

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ПРИКЛАДНЫХ ВОПРОСОВ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

P-ISSN: 2181-3086

E-ISSN: 2181-3094

Самаркандский филиал Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий

WEB: <https://ijdt.uz/index.php/ijdt>



АНАЛИЗ КОНТУРОВ И ЦВЕТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОЖАРА В ВИДЕОНАБЛЮДЕНИИ

Рустам Хамдамов¹, Хошим Рахманов², Темур Сокиев¹, Аброр Бурибоев³,
Жамшид Султонов³, Загира Кобеева⁴

¹ НИИ развития цифровых технологий и искусственного интеллекта,
Ташкент, Узбекистан

² Самаркандский филиал Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий, Самарканд, Узбекистан

³ Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий, Ташкент, Узбекистан

⁴ Шымкентский университет, Шымкент, Казахстан
hoshimrahmonov@gmail.com

Цитирование: Хамдамов, Р., Рахманов, Х., Сокиев, Т., Бурибоев, А., Султонов, Ж., & Кобеева, З. (2024). Анализ контуров и цветовых характеристик для повышения эффективности обнаружения пожара в видеонаблюдении. *Международный Журнал Теоретических и Прикладных Вопросов Цифровых Технологий*, 7(2), 98–107. <https://doi.org/10.62132/ijdt.v7i2.190>

Дата поступления: 03.04.2024

Дата принятия: 10.05.2024

Дата печати: 30.06. 2024

DOI: <https://doi.org/10.62132/ijdt.v7i2.190>

УДК 004:85

АНАЛИЗ КОНТУРОВ И ЦВЕТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОЖАРА В ВИДЕОНАБЛЮДЕНИИ

Хамдамов Р.¹, Рахманов Х.², Сокиев Т.¹, Бурибоев А.³, Султонов Ж.³, Кобеева З.⁴

¹НИИ развития цифровых технологий и искусственного интеллекта,
Ташкент, Узбекистан

²Самаркандский филиал Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хорезми, Самарканд, Узбекистан

³Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада ал-Хорезми, Ташкент, Узбекистан

⁴Шымкентский университет, Шымкент, Казахстан
hoshimrahmonov@gmail.com

Аннотация. Обнаружение пожара с помощью систем видеонаблюдения имеет решающее значение для быстрого реагирования на пожары и снижения потенциальных опасностей. В этом исследовании мы представляем инновационный подход к обнаружению пламени, который использует анализ формы, направленный на повышение точности и надежности механизмов обнаружения пожара. В отличие от традиционных методов, которые для обнаружения пламени полагаются исключительно на цветовые характеристики, наш подход включает в себя контурный анализ, позволяющий эффективно отличать настоящее пламя от нюансов окружающей среды. Подход включает в себя два основных алгоритма: один ориентирован на распознавание дыма и огня по цветовым признакам, а другой специализируется на распознавании дыма и огня путем анализа формы объектов. Предложенный метод прошел экспериментальную проверку на разнообразном наборе из двенадцати видео, которые включали различные сцены, такие как внутренние и внешние условия, а также условия в течение дня и ночи. Результаты эксперимента демонстрируют многообещающую производительность: результаты обнаружения варьируются от 91,4% до 99,6%. Предлагаемый метод демонстрирует высокие показатели обнаружения при минимизации ложных тревог, о чем свидетельствует низкий уровень ошибок как для упущений, так и для ложных тревог. Таким образом, результаты подчеркивают эффективность введенного метода обнаружения пламени в точном обнаружении пламени в видеопоследовательностях. Интеграция контурного анализа расширяет возможности системы отличать настоящее пламя от факторов окружающей среды, что приводит к повышению точности и надежности обнаружения. Это исследование способствует развитию технологий обнаружения пожара в системах видеонаблюдения, которые потенциально могут применяться для повышения безопасности и защищенности в различных средах.

Ключевые слова: видеонаблюдение, обнаружение пожара, обнаружение дыма, анализ контура, распознавание пламени.

I. ВВЕДЕНИЕ

Обнаружение огня и дыма с помощью систем видеонаблюдения имеет важное значение для защиты жизни и имущества, а также для предотвращения катастрофических происшествий. Своевременное обнаружение пожаров позволяет оперативно принять меры реагирования, снизить потенциальные риски и минимизировать ущерб. Традиционные методы обнаружения пожара в видеонаблюдении в первую очередь полагаются на цветовые характеристики для идентификации пламени, кото-

рое может быть подвержено ложным срабатываниям и неточностям, особенно в сложных условиях окружающей среды.

Это исследование представляет инновационный метод преодоления недостатков существующих методов обнаружения пожара путем включения контурного анализа в системы обнаружения пламени. В отличие от традиционных стратегий, которые в первую очередь полагаются на распознавание цвета, контурный анализ обеспечивает более надежный и точный способ различать настоящее пламя в различных условиях окружающей среды. Предлагаемый подход, используя контурный анализ,

направлен на повышение точности и надежности обнаружения пожара в системах видеонаблюдения.

Предлагаемый подход состоит из двух основных алгоритмов: один идентифицирует дым и огонь по их цветовым свойствам, а другой обнаруживает дым и огонь, изучая формы объектов. Объединив эти алгоритмы, метод направлен на устранение ограничений традиционных методов обнаружения пожара, включая проблему ложных тревог и проблему адаптации к различным условиям окружающей среды.

В этой статье мы изложим теоретическую основу и приведем экспериментальное доказательство эффективности предлагаемого метода обнаружения пламени. Приводятся теоретические объяснения алгоритмов, используемых в методологии, поясняющие обоснование интеграции контурного анализа в системы обнаружения пожара. Кроме того, представлены и проанализированы экспериментальные результаты, полученные в результате тестирования предлагаемого метода на разнообразном наборе видеопоследовательностей, демонстрирующие его эффективность и надежность в реальных сценариях.

В целом, это исследование способствует развитию технологии обнаружения пожара в системах видеонаблюдения за счет внедрения нового подхода, который повышает точность и надежность обнаружения. Интеграция контурного анализа в системы обнаружения пламени открывает многообещающие перспективы для улучшения мер безопасности в различных средах, от жилых и коммерческих помещений до промышленных объектов и открытых пространств.

II. ПОДХОДЫ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЫМА И ОГНЯ

В области обнаружения дыма и огня произошла смена парадигмы с появлением искусственного интеллекта (ИИ), в частности, сверточных нейронных сетей (CNN), предлагающих передовые методы раннего обнаружения и предотвращения. Множество недавних исследований посвящено применению искусственного интеллекта для обнаружения огня и дыма, демонстрируя выдающиеся достижения в точности, эффективности и возможностях работы в реальном времени. Ба и др. [1] представили SmokeNet, новаторскую спутниковую систему обнаружения дыма, основанную на CNN, осна-

щенную пространственными и канальными механизмами внимания. Стратегически сосредоточив внимание на соответствующих функциях, SmokeNet значительно повышает точность обнаружения дыма по спутниковым снимкам, позволяя быстро реагировать на потенциальные вспышки пожара. Валихужаев и др. [2] представили передовой метод автоматического обнаружения огня и дыма, разработанный специально для систем наблюдения, с использованием расширенных сверточных нейронных сетей (CNN). Используя возможности расширенной сверточной архитектуры, их метод демонстрирует надежную эффективность при обнаружении случаев пожара и дыма в различных условиях окружающей среды, обеспечивая надежное наблюдение и раннее вмешательство. Бармпутис и др. [3] разработали систему обнаружения пожара на ранней стадии, которая использует воздушные датчики на 360 градусов вместе с глубокими сверточными нейронными сетями (CNN). Благодаря использованию динамических текстур пожара их подход позволяет чувствительно обнаруживать признаки зарождающегося пожара, способствуя быстрому реагированию и стратегиям смягчения последствий для предотвращения эскалации пожара. Ли и Чжао [4] разработали алгоритмы обнаружения пожара на основе изображений, основанные на CNN, используя способность сети изучать отличительные признаки для точного обнаружения пожара. Их подход демонстрирует многообещающие результаты в обнаружении случаев пожара по статическим изображениям, закладывая основу для эффективных систем наблюдения за пожаром. Мухаммад и др. [5] предложили метод на основе сверточной нейронной сети (CNN) для обнаружения пожара на кадрах наблюдения, подчеркнув способность сети анализировать как временные, так и пространственные данные для расширения возможностей обнаружения. Их метод демонстрирует эффективность в выявлении случаев возгорания в динамических видеопотоках, способствуя повышению ситуационной осведомленности и реагирования. Пан и др. [6] представили эффективный в вычислительном отношении метод обнаружения лесных пожаров, использующий глубокую сверточную нейронную сеть (CNN), оптимизированную с помощью анализа Фурье. Упрощая сложность модели, сохраняя при этом основные отличительные характеристики, предлагаемый метод обеспечивает эффективное обнаружение лесных пожаров по изображениям

наблюдения, что подходит для условий с ограниченными ресурсами. Ли и др. [7] разработали плотно расширенную сверточную сеть для обнаружения дыма от лесных пожаров, используя плотные связи для сбора контекстной информации и повышения точности обнаружения дыма. Их метод демонстрирует надежную эффективность в распознавании структуры дыма в сложных условиях окружающей среды, что способствует своевременному вмешательству и усилиям по смягчению последствий. Ким и Ли [8] продемонстрировали систему обнаружения пожара на основе видео, в которой используются модели глубокого обучения, чтобы подчеркнуть эффективность сверточных нейронных сетей (CNN) при тщательном изучении видеопотоков для мгновенного обнаружения пожара. Их подход обеспечивает возможности быстрого обнаружения, что имеет решающее значение для своевременного реагирования и локализации пожаров. Мухиддинов и др. [9] предложили автоматизированную систему обнаружения и оповещения о пожаре, дополненную усовершенствованной моделью YOLOv4, разработанную специально для поддержки слепых и слабовидящих людей путем предоставления немедленных предупреждений во время пожаров. Эта система повышает доступность и защиту, обеспечивая быстрые уведомления для своевременной эвакуации и поддержки. Авазов и др. [10] разработали метод обнаружения и уведомления о лесных пожарах, который сочетает в себе технологии искусственного интеллекта (ИИ) и Интернета вещей (IoT), используя алгоритмы ИИ для обработки данных об окружающей среде и устройства IoT для облегчения постоянного наблюдения и немедленного оповещения. Их интегрированная система расширяет возможности раннего обнаружения, позволяя принимать упреждающие меры по смягчению воздействия лесных пожаров на экосистемы и сообщества.

В совокупности эти исследования подчеркивают преобразующий потенциал подходов на основе искусственного интеллекта, особенно CNN, в революционном преобразовании систем обнаружения пожара и дыма. Благодаря повышенной точности, эффективности и возможностям работы в режиме реального времени эти методы открывают путь для превентивного предотвращения пожаров и эффективных стратегий реагирования на чрезвычайные ситуации, в конечном итоге защищая жизни и имущество от разрушительного воздействия пожаров.

Эти исследования в совокупности подчеркивают важность и эффективность подходов к обработке изображений при обнаружении пожара и дыма, демонстрируя их универсальность и применимость в различных приложениях наблюдения и мониторинга. Кроме того, предлагаемый нами метод, подробно описанный в разделе 3, улучшает обнаружение пожара и дыма за счет интеграции алгоритмов контурного анализа. Этот метод дополняет существующие методы обработки изображений за счет включения контурных функций для повышения точности и надежности обнаружения в приложениях наблюдения и мониторинга.

III. ПРЕДЛАГАЕМЫЙ МЕТОД

Чтобы устранить ограничения, наблюдаемые в существующих методологиях обнаружения пожара и дыма, предлагаемый нами метод объединяет контурный анализ для создания более надежной и точной системы обнаружения. Предлагаемая методология включает в себя два ключевых алгоритма обнаружения дыма и огня:

3.1 Алгоритм обнаружения дыма и огня по цветовым характеристикам:

Шаг 1. Исходное изображение RGB преобразуется в цветовую модель HSV. HSV представляет оттенок, насыщенность и значение. Вот уравнение, используемое для перехода от цветовой модели RGB к HSV:

$$H \in [0, 360], S, V \in [0, 1], \max = \max(R, G, B),$$

$$\min = \min(R, G, B), V = \max,$$

$$S = (\max - \min) / \max,$$

$$H = 60 * \begin{cases} 0 + \frac{G - B}{\max - \min} & \text{если } \max = R, \\ 2 + \frac{B - G}{\max - \min} & \text{если } \max = G, \\ 4 + \frac{R - G}{\max - \min} & \text{если } \max = B, \end{cases}$$

$$H = H + 360 \text{ если } H < 0.$$

Шаг 2. Создается фильтр, создающий маску в цветовом пространстве HSV. Определяется диапазон верхней границы HSV UpperBound = [145, 255, 255] и нижней границы LowerBound = [0, 0, 200] пикселей.

Шаг 3. Получив бинарное изображение на втором этапе, выполняется процедура обнаружения граничной линии на основе детектора границ Канны.

Шаг 4. Для устранения мелких шумовых пикселей применяется морфологическая операция, известная как «открытие» и «закрытие» [21]. Операция «открытие» предназначена для удаления мелких шумовых пикселей, расположенных за пределами контура объекта, тогда как операция «закрытие» нацелена и удаляет шумовые пиксели, обнаруженные внутри границы объекта.

Шаг 5. Контурное кодирование выполняется методом Фримена [22], когда границы краевых точек формулируются как цепочки векторов комплексных чисел, инвариантных к смещению, повороту и масштабу.

Шаг 6. Все найденные контуры помещаются в прямоугольные рамки и отмечаются цифрами.

Шаг 7. Проверяются условия – система обнаружения пламени должна идентифицировать пламя, занимающее площадь 20*30 пикселей, в течение 2-3 секунд.

3.2 Алгоритм распознавания дыма и огня по контурам объектов:

После того как камеры видеонаблюдения захватывают видеоизображение, оно передается в отдел обработки и анализа изображений. На предварительном этапе распознавания обнаружение дыма и огня осуществляется с использованием упомянутого ранее цветоцентрического алгоритма. Однако, как указывает Лукьяница А.А. и Шишкина А.Г. в области «Цифровая обработка видеоизображений» исключительная зависимость от цвета для точного обнаружения дыма и огня не соответствует действительности, что приводит к повышенной вероятности ложных срабатываний. Это объясняется наличием многочисленных объектов, цвета которых похожи на языки пламени (например, желтые осенние листья или оранжевый оттенок заката), а также предметов, напоминающих дым (например, выхлопы автомобилей или выбросы промышленных дымоходов) [23]. Ключевым отличием в этих сцена-

риях является поведение движения динамических объектов. Между двумя последовательными кадрами внешний вид огня может претерпеть существенные изменения, отчетливо проявляющиеся лишь в определенные моменты времени. Исходя из этого, для правильного обнаружения пламени необходимо использовать свойства, основанные на перемещении различных кадров $D(x, y)$ в соответствии с факторами, определяющими цвет огня. На основе среднеарифметических модулей разницы между сценами видеоряда одной и той же точки определяются движущиеся объекты [23]:

$$D(x, y) = \frac{\sum_{t=0}^n |J(I_t(x, y)) - J(I_{t-1}(x, y))|}{n-1},$$

где J — функция, которая для заданных значений (R, G, B) возвращает значение, равное $(R+G+B)/3$.

При обнаружении пламени основная проблема возникает из-за отражений близлежащих объектов, освещенных источником пламени. Способ смягчить это включает в себя анализ отражений; если среди восьми точек, прилегающих к предполагаемой точке возгорания, менее половины идентифицируются как точки возгорания, начальная точка не классифицируется как пиксель возгорания. Структура огня имеет особые цветовые градиенты: в своей основе он может казаться ярко полупрозрачным, переходя от синего в центре к красному, оранжевому и желтому по краям. На черно-белых изображениях центр пожара заметно ярче, чем его окрестности. Также важно понимать, что форма огня может иметь несколько отдельных ярких областей. На определенном участке изображения огонь можно отличить по высокому контрасту с окружающими областями и уникальной цветовой структуре, которая переходит от белого в центре к красному по краям, как показано на рис. 1.

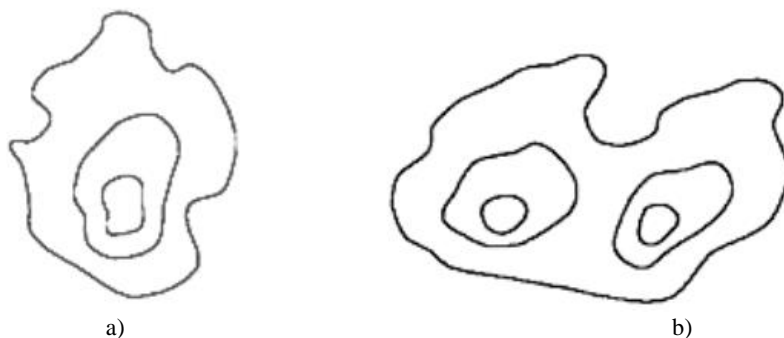


Рис. 1. Пространственная структура пламени. а) контур пламени с одним источником, б) контур пламени с двумя центрами

Обнаружение подходящих сфер пламени в большинстве случаев реализуется на монохромных изображениях по отдельным участкам с высокой плотностью.

Области, выделенные отдельно, расширяются по градиенту спектра за счет включения соседних точек, цвета которых максимально соответствуют выбранной цветовой схеме. Вероятность того, что внутренняя часть сферы соответствует критериям, оценивается с использованием комбинации гауссовских распределений по многоцветной палитре, например HSV.

Алгоритм обнаружения, основанный на использовании контуров, дополнительно усовершенствован за счет интеграции проверок из более раннего алгоритма для уменьшения неточностей при выявлении пожаров.

Шаг 1. Чтобы отличить объект от фона на фоне шума, необходимо провести процесс бинаризации растра. Этот процесс делит растровые пиксели на две категории: объект и фон. Пусть $R = \{r_{m,n}\}$, $m=1, M$, $n=1, N$, — изображение, содержащее отдельный динамический объект, тогда правило бинаризации этого изображения будет иметь вид:

$$\hat{r}_{m,n} = \begin{cases} 0 & \text{если } r_{m,n} \leq \beta, \\ 255 & \text{если } r_{m,n} > \beta, \end{cases}$$

где $\hat{R} = \{\hat{r}_{m,n}\}$ – бинаризованное изображение, β – пороговое значение, которое выбирается на основе гистограммы распределения яркости пикселей $H = \{h_k\}$, $k = 0, 255$ текущего раstra.

$$\beta = k, \text{ если } \frac{H_k}{\sum_{l=0}^{k-1} H_l} \leq 0,001.$$

Шаг 2. Очерчивание границ достигается за счет применения алгоритма Жука [24, 25]. Этот метод предполагает постепенное прорисовывание границы между объектом и его фоном. Трекер, образно называемый «жуком», пересекает изображение, пока не встретит более темную область (объект). Достигнув объекта, этот «жук» поворачивает налево и продолжает движение вдоль края, пока не очертит периметр объекта, после чего поворачивает направо и возобновляет процесс, кружась обратно к области вблизи своей начальной точки (рис. 2).

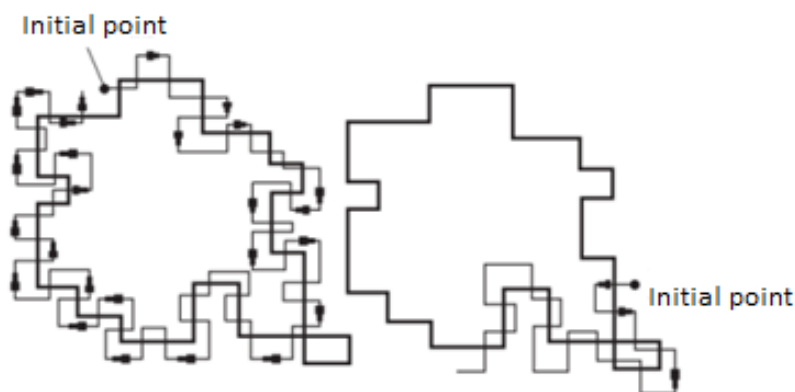


Рис. 2. Знакомство с методом трассировки контуров

Таким образом, на выходе алгоритма «Жук» будет сформирован контур выбранного объекта, представляющий собой вектор комплексных чисел $H = \{y_k\}$, $k = 0, K - 1$.

Шаг 3. При обнаружении контуров динамических объектов важно проверить, пересекается ли граница внешнего контура с внутренней частью, где большинство пикселей имеют чрезвычайно высокую интенсивность (например, полностью белые области). Конфигурация зоны пожара подвержена постоянным изменениям и демонстрирует случайные движения

под влиянием внешних условий, таких как природа горючих материалов и воздушные потоки, окружающие пламя.

Алгоритм распознавания, созданный для идентификации дыма и огня с помощью контурного и цветового анализа изображений, успешно снизил частоту ложных срабатываний на 10–12 % по сравнению с традиционными подходами. Кроме того, этот алгоритм известен своей простотой и быстрой обработкой, качествами, которые особенно выгодны для использования на экономичных и маломощных вычислительных процессорах.



Рис. 3. а) Исходное изображение; б) Контурное изображение огня с двумя кольцами

IV. Результаты эксперимента

Предлагаемый метод обнаружения пламени был апробирован на выборке из двенадцати видеороликов с различными сценами, в том числе видеороликов, снятых днем и ночью, а также в помещении и на открытом воздухе, как показано на рис. 3 и рис. 4. Экспериментальные результаты по работе Предлагаемый метод отображен в таблице 1. Приведены кадры лабораторных экспериментов, демонстрирующие условия работы метода. Четвертый и пятый столбцы таблицы 1 документируют первый и второй типы ошибок. Ошибка типа 1, также известная как коэффициент ложного отклонения (FRR), относится к случаям, когда система не может распознать пламя в видеокадре, даже

если пожар присутствует. И наоборот, ошибка типа 2, или частота ложных срабатываний (FAR), представляет собой случаи, когда система неправильно сигнализирует о наличии пламени в видеокадре, когда его нет. Эффективность обнаружения пламени в видеоконтенте определяется соотношением точно сработавших сигналов тревоги к общему количеству видеокадров

$$R = \left(1 - \frac{S_{lost}}{S_{frame}} \right) * 100\%$$

где S_{frame} - общее количество кадров в видео, S_{lost} - сумма ошибок первого и второго рода, R - результат обнаружения в процентах (%).

Таблица 1. Результаты распознавания видеопоследовательностей (R – точность сегментации, FRR – ошибка первого рода, FAR – ошибка второго рода)

Описание	Общее количество кадров	Количество кадров с пламенем	FAR	FRR	Результат (%)
Кухонный огонь	1136	739	30	24	95,2
Пожар в супермаркете	740	520	12	5	97,8
лесной пожар	1561	969	22	18	97,4
Огонь и лампа дневного света	2248	1451	0	8	99,6
Огонь и человек в желто-красной одежде.	1487	950	48	27	94,9
Свеча на темном фоне	1726	840	14	35	97,2
Пожар на шоссе	1578	750	84	52	91,4
Дым и огонь из мусорного бака	405	205	38	21	85,4
Пожар в горах	1840	1050	56	52	94,1
Лампа ночью	520	240	2	10	97,7
Взрыв	339	179	6	4	97,1
Транспортные стрельбы	579	341	18	16	95,0



а)



б)

Рис. 4. Кадры лабораторных опытов а) распознал пожар по большому пламени; б) распознал возгорание на фоне люминесцентной лампы

Основываясь на результатах экспериментов, представленных в таблице, мы можем проанализировать работу системы обнаружения пожара и дыма в различных сценариях:

- сегментация по точности представляет собой общую точность системы обнаружения в правильном определении кадров с огнем или дымом. В целом система демонстрирует относительно высокую точность – от 85,4% до 99,6%;

- FRR измеряет уровень ложноотрицательных результатов, указывая процент кадров, содержащих огонь или дым, которые были неправильно классифицированы как кадры без огня/дымения. Более низкие значения FRR указывают на лучшую производительность при обнаружении фактического возникновения пожара или дыма;

- FAR представляет собой уровень ложных срабатываний, указывая процент кадров, классифицированных как содержащие огонь или дым, хотя на самом деле это не так. Более высокие значения FAR предполагают более высокую частоту ложных срабатываний, что может

повлиять на надежность системы обнаружения;

- изменение производительности в разных сценариях. Производительность системы обнаружения варьируется в зависимости от сценария. Например, сценарии «Лампа днем и огонь» и «Лампа ночью» демонстрируют очень низкие значения FAR (0 и 2 соответственно), что указывает на минимальное количество ложных тревог. С другой стороны, такие сценарии, как «Пожар на шоссе» и «Дым и огонь из мусорного бака», демонстрируют более высокие значения FAR, что предполагает более высокую вероятность ложных срабатываний в этих сценариях;

- влияние факторов окружающей среды. На эффективность системы обнаружения могут влиять факторы окружающей среды, такие как условия освещения, сложность сцены и наличие элементов фона. Например, сценарии с постоянным освещением («Свеча на темном фоне») могут дать более надежные результаты обнаружения по сравнению со сценариями с

различными условиями освещения («Пожар в горах»);

- надежность системы обнаружения. Система обнаружения демонстрирует различные уровни надежности в разных сценариях. Например, сценарии со значительным движением или динамическими элементами («Огонь и человек в желто-красной одежде») могут создавать проблемы с точным обнаружением огня или дыма из-за потенциальных мешающих факторов;

- результаты экспериментов подчеркивают потенциальные области для улучшения, в частности, в уменьшении количества ложных тревог (FAR) и повышении чувствительности к пожарам и дыму (FRR). Такие стратегии, как совершенствование алгоритмов обнаружения, включение дополнительной контекстной информации и оптимизация параметров порогового значения, могут помочь улучшить общую производительность системы.

Таким образом, хотя результаты экспериментов демонстрируют многообещающую производительность системы обнаружения огня и дыма, необходима дальнейшая оптимизация и доработка для повышения точности, уменьшения количества ложных срабатываний и повышения надежности в различных сценариях и условиях окружающей среды.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты экспериментов и сравнительный анализ подчеркивают эффективность предлагаемого метода при обнаружении дыма и пожара. Интеграция контурного анализа значительно повышает производительность системы с точки зрения уменьшения количества ложных тревог, повышения точности и обеспечения надежности в различных сценариях наблюдения.

Используя контурный анализ, предлагаемый метод демонстрирует: Повышенную точность, контурный анализ обеспечивает дополнительный пространственный и временной контекст, позволяя более точно идентифицировать случаи задымления и пожара, что позволяет системе более точно различать настоящие пожары и нюансы окружающей среды, что приводит к меньшему количеству ошибок в классификации и более высокой общей точности обнаружения, снижение количества ложных срабатываний так как традиционные модели CNN часто с трудом различают настоящие случаи пожара и фоновые элементы со схожими визуальными характеристиками, что приводит к более высокому уровню ложных

тревог. Однако за счет включения контурного анализа предлагаемый метод эффективно смягчает это ограничение, учитывая динамическое движение объекта и пространственные градиенты цвета. В результате количество ложных тревог сводится к минимуму, что повышает надежность системы и снижает количество ненужных предупреждений. Кроме этого надежная работа предлагаемого метода в различных средах наблюдения подчеркивает его пригодность для применения в реальных условиях. Несмотря на различия в условиях освещения, сложности сцены и наличии мешающих факторов, предложенный метод сохраняет стабильные характеристики обнаружения, обеспечивая надежную работу в различных условиях.

Подводя итог, можно сказать, что наше исследование представляет инновационную стратегию обнаружения дыма и огня в системах видеомониторинга путем объединения контурного анализа с современными структурами сверточной нейронной сети (CNN). Результаты наших экспериментов демонстрируют преимущества предлагаемой нами методики перед традиционными подходами CNN, особенно в отношении уменьшения количества ложных оповещений, повышения точности и поддержания стабильности производительности в различных условиях наблюдения. Выводы, полученные в результате этого исследования, имеют важное значение для развития эффективных и надежных систем обнаружения дыма и огня. Используя контурный анализ, системы наблюдения могут достичь более высокой точности и надежности в выявлении случаев задымления и пожара, тем самым повышая общую безопасность и защищенность в различных средах. В дальнейшем дальнейшие исследования могут быть сосредоточены на совершенствовании предлагаемого метода и изучении дополнительных методов для дальнейшего повышения эффективности обнаружения. Кроме того, реальная реализация и проверка предлагаемого метода в практических условиях наблюдения дадут ценную информацию о его эффективности и практической полезности. Это исследование значительно продвигает современные технологии обнаружения дыма и огня, закладывая основу для повышения безопасности и защищенности в широком спектре приложений наблюдения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Dimitropoulos, K.; Barmpoutis, P.; Grammalidis, N. Spatio-temporal flame modeling and dynamic texture analysis*

- for automatic video-based fire detection. *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.* 2015, 25, 339–351.
- [2] *Gagliardi, A.; Saponara, S.* AdViSED: Advanced Video Smoke Detection for Real-Time Measurements in Antifire Indoor and Outdoor Systems. *Energies* 2020, 13, 2098.
- [3] *Toulouse, T.; Rossi, L.; Celik, T.; Akhloufi, M.* Automatic fire pixel detection using image processing: A comparative analysis of rule-based and machine learning-based methods. *SIViP* 2016, 10, 647–654.
- [4] *Avgeris, M.; Spatharakis, D.; Dechouniotis, D.; Kalatzis, N.; Roussaki, I.; Papavassiliou, S.* Where There Is Fire There Is SMOKE: A Scalable Edge Computing Framework for Early Fire Detection. *Sensors* 2019, 19, 639.
- [5] *Zhang, Z.; Zhao, J.; Zhang, D.; Qu, C.; Ke, Y.; Cai, B.* Contour based forest fire detection using FFT and wavelet. *Proc. Int. Conf. CSSE* 2008, 1, 760–763.
- [6] *Celik, T.; Demirel, H.; Ozkaramanli, H.; Uyuguroglu, M.* Fire detection using statistical color model in video sequences. *J. Vis. Commun. Image Represent.* 2007, 18, 176–185. Article
- [7] *Prema, C.E.; Vinsley, S.S.; Suresh, S.* Efficient flame detection based on static and dynamic texture analysis in forest fire detection. *Fire Technol.* 2018, 54, 255–288.
- [8] *Vipin, P.* Image processing based forest fire detection. *Int. J. Emerg. Technol. Adv. Eng.* 2012, 2, 87–95.
- [9] *Dener, M.; Özkök, Y.; Bostancioğlu, C.* Fire detection systems in wireless sensor networks. *Procedia-Soc. Behav. Sci.* 2015, 195, 1846–1850.
- [10] *Cruz, H.; Eckert, M.; Meneses, J.; Martínez, J.F.* Efficient forest fire detection index for application in unmanned aerial systems (UASs). *Sensors* 2016, 16, 893.
- [11] *Ba, R.; Chen, C.; Yuan, J.; Song, W.; Lo, S.* SmokeNet: Satellite Smoke Scene Detection Using Convolutional Neural Network with Spatial and Channel-Wise Attention. *Remote Sens.* 2019, 11, 1702.
- [12] *Valikhujaev, Y.; Abdusalomov, A.; Cho, Y.I.* Automatic Fire and Smoke Detection Method for Surveillance Systems Based on Dilated CNNs. *Atmosphere* 2020, 11, 1241.
- [13] *Barmpoutis, P.; Stathaki, T.; Dimitropoulos, K.; Grammalidis, N.* Early Fire Detection Based on Aerial 360-Degree Sensors, Deep Convolution Neural Networks and Exploitation of Fire Dynamic Textures. *Remote Sens.* 2020, 12, 3177.
- [14] *Li, P.; Zhao, W.* Image fire detection algorithms based on convolutional neural networks. *Case Stud. Therm. Eng.* 2020, 19, 100625.
- [15] *Muhammad, K.; Ahmad, J.; Mehmood, I.; Rho, S.; Baik, S.W.* Convolutional Neural Networks Based Fire Detection in Surveillance Videos. *IEEE Access* 2018, 6, 18174–18183.
- [16] *Pan, H.; Badawi, D.; Cetin, A.E.* Computationally Efficient Wildfire Detection Method Using a Deep Convolutional Network Pruned via Fourier Analysis. *Sensors* 2020, 20, 2891.
- [17] *Li, T.; Zhao, E.; Zhang, J.; Hu, C.* Detection of Wildfire Smoke Images Based on a Densely Dilated Convolutional Network. *Electronics* 2019, 8, 1131.
- [18] *Kim, B.; Lee, J.* A Video-Based Fire Detection Using Deep Learning Models. *Appl. Sci.* 2019, 9, 2862.
- [19] *Mukhiddinov, M.; Abdusalomov, A.B.; Cho, J.* Automatic Fire Detection and Notification System Based on Improved YOLOv4 for the Blind and Visually Impaired. *Sensors* 2022, 22, 3307.
- [20] *Avazov, K.; Hyun, A.E.; S Sami, A.A.; Khaitov, A.; Abdusalomov, A.B.; Cho, Y.I.* Forest Fire Detection and Notification Method Based on AI and IoT Approaches. *Future Internet* 2023, 15, 61.
- [21] *Gomez-Rodriguez F., Pascual-Pena S., Arrue B., Ollero A.,* Smoke detection using image processing, in: *Proceedings of 4th International Conference on Forest Fire Research & Wildland Fire Safety*, November 2002, pp. 1–8.
- [22] *Freeman H.* Shape Description via the Use of Critical points // *Pattern Recognition*. – 1978. – Vol. 10, №3. – P. 159-166.
- [23] *Gonzalez, R.C. and Woods, R.E.* *Digital Image Processing*. 4th Edition, Pearson Education, New York, 2018. 1022 p.
- [24] *Andreev A. Yu., Bobkov S. P.* Segmentation of characters in an image using a modified beetle method // *Modern high-tech technologies*. — 2014. — No. 1(37). — P. 85–88.
- [25] *Khamdamov, R. K., Sakiev, T. R., & Rakhmanov, K. E.* (2023). Development and Implementation of the Data Structure

and Analytical Applications of the System “Ziyrak”. INTERNATIONAL JOURNAL OF THEORETICAL AND

APPLIED ISSUES OF DIGITAL TECHNOLOGIES, 5(3), 17-24.

Поступила в редакцию 03.04.2024

Цитирование: Хамдамов, Р., Рахманов, Х., Сокиев, Т., Бурибоев, А., Султанов, Ж., & Кобеева, З. (2024). Анализ контуров и цветовых характеристик для повышения эффективности обнаружения пожара в видеонаблюдении. *Международный Журнал Теоретических и Прикладных Вопросов Цифровых Технологий*, 7(2), 98–107. <https://doi.org/10.62132/ijdt.v7i2.190>

CONTOUR AND COLOR ANALYSIS TO IMPROVE FIRE DETECTION PERFORMANCE IN VIDEO SURVEILLANCE

Khamdamov R.¹, Rakhmanov Kh.², Sakiev T.¹, Buriboev A.³, Sultanov Dj.³, Kobeyeva Z.⁴

¹Digital technologies and artificial intelligence research institute, Tashkent, Uzbekistan

²Samarkand branch of the Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi, Samarkand, Uzbekistan

³Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi, Tashkent, Uzbekistan

⁴Shymkent University, Shymkent, Kazakhstan
hoshimrahmonov@gmail.com

Abstract. *Fire detection through CCTV systems is critical to quickly responding to fires and reducing potential hazards. In this study, we present an innovative approach to flame detection that uses shape analysis to improve the accuracy and reliability of fire detection mechanisms. Unlike traditional methods that rely solely on color characteristics to detect flames, our approach incorporates contour analysis to effectively distinguish real flames from environmental nuances. The approach includes two main algorithms: one is focused on recognizing smoke and fire based on color features, and the other specializes in recognizing smoke and fire by analyzing the shape of objects. The proposed method was experimentally validated on a diverse set of twelve videos that included different scenes such as indoor, outdoor, and day and night conditions. The experimental results show promising performance, with detection results ranging from 91.4% to 99.6%. The proposed method exhibits high detection rates while minimizing false alarms, as evidenced by low error rates for both omissions and false alarms. Thus, the results highlight the effectiveness of the introduced flame detection method in accurately detecting flames in video sequences. The integration of contour analysis enhances the system's ability to distinguish real flames from environmental factors, resulting in improved detection accuracy and reliability. This research contributes to the development of fire detection technologies in video surveillance systems, which can potentially be applied to improve safety and security in various environments.*

Keywords: *video surveillance, fire detection, smoke detection, contour analysis, flame detection.*