек $p_1 \in t_a^{(i)}$ и $p_2 \in t_a^{(i)}$ существует последовательность принадлежащих $t_a^{(i)}$ попарно соседних точек $p_1 \sim p_k \sim p_l \sim \dots \sim p_m \sim p_2$. Для определения связных компонент используется понятие соседства точек в окрестности Мура.

Правило обнаружения построено на основе сравнения отношения максимальной мощности (площади) S_m связной компоненты к средней мощности остальных связных компонент S_0 с некоторым критическим значением $k_{кр}$, определяемым эмпирически. Решение об отсутствии объекта принимается в случае, когда среди связных компонент $\{t_a^{(i)}\}, i = 1, 2, \dots, N$ порогового множества T_a нет связной компоненты, преобладающей по площади; решение о наличии движущегося объекта – в обратном случае (Рисунок 2).

Значения параметров $N_{кр}$ и $k_{кр}$ задаются таким образом, чтобы алгоритм обеспечивал максимальную вероятность правильного обнаружения D при заданной допустимой вероятности ложной тревоги F_0 (критерий Неймана–Пирсона), которая определяется из расчета средней частоты ложных срабатываний 1 раз в 10 мин. Результат работы алгоритма обнаружения движения по кадрам видеопоследовательности рисунка 1. а, б приведен на рисунке 3.

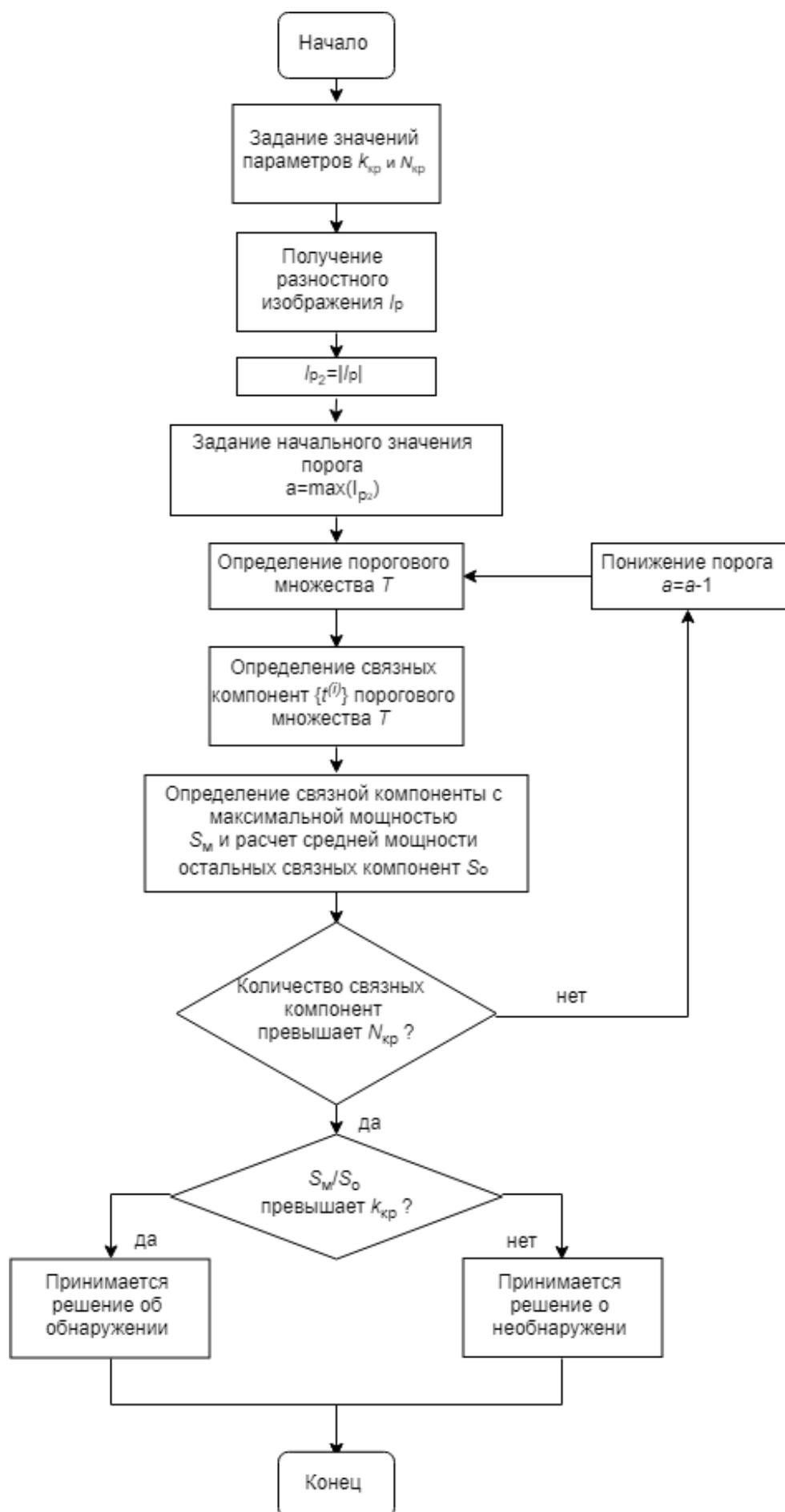


Рисунок 2 – Блок схема алгоритма обнаружения движения СКПМ



Рисунок 3 – Пример результата обнаружения движения дымового облака ($N_{кр} = 20$, $k_{кр} = 7$)

С точки зрения повышения надежности обнаружения движения дымового облака в процессе его распространения целесообразно подвергать анализу разнесенные кадры, т.е. взятые с большей разницей по времени изображения одного и того же участка лесного массива. Обнаружив движение на соседних кадрах видеопоследовательности, отсутствующее на более разнесенных, можно прийти к выводу о случайности и кратковременности локальных изменений, вызванных мешающими факторами. И наоборот, если факт обнаружения движения с использованием разнесенных кадров подтверждает решение об обнаружении, принятое по соседним кадрам, повышается надежность принятия решения. Использование разнесенных кадров представляется целесообразным также в случае, когда невозможно отследить изменения, происходящие на соседних кадрах, вследствие низкой скорости распространения дымового облака.

Для того чтобы уменьшить уровень шумов и повысить качество изображения, в видеокамерах часто применяется ряд функций, которые помогают настроить оборудование под конкретные условия освещения. Одной из наиболее распространенных является функция автоматической регулировки усиления, которая представляет собой дополнительную цифровую коррекцию яркости за счет усиления (ослабления) сигнала на видеоматрице при недостаточной (чрезмерной) освещенности объекта. С практической точки зрения низкая чувствительность алгоритма к монотонным изменениям яркости кадров видеопоследовательности обеспечивает возможность обнаружения движения дымового облака в условиях тумана, в условиях сумерек и пламени от пожара в ночное время.

Исследования эффективности обнаружения движения дымового облака на реальных изображениях подтвердили низкую чувствительность разработанного алгоритма к монотонным изменениям яркости, заданных при помощи функций коррекции

$$I_{\text{ВЫХ}}[x, y] = 255 \cdot \left(\frac{I_{\text{ВХ}}[x, y]}{255} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (4)$$

$$I_{\text{ВЫХ}}[x, y] = 255 \cdot \left(\frac{I_{\text{ВХ}}[x, y]}{255} \right)^2, \quad (5)$$

$$I_{\text{ВЫХ}}[x, y] = 255 \cdot \left(\frac{I_{\text{ВХ}}[x, y]}{255} \right)^3, \quad (6)$$

где $I_{\text{ВХ}}[x, y]$ и $I_{\text{ВЫХ}}[x, y]$ – дискретные двумерные функции яркости полутонового изображения до и после коррекции соответственно.

Для снижения вероятности ложной тревоги целесообразно применение алгоритма обнаружения движения совместно с алгоритмом контрастного обнаружения. Условием эффективной работы алгоритма СКПМ, который может использоваться непосредственно для обнаружения дымового облака по признаку яркостного контраста, является выполнение требования однородности фона, образованного изображениями деревьев. Анализ типичных изображений лесных массивов показал наличие тренда снижения средней по строке яркости изображения при движении вниз вдоль столбцов, нарушающего требование однородности. По результатам оценивания эффективности морфологических алгоритмов выравнивания яркости, проведенного методом статистического моделирования, принято решение о применении алгоритма на основе выражения

$$A_{\text{МЗ}} = A - (A \circ B_1 + A \bullet B_2) / 2 \quad (7)$$

для повышения однородности фона, где символом « \circ » обозначена морфологическая операция размыкания, « \bullet » – морфологическая операция замыкания, A – исходное полутоновое изображение, B_1 и B_2 – структурные элементы в форме шара (радиус B_1 больше радиуса B_2), с помощью которых выполняется морфологическая обработка; $A_{\text{МЗ}}$ – изображение после выравнивания яркости.

Во второй главе предложен способ оценивания эффективности алгоритмов обнаружения для систем противопожарного видеомониторинга лесных массивов. Оценивание эффективности может осуществляться с использованием реальных или модельных изображений. Материалом для оценивания вероятности ложной тревоги служат изображения леса в отсутствии пожара; такие изображения в процессе работы системы накапливаются в большом количестве. Для оценивания вероятности правильного обнаружения требуются изображения дымовых облаков на фоне леса. Подобного рода изображений 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 для оценивания характеристик эффективности путем статистического моделирования предложена имитационная модель, позволяющая генерировать последовательности изображений дымовых облаков в процессе развития на фоне лесного массива.

Для моделирования изображений дымовых облаков применяется стохастическая клеточная модель. В результате работы клеточного автомата

формируется последовательность изображений дымовых облаков в процессе их развития

$$I_{\text{дым}} = \{I_{\text{дым}k}, k = 1, 2, \dots, K\}, \quad (8)$$

где k – номер изображения в последовательности (фаза динамической модели), K – размер последовательности.

Для воспроизведения ситуации возникновения пожара в лесу смоделированные изображения дыма можно накладывать на статичные реальные изображения леса. В работе предложена более реалистичная модель фонового изображения за счет динамики, имитирующей изменения, происходящие на изображениях одного и того же участка лесного массива в отсутствии дымового облака. Динамика реализуется путем прибавления к функции яркости фонового изображения $I_{\text{сф}}$ реализаций нестационарного гауссовского псевдослучайного поля $I_{\text{дв}} = \{I_{\text{дв}k}, k = 1, 2, \dots, K\}$. В результате формируется последовательность движущихся (динамических) фоновых изображений $I_{\text{дф}} = \{I_{\text{дф}k}, k = 1, 2, \dots, K\}$:

$$I_{\text{дф}k} = I_{\text{сф}k} + I_{\text{дв}k}. \quad (9)$$

Для моделирования фонового изображения $I_{\text{сф}}$ предложена аппликативная модель, формирование которой происходит путем «наклеивания» изображений одиночных деревьев, выступающих в качестве повторяющихся элементов изображения пространственно-распределенной сцены, и заграждения объектов заднего плана объектами переднего плана. Использование данной модели позволяет подойти более свободно и индивидуально к задаче построения изображения лесного фона, поскольку существует большое число параметров модели, которые можно варьировать, добиваясь визуального сходства модели изображения леса с некоторой реальной картиной.

Таким образом, динамическая модель изображения дымового облака, распространяющегося на фоне лесного массива, описывается выражением

$$I_{\text{дк}} = I_{\text{дф}k} + I_{\text{дым}k} = I_{\text{сф}k} + I_{\text{дв}k} + I_{\text{дым}k}. \quad (10)$$

Примеры модельных изображений, служащих материалом для оценивания вероятности правильного обнаружения D , представлены на рисунке 4.



Рисунок 4 – Примеры модельных изображений дымовых облаков, распространяющихся на фоне лесного массива

Результаты оценивания эффективности обнаружения движения дымового облака на лесном фоне при различном разнесении кадров модельной последовательности, а также в условиях монотонного изменения яркости позволили сделать вывод о высокой эффективности предложенного в работе алгоритма.

Третья глава посвящена решению задачи сегментации изображений, получаемых с видеокамер в системе раннего обнаружения лесных пожаров. К системам обнаружения статистически редких событий обычно предъявляется требование минимизации вероятности пропуска события p_{10} при заданном допустимом уровне вероятности ложной тревоги F_0 . В случаях, когда за процессом работы системы следит оператор, что происходит практически во всех существующих на сегодняшний день системах видеомониторинга лесных пожаров, важно, чтобы частота ложных срабатываний (ложных тревог) была достаточно малой. Слишком частые ложные срабатывания могут привести к быстрой утомляемости оператора, тем самым снизить эффективность его работы; могут даже стать причиной отключения системы оператором. Понижение допустимого уровня вероятности ложной тревоги F_0 приводит к увеличению вероятности пропуска события p_{10} . Однако на изображениях можно выделять области, не представляющие интереса с точки зрения обнаружения лесных пожаров (например, небо, дороги, здания и др.), и исключать их из последующего анализа. Эти области потенциально содержат источники ложных срабатываний. Так как описанные в работе алгоритмы обнаружения реагируют на объекты, схожие с дымовыми облаками, то при попадании в поле зрения камеры контрастных или движущихся объектов, таких как облака на небе, проезжающие автомобили, ярко освещенные участки домов и др., вероятность ложной тревоги в системе видеомониторинга может резко возрасти. Способ, заключающийся в разделении изображения на зоны интереса и зоны, не представляющие интереса, представляется эффективным при решении проблемы ограничения вероятности ложной тревоги F_0 без вреда для вероятности пропуска события p_{10} (вероятности правильного обнаружения $D = 1 - p_{10}$). На изображении область неба может занимать до 40-50% площади; это связано с тем, что оптическая ось камеры может быть ориентирована практически горизонтально с целью обеспечить большой радиус действия системы обнаружения (до 20-35 км.). Исключение области неба из анализа позволяет ограничить вероятность ложной тревоги.

Исключаемые из анализа области в работе называются зонами нечувствительности. Границы зон нечувствительности можно задавать вручную, если количество камер в системе видеонаблюдения невелико, а сами изображения формируются в режиме панорамного обзора, когда набор угловых положений, в

которые камера перемещает свою оптическую ось, фиксирован. При этом оператор может однократно задать границы зон нечувствительности для всех отдельных фрагментов панорамного изображения; так что зоны нечувствительности для соответствующего фрагмента панорамы будут оставаться одними и теми же при переходе на новый цикл обзора.

Однако ручной способ определения границ зон нечувствительности оказывается неэффективным при увеличении количества камер в системе, а также при использовании оператором так называемого режима патрулирования по заданному маршруту, предназначенного и широко применяемого для мониторинга потенциально опасных зон. В данном режиме оператор задает дискретный набор угловых положений, в которые камера последовательно перемещают свою оптическую ось. Так как в процессе работы входящие в маршрут точки могут переопределяться, удаляться или добавляться оператором, могут создаваться дополнительные маршруты, увеличивается трудоемкость процесса задания зон нечувствительности. Решение задачи сегментации изображений на области леса и неба, а также на области леса и зданий обеспечивает снижение временных и трудовых затрат оператора на определение границ зон нечувствительности.

Для разделения изображения на однородные области леса и неба, леса и зданий предложено несколько наборов текстурных признаков и набор смешанных признаков. При анализе бинарного контурного препарата, полученного в результате применения алгоритма выделения границ Кэнни, в качестве текстурного признака предложено использование параметра S , определяемого в соответствии с выражением

$$S = \frac{k_{\text{кл}}}{W} \cdot 100\%, \quad (11)$$

где $k_{\text{кл}}$ – количество точек, принадлежащих контурным линиям, на части изображения бинарного контурного препарата, заключенной в сканирующем скользящем окне; W – общее количество точек в сканирующем окне.

Второй способ извлечения текстурных признаков основан на вычислении значений векторов морфологических спектров по части изображения бинарного контурного препарата, заключенной в скользящем сканирующем окне. Морфологический спектр представляет собой зависимость количества единичных пикселей, сформировавшихся в результате применения морфологической операции эрозии к изображению бинарного контурного препарата, в зависимости от радиуса структурного элемента в форме диска. Пример результата работы алгоритма сегментации изображения на области леса и неба с применением набора текстурных признаков на основе значений векторов морфологических спектров приведен на рисунке 5.

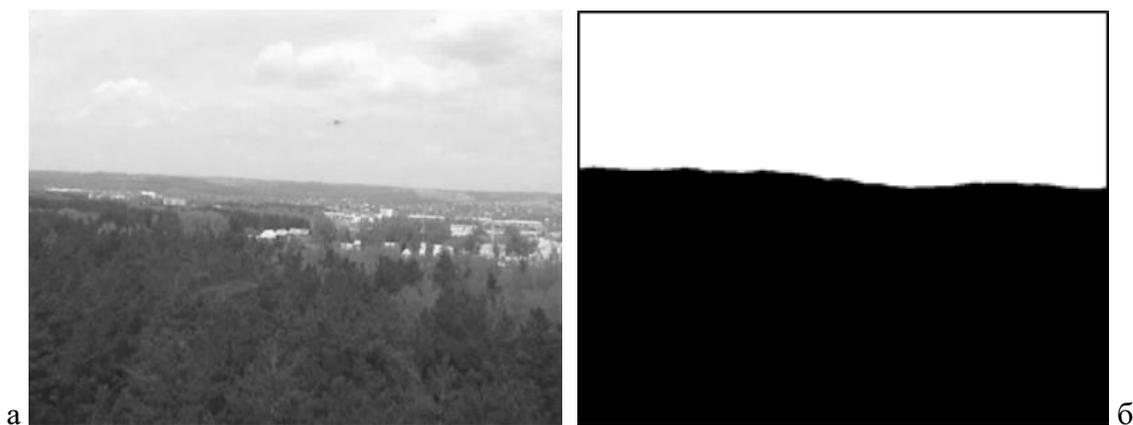


Рисунок 5 – Пример результата сегментации полутонового изображения (а) на области, занятые лесом и небом (б), с использованием значений векторов морфологических спектров в наборе текстурных признаков для различения областей

Результаты исследования эффективности сегментации текстурных изображений на основе иерархической гиббсовской модели позволили в качестве текстурных характеристик использовать оценки параметров бинарных гиббсовских случайных полей, полученные по изображению бинарного препарата. Для получения бинарного препарата текстуры предложена процедура, основанная на вейвлет-разложении функции яркости относительно вейвлет-базиса Хаара. В качестве бинарного вейвлет-препарата текстуры используется изображение бинаризованных детализирующих коэффициентов, полученных в результате вейвлет-разложения функции яркости изображения.

Предложенный набор смешанных признаков помимо текстурного признака на основе значений векторов морфологических спектров включает яркостный признак. Извлечение яркостного признака производится путем определения среднего значения яркости в некоторой локальной области. Признак удаленности пикселей от горизонтальных границ изображения, характеризующий вероятности принадлежности пикселей в верхней части изображения к классу «небо», в нижней части – классу «лес», предложен для использования в составе набора смешанных признаков с целью разделения изображений на области леса и неба. Примеры результатов работы алгоритмов сегментации изображений на области, занятые лесом и небом, лесом и зданиями, с применением наборов смешанных признаков, состоящих из трех и двух признаков соответственно, представлены на рисунке 6 и рисунке 7.

Сегментация изображения на однородные области с использованием одного признака различия осуществляется на основе процедуры пороговой бинаризации изображения, при которой порог определяется методом Оцу. Для сегментации изображения с использованием наборов, состоящих из двух и трех признаков, применяется алгоритм кластеризации «К-средних».

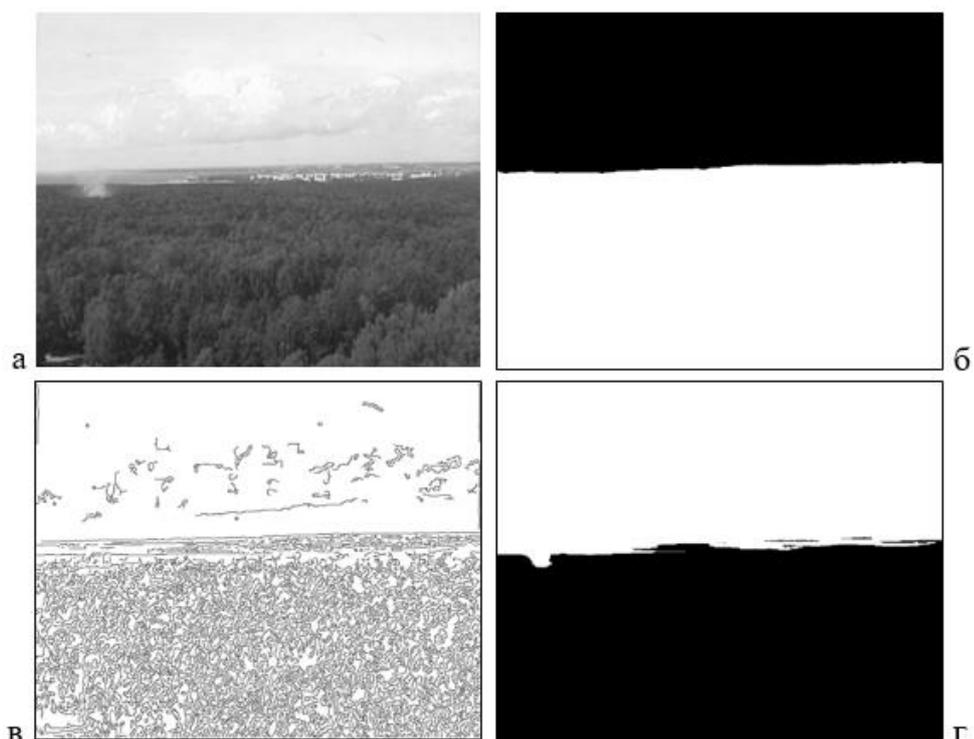


Рисунок 6 – Пример результата сегментации изображения (а) на области, занятые лесом и небом, с применением набора смешанных признаков: б – эталонный результат сегментации, в – бинарный контурный препарат, г – полученный результат сегментации

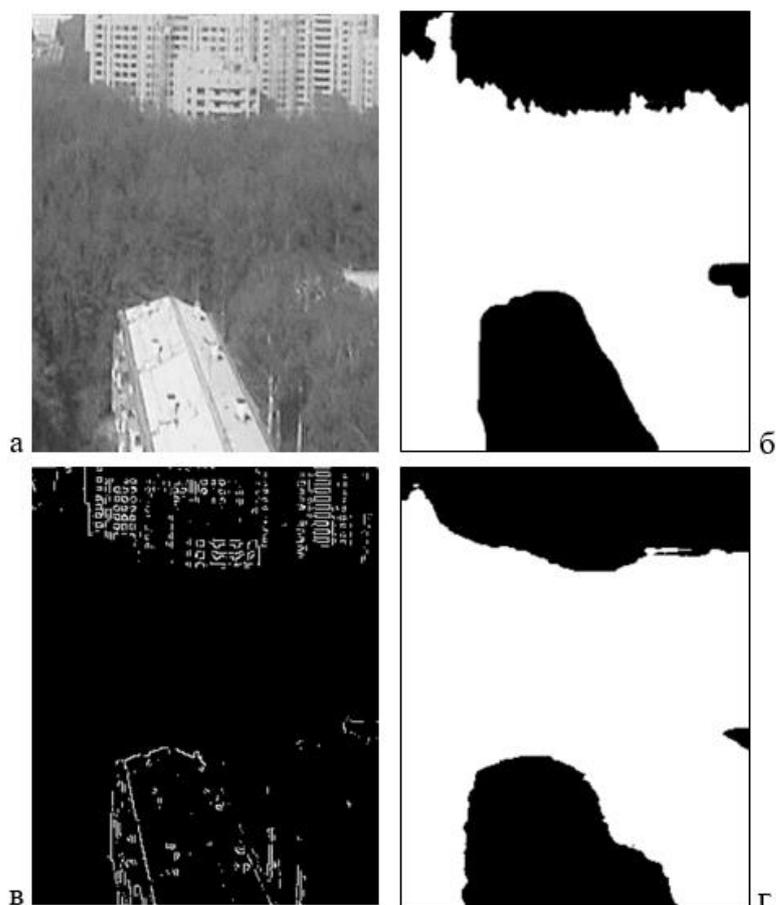


Рисунок 7 – Пример результата сегментации изображения (а) на области, занятые лесом и зданиями, на основе набора смешанных признаков: б – эталонный результат сегментации, в – бинарный контурный препарат, г – полученный результат сегментации

С точки зрения ограничения вероятности ложной тревоги за счет исключения из анализа области неба форма границы между областями леса и неба не так важна, как площадь и расположение области неба. Поэтому найденную границу можно аппроксимировать, например, линейной функцией по методу наименьших квадратов. Поскольку признак возгорания – дым – может возникнуть вблизи линии горизонта (Рисунок 6), то, чтобы не увеличить вероятность пропуска, найденная граница, определяющая границу зоны нечувствительности, поднимается на некоторую величину («запас»), определяемую эмпирически.

Результаты оценивания эффективности алгоритмов сегментации, оперирующих различными наборами признаков, позволили выделить среди всех предложенных признаков текстурную характеристику на основе значений векторов морфологических спектров как наиболее надежную для разделения изображений лесных массивов, получаемых в системах противопожарного видеомониторинга, на области, занятые лесом и небом, лесом и зданиями.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В соответствии с поставленными задачами исследования получены следующие результаты:

1. Разработан алгоритм обнаружения движения дымового облака на фоне лесного массива, в основе которого лежит алгоритм анализа характеристик связанных компонент пороговых множеств изображения разности кадров видеопоследовательности при понижающемся пороге. Его преимуществом является отсутствие необходимости априорной информации об изображении.

2. Предложена динамическая модель изображения дымового облака, распространяющегося на фоне лесного массива, применяемая для генерирования последовательности изображений дымового облака в процессе развития на лесном фоне. С использованием данной модели проведено оценивание эффективности разработанного алгоритма обнаружения движения дымового облака.

3. Разработаны алгоритмы сегментации изображений, получаемых в системах обнаружения лесных пожаров, на области, занятые лесом и небом. Для различения областей предложено несколько наборов признаков. Наиболее надежным признан набор текстурных признаков, извлеченных на основе сканирования изображения бинарного контурного препарата скользящем окном прямоугольной формы и вычисления значений векторов морфологических спектров для части изображения, заключенной в окне.

4. Разработаны алгоритмы сегментации изображений, получаемых в системах обнаружения лесных пожаров, на области, занятые лесом и зданиями, в основе которых лежит применение текстурного и яркостного признаков.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Издания из Перечня ВАК ведущих рецензируемых научных изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций:

1. Васюков, В. Н. Алгоритмы анализа изображений для системы раннего обнаружения лесных пожаров / В. Н. Васюков, А. Ю. Зайцева // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. – 2014. – 4(25). – С. 57-69. DOI: 10.17212/1727-2769-2014-4-57-69.

2. Васюков, В. Н. Система раннего обнаружения лесных пожаров – архитектура и алгоритмы / В. Н. Васюков, А. Ю. Зайцева, В. В. Бондаренко // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. – 2015. – № 2(27). – С. 43-56. DOI: 10.17212/1727-2769-2015-2-43-56.

3. Васюков, В. Н. Иерархическая конечнозначная гиббсовская модель для сегментации текстурных изображений / В. Н. Васюков, А. Ю. Зайцева // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. – 2016. – № 3(32). – С. 43-53. DOI: 10.17212/1727-2769-2016-3-43-53.

4. Васюков, В. Н. О характере сходимости процедур моделирования изображений, описываемых бинарными гиббсовскими моделями / В. Н. Васюков, А. Ю. Зайцева, И. А. Денисенко // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. – 2017. – № 3. – С. 29-38. DOI: 10.17212/1727-2769-2017-3-29-38.

Работы, опубликованные в международных и российских изданиях, сборниках научных трудов конференций:

5. Vasyukov, V. N. Image analysis algorithms for forest fire monitoring systems / V. N. Vasyukov, A. Yu. Zaitseva // Proceedings of 12th International Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE-2014). – Novosibirsk. – 2014. – Vol. 1. – P. 327-331. DOI: 10.1109/APEIE.2014.7040908.

6. Vasyukov, V. N. Segmentation of textured images described by hierarchical Gibbs model / V. N Vasyukov, A. Yu. Zaitseva // 11th International forum on strategic technology (IFOST 2016): proceedings. – Novosibirsk : NSTU. – 2016. – Vol. 1. – P. 452-455. DOI: 10.1109/IFOST.2016.7884152.

7. Vasyukov, V. N. Textured images segmentation based on hierarchical finite-valued Gibbs model / V. N Vasyukov, A. Yu. Zaitseva // Proceedings of Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE–2016). – Novosibirsk : NSTU. – 2016. – Vol. 1. – P. 439-442. DOI: 10.1109/APEIE.2016.7802197.

8. Zaitseva, A. Yu. Investigation of Gibbs fields modeling procedures convergence / A. Yu. Zaitseva, I. A. Denisenko // The 18th international conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices EDM–2017. – Novosibirsk : NSTU. – 2017. – P. 83-86. DOI: 10.1109/EDM.2017.7981713.

9. Vasyukov, V. N. Algorithms of binary texture images modeling / V. N. Vasyukov, A. Yu. Zaitseva // Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE–2018). – Novosibirsk : NSTU. – 2018. – Vol. 1. – P. 128-131. DOI: 10.1109/APEIE.2018.8545032.

10. Vasyukov, V. N. Determination of critical parameters of binary Gibbs random field based on image modeling / V. N. Vasyukov, A. Yu. Zaitseva, I. A. Denisenko // The 19th international conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices EDM–2018 : proceedings. – 2018. – P. 114-117. DOI: 10.1109/EDM.2018.8434994.

11. Zaitseva, A. Yu. Development of region-based algorithm of texture segmentation / A. Yu. Zaitseva, V. N. Vasyukov // 13th International forum on strategic technology IFOST–2018 : proceedings. – Harbin. – 2018. – P. 400-403.

12. Васюков, В. Н. Предварительная обработка изображений для контрастного обнаружения объекта неопределенной формы на сложном фоне / В. Н. Васюков, А. Ю. Зайцева // Сборник научных трудов Новосибирского государственного технического университета. – 2013. – № 71(1). – С. 65-71.

13. Zaitseva A. Yu. Segmentation of textured images described by finite-valued Gibbs model / A. Yu. Zaitseva, P. A. Polevoda // Proceedings of the IVth International Academic and Research conference of Graduate and Postgraduate Students «Progress through innovations. – Novosibirsk : NSTU. – 2017. – P. 211-212.

14. Zaitseva, A. Yu. Estimation of Gibbs Fields Modeling Stochastic Relaxation Procedures Convergence / A. Yu. Zaitseva, I. A. Denisenko // Proceedings of the IVth international academic research conference of graduate and postgraduate students. – Novosibirsk : NSTU. – 2017. – P. 225-226.

15. Васюков, В. Н. Предварительная обработка изображений для контрастного обнаружения объектов неопределенной формы на сложном фоне / В. Н. Васюков, А. Ю. Зайцева // Сборник научных трудов всероссийской научной конференции молодых ученых «Наука. Технологии. Инновации». – Новосибирск : НГТУ. – 2012. – Т. 3. – С. 50-52.

16. Васюков, В. Н. Алгоритмы анализа изображений в системе раннего предупреждения о возникновении лесных пожаров / В. Н. Васюков, А. Ю. Зайцева // Труды международного научного конгресса «Совершенствование системы управления, предотвращения и демпфирования последствий чрезвычайных ситуаций регионов и проблемы безопасности жизнедеятельности населения». – 2014. – С. 24-33.

17. Зайцева, А. Ю. Алгоритмы предварительной обработки изображений в системе видеомониторинга // Сборник тезисов докладов Новосибирской межвузовской научной студенческой конференции «Интеллектуальный потенциал Сибири». – 2013. – С. 13.

18. Зайцева, А. Ю. Морфологический алгоритм сегментации текстур для систем противопожарного мониторинга // Материалы всероссийской научной конференции молодых ученых «Наука. Технологии. Инновации». – Новосибирск : НГТУ. – 2013. – Т. 2. – С. 212-216.

19. Зайцева, А. Ю. Алгоритм сегментации изображений для системы противопожарного мониторинга / А. Ю. Зайцева, В. Н. Васюков // Сборник научных трудов всероссийской научно-технической конференции, посвященной 119-й годовщине Дня Радио. – Красноярск : СФУ. – 2014. – С. 165-170.

20. Зайцева, А.Ю. Алгоритмы предварительной обработки изображений для системы противопожарного видеомониторинга // Дни науки НГТУ–2014 : материалы науч. студен. конф. (итоги науч. работы студентов за 2013–2014 гг.). – Новосибирск : НГТУ. – 2014. – С. 35.

21. Васюков, В. Н. Сегментация текстурных изображений на основе иерархической конечнозначной гиббсовской модели / В. Н. Васюков, А. Ю. Зайцева // Труды 13-й международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения». – Новосибирск : НГТУ. – 2016. – Т. 6. – С. 43-48.

22. Зайцева, А. Ю. Сегментация текстурных изображений, основанная на конечнозначной гиббсовской модели // Современные проблемы радиоэлектроники : сборник научных трудов всероссийской научно-технической конференции молодых ученых и студентов, посвященной 121-й годовщине Дня радио. – Красноярск : СФУ. – 2016. – С. 69-73.

23. Зайцева, А. Ю. Применение конечнозначных гиббсовских моделей для сегментации текстурных изображений // Современные проблемы радиоэлектроники : сборник научных трудов всероссийской научно-технической конференции молодых ученых и студентов, посвященной 122-й годовщине Дня радио. – Красноярск : СФУ. – 2017. – С. 153-157.

24. Зайцева, А. Ю. Построение иерархической гиббсовской конечнозначной модели для решения задачи сегментации текстурных изображений // Наука. Технологии. Инновации : сб. науч. тр. : в 9 ч. – Новосибирск : НГТУ. – 2016. – Т. 6. – С. 32-34.

25. Зайцева, А. Ю. Сегментация текстурных изображений, описываемых конечнозначной гиббсовской моделью / А. Ю. Зайцева, П. А. Полевода // Материалы 55-й международной научной студенческой конференции МНСК–2017 : Информационные технологии. – Новосибирск : ИПЦ НГУ. – 2017. – С. 157.

26. Денисенко, И. А. Исследование влияния анизотропии гиббсовского случайного поля на его критический характер / И. А. Денисенко, А. Ю. Зайцева // Современные проблемы радиоэлектроники : сб. науч. тр. всероссийской науч.-техн. конф. молодых ученых и студентов, посвященная 122-й годовщине Дня Радио. – Красноярск : СФУ. – 2017. – С. 149-152.

27. Зайцева, А. Ю. Оценка сходимости процедуры стохастической релаксации при моделировании гиббсовских полей / А. Ю. Зайцева, И. А. Денисенко // Наука. Технологии. Инновации : материалы всероссийской науч.-техн. конф. молодых ученых. – Новосибирск : НГТУ. – 2016. – Т. 6. – С. 30-32.

28. Зайцева, А. Ю. Оценивание сходимости процедуры стохастической релаксации при моделировании гиббсовских полей / А. Ю. Зайцева, И. А. Денисенко // Материалы 55-й международной научной студенческой конференции МНСК–2017 : Информационные технологии. – Новосибирск : ИПЦ НТУ. – 2017. – С. 156.

29. Зайцева, А. Ю. Исследование критических свойств процедуры моделирования бинарных гиббсовских полей / А. Ю. Зайцева, И. А. Денисенко // XIX Всероссийская научно-техническая конференция молодых ученых и студентов с международным участием «Современные проблемы радиоэлектроники», посвященная 123-й годовщине Дня радио. – Красноярск : СФУ. – 2018. – С. 138-42.

30. Зайцева, А. Ю. Моделирование изображений дымовых облаков, распространяющихся на фоне изображений лесных массивов // Наука. Технологии. Инновации : материалы всероссийской научной конференции молодых ученых. Новосибирск : НГТУ. – 2014. – Т. 11. – С. 31-33.

Отпечатано в типографии Новосибирского
государственного технического университета
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
Тел./факс (383) 346-08-57
Формат 60×84×1/16. Объем 1.5 п.л. Тираж 100 экз.
Заказ № 763. Подписано в печать 19.04.2019 г.