

## Разработка аппаратно-программного комплекса мониторинга очага возгораний беспилотными летательными аппаратами

В. В. Извозчикова, В. М. Шардаков\*, В. В. Запорожко

Оренбургский государственный университет, 460018, Оренбург, Россия

\*Контактный автор: Шардаков Владимир Михайлович, e-mail: [werovulv@inbox.ru](mailto:werovulv@inbox.ru)

Поступила 28 июля 2020 г., доработана 20 марта 2021 г., принята в печать 22 апреля 2021 г.

Рассматривается вопрос обнаружения пожара с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА) и разработанного программного обеспечения. Для раннего обнаружения пожара в нефтяных и газовых скважинах предложен алгоритм, основанный на применении цветовой модели RGB к полученным видеоизображениям от квадрокоптера. Приведены требования к БПЛА, смоделирован прототип программно-аппаратного комплекса дистанционного динамического мониторинга, включающего бортовую систему обработки информации БПЛА и информационную систему. Результаты проведенных экспериментов показали способность предложенного алгоритма успешно обнаруживать пожары на местности. Созданный программно-аппаратный комплекс позволит оперативно разрабатывать и принимать наиболее оптимальные решения по направлению пожарных расчетов и пожарной техники к местам возгорания, что особо актуально для отдаленных районов.

*Ключевые слова:* очаг возгорания, мониторинг территорий, роботизированная платформа, обнаружение природных и техногенных пожаров, беспилотный летательный аппарат, координаты возгорания.

*Цитирование:* Извозчикова В.В., Шардаков В.М., Запорожко В.В. Разработка аппаратно-программного комплекса мониторинга очага возгораний беспилотными летательными аппаратами. Вычислительные технологии. 2021; 26(3):118–129. DOI:10.25743/ICT.2021.26.3.008.

### Введение

Пожар на газовых и нефтяных объектах — это техногенная чрезвычайная ситуация, которая наносит неисчислимы материальные, моральные и экологические потери. Анализ пожарной статистики показывает, что каждый четвертый пожар сопровождается взрывом и последующим развитием горения на площади 5000 м<sup>2</sup>. Если пожар происходит без взрыва, то его площадь в большинстве случаев составляет 500 м<sup>2</sup>, а максимальная площадь достигает 3000 м<sup>2</sup>. Исходя из этого своевременное обнаружение природных и техногенных пожаров является важным фактором, способствующим их быстрому тушению.

В последнее время все более значимыми при обнаружении пожаров в лесах и на полях становятся дроны и беспилотные летательные аппараты. Они особенно необходимы в труднодоступных местах, где определение огня без применения средств авиации невозможно. С этой задачей эффективно справляется беспилотный летательный аппарат типа «коптер». Основные задачи использования в чрезвычайных ситуациях квадрокоптеров заключаются в определении локализации районов, пострадавших от стихийных бедствий, проведении картографических съемок, поиске пропавших без вести людей.

Структура системы управления беспилотным летательным аппаратом включает в себя такие компоненты, как:

- оператор;
- удаленный терминал со специализированным программным обеспечением;
- бортовая система обработки информации.

В работе предложен прототип аппаратно-программного комплекса (АПК), который выполняет следующие функции: обеспечивает в режиме реального времени динамический мониторинг территории; осуществляет непрерывный анализ данных, поступающих от датчиков; выдает оператору аварийное оповещение при отклонении параметров от заданной нормы. В дальнейшем планируется расширить функциональность АПК, используя интеллектуальные технологии для прогнозирования возможных аварийных ситуаций и формирования оптимального маршрута движения техники к источнику пожара.

Централизованное управление беспилотным летательным аппаратом осуществляется оператором через терминал, на экран которого бортовая система обработки информации квадрокоптера выводит полученное в режиме реального времени видеоизображение. Оператор, при необходимости, основываясь на предложенных рекомендациях информационной системы и своем профессиональном опыте, принимает соответствующее решение о направлении пожарных расчетов и пожарной техники в место возгорания.

Использование коптера для мониторинга состояния газовых и нефтяных скважин имеет ряд преимуществ:

- возможность непрерывного наблюдения даже самых отдаленных и диких районов, в том числе в ветреную погоду;
- объективность полученных данных (отсутствие человеческого фактора: усталости, засыпания при визуальном наблюдении за пожарами со специализированных вышек);
- снижение стоимости одного часа полета;
- повышение скорости сбора данных;
- обеспечение точности полученных данных;
- оптимизация кадров.

## 1. Обзор работ по данной тематике

В своей работе S. Liu и L. Hu провели анализ современных робототехнических решений, применяемых для обеспечения безопасности предупреждения возгораний природного и техногенного характера [1]. Учеными под руководством M. Naderpour описана геопространственная информационная система, на данный момент позволяющая только моделировать лесные пожары и выполнять оценку риска их возникновения. В [2] предложен подход к принятию решения оператором. Исследователями из Тайваня предложен интерфейс, который позволит оператору более эффективно ре-

агировать на поступающие сигналы от беспилотного летательного аппарата. На основе разработки система оповещения в соответствии с типом пожара передает сигнал оператору. Однако данная разработка осуществляет только первичную оценку обстановки [3]. В работе [4] представлен обзор датчиков, с помощью которых возможно определять возгорание посредством дымового извещателя, а также расстояние до возгорания. Такое оборудование позволит БПЛА идентифицировать степень опасности возгорания.

Учеными из Гамбургского технологического университета разработан метод управления траекторией и навигацией по путевым точкам квадрокоптера с использованием системы видеокамер vision-based, а также точный метод позиционирования на открытом воздухе с применением глобальной системы позиционирования реального времени (RTK-GPS). В [5] представлен прототип квадрокоптера. Основным результатом исследования является разработка схемы трекинга траектории в трех измерениях, которая может быть использована для навигации к нескольким путевым точкам по заранее заданной траектории. Однако авторами не доработана оптимизация перемещения квадрокоптера по ключевым точкам маршрута, что негативно влияет на исследование заданных участков.

В работах [6–14] представлены ключевые методы мониторинга очагов возгорания и технологий для поддержки принятия решений. Ключевой особенностью одного из методов является датчик на основе оптического потока, посредством которого вычисляется информация о скорости возгорания [6]. Для того чтобы отфильтровать высокочастотное колебание при получении информации о скорости, используется стандартный фильтр нижних частот. Этот этап успешно устраняет внезапные скачки и отсутствие данных ключевой точки.

В [7] приведен обзор технологий для поддержки принятия решений, а также описаны примеры систем передачи изображений. В исследованиях [8, 9, 12] предложен метод обнаружения лесных пожаров с использованием беспилотного летательного аппарата и нейросетевых технологий.

Исследователи под руководством M. Stula разработали интеллектуальное программное решение мониторинга окружающей среды под названием iForestFire, которое основано на нескольких алгоритмах обработки изображений [10]. В [11] предложено решение по мониторингу пожаров посредством инфракрасного дистанционного зондирования, а в работах [13, 14] приведен алгоритм обнаружения возгорания при высокой задымленности заданного участка.

В исследованиях [15, 16] представлен алгоритм обнаружения краев пожара для обработки изображения пламени и огня. Суть алгоритма заключается в идентификации края пламени. Однако сложность идентификации края пламени остается, так как за огонь может быть воспринят любой движущийся объект.

На основе проведенного анализа работ можно судить об актуальности исследуемой темы. Выявив достоинства и недостатки работ, описанных выше, авторы настоящей статьи приняли решение разработать алгоритм обнаружения очага возгорания, состоящий из четырех этапов обработки получаемого изображения. Данный алгоритм даст возможность оператору эффективно осуществить оценку обстановки, оптимально спроектировать маршрут перемещения. Применение разработанного алгоритма позволяет снизить время, требуемое на определение очага возгорания в определенной точке маршрута.

## 2. Алгоритм определения очага возгорания

Для обнаружения очага возгорания используется цветовой анализ, основанный на RGB-модели путем сравнения полученного набора цветовых значений с эталонными значениями, внесенными в базу данных (БД). Модель описывает каждый цвет набором из следующих цветов: красный, зеленый и синий.

Рассмотрим возможность обнаружения пикселя пламени для цветовой модели RGB посредством следующей системы:

$$\begin{cases} R(x, y) > R_{red}, \\ R_{red} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K R(x, y), \\ R(x, y) > G(x, y) > B(x, y), \end{cases}$$

где  $R(x, y)$ ,  $B(x, y)$ ,  $G(x, y)$  — значения красного, синего и зеленого цветов в пикселе по координатам  $x, y$ ;  $K$  — общее количество пикселей;  $R_{red}$  — среднее значение интенсивности красного цвета;  $r, g$  и  $b$  — нормализованные составляющие цвета RGB-пространства, определяемые системой уравнений

$$\begin{cases} r = \frac{R}{R + G + B}, \\ g = \frac{G}{R + G + B}, \\ b = \frac{B}{R + G + B}. \end{cases}$$

Шкала значений цвета идет от  $rgb(255, 0, 0)$  (красный цвет) до  $rgb(255, 255, 0)$  (желтый цвет). Чем цвет ближе к синему, тем актуализация на данном предмете информационной системы меньше, чем ближе к красному — тем выше приоритет.

Шаг шкалы рассчитывается по формуле

$$s_i = \frac{a - b}{m - 1},$$

где  $s_i$  — значение массива величины шага при попиксельном сравнении;  $a$  — значение, соответствующее максимальной разнице между цветами значений пикселей;  $b$  — значение, соответствующее минимальной разнице цвета значений пикселей;  $m$  — количество цветов в шкале.

Каждому цвету шкалы назначено числовое значение, рассчитанное по формуле

$$C_i = s_i + b - 1, \quad i = \overline{1, m},$$

где  $C_i$  — массив числовых значений на шкале.

Затем каждому значению разности из массива разностей назначается индекс цвета из цветового массива по следующей формуле:

$$I_i = \frac{d_i - b}{m - 1}, \quad i = \overline{1, N},$$

где  $I_i$  — элемент массива индексов цветовых значений;  $d_i$  — массив разностей между цветовыми значениями изображения, получаемого с квадрокоптера, и эталонной цветовой шкалой, занесенной в базу данных;  $N$  — общее количество цветовых значений.

Для того чтобы получить точные координаты возгорания, устанавливаются начальные координаты, равные  $(0; 0)$ , которые соответствуют точке взлета квадрокоптера, и используется двухмерная система координат, а не трехмерная, поскольку высота квадрокоптера является неизменяемой величиной. Значения координат перемещения БПЛА получаются посредством GPS, координаты возгорания фиксируются камерой или дальномером.

Находится расстояние от проекции квадрокоптера на землю до обнаруженного очага возгорания при известных высоте полета квадрокоптера и угле направления камеры:

$$R = h \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

где  $R$  — расстояние от квадрокоптера до очага возгорания;  $h$  — высота полета квадрокоптера;  $\alpha$  — угол камеры квадрокоптера.

После нахождения расстояния от места нахождения БПЛА до ближайшей точки обнаруженного возгорания к этой точке проводится вектор, обозначающий направление движения, а координате точки возгорания присваиваются значения GPS.

В работе приведен алгоритм обнаружения очага возгорания беспилотным летательным аппаратом без участия оператора (рис. 1). Согласно представленному алгоритму квадрокоптер передает изображение, поступающее с цифровой видеокamеры, на терминал, сканируя заданную оператором зону мониторинга, и GPS-координаты.

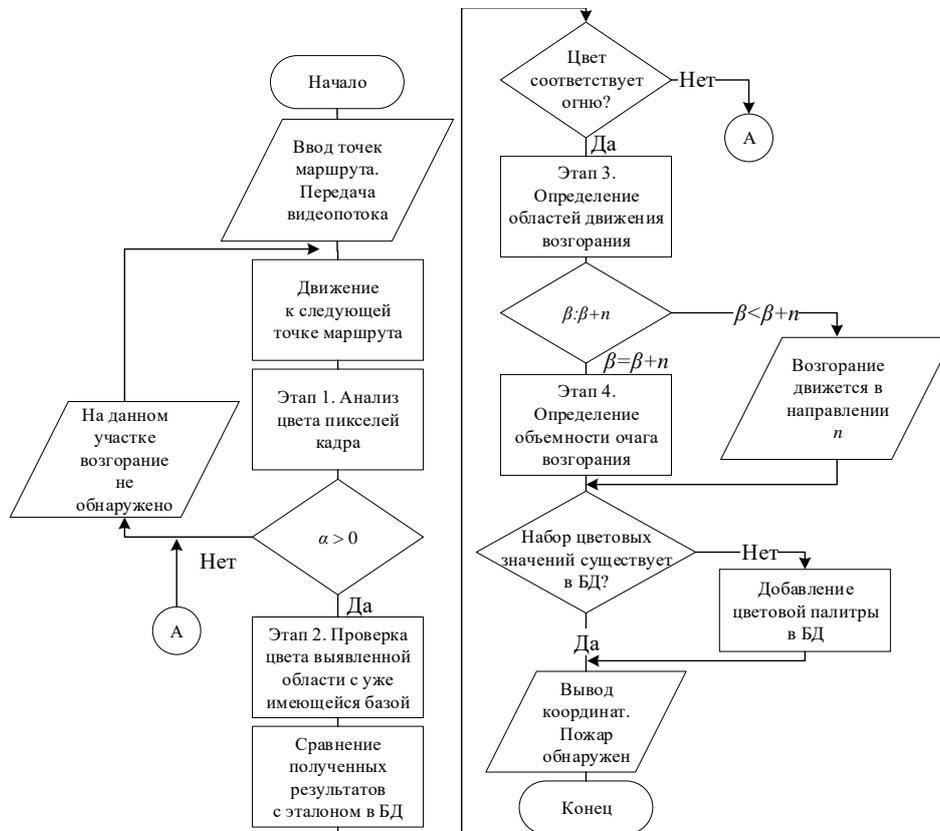


Рис. 1. Алгоритм определения очага возгорания  
Fig. 1. Algorithm for determining the source of fire

### 3. Экспериментальная часть

С целью рационального использования ресурсов БПЛА и терминала авторами разработан алгоритм обработки потока видеoinформации, состоящий из четырех этапов. На первых двух этапах применяется метод, основанный на пространственной сегментации изображения, что представляет собой определенный диапазон значений, который накладывается на получаемое с квадрокоптера изображение. Наложением на видеоизображение цветовой модели RGB определяется цвет, который наиболее близок к оттенкам огня. Оставшиеся этапы основаны на цветовом квантовании, когда изображение квантуется до нескольких репрезентативных классов, которые могут быть использованы для дифференциации областей изображения.

Если информационная система обнаруживает очаг возгорания, то происходит автоматическое оповещение оператора, который принимает решение о необходимых мерах быстрого реагирования.

*Этап 1.* Анализ интенсивности цвета пикселей на кадре. Информационная система определяет зоны, где присутствуют оттенки красного цвета изображения статичного кадра. В модели RGB значения таких пикселей будут приближаться к диапазону от  $rgb(255, 0, 0)$  (красный цвет) до  $rgb(255, 255, 0)$  (желтый цвет).

Данный этап основан на предположениях, что цвет огня на снимке имеет максимальную яркость и при программном наложении на изображение, полученное с камеры квадрокоптера, не сказывается воздействие внешней окружающей среды (например, дождь, блики и т. п.). Были введены граничные условия по освещенности территории, расстоянию до возгорания и изменению яркости очага возгорания. Эти факторы имеют существенное влияние на наиболее точное определение цвета.

Применением коэффициента  $\alpha$  (диапазона цвета) устанавливается нижняя граница зоны огня. Для определения освещенности используется датчик, установленный на корпус летательного аппарата. Расстояние до очага возгорания определяется с помощью дальномера. Положительный результат, полученный на первом этапе, позволяет активизировать второй и третий этапы.

*Этап 2.* Проверка цвета заданной оператором области на совпадение с гаммой огня. В хранилище данных информационной системы имеется набор значений пикселей цветового диапазона, соответствующего оттенкам огня. Данный диапазон значений получен экспериментальным путем при облете БПЛА территории возгорания.

Диапазон значений пикселей, определенных на первом этапе, сравнивается со значениями хранилища данных. Цветовая гамма образует набор точек в трехмерном пространстве. Если цвет пикселя попадает в диапазон значений пикселей хранилища данных, то считается, что это свидетельствует о возможном возгорании.

*Этап 3.* Выявление области охвата определенной территории огнем и анализ изменения формы очага относительно угла экспозиции движущегося беспилотного воздушного судна. Горение имеет характеристику объема, зависящую от типа пожарной нагрузки и способа ее расположения. Используя летательный аппарат при мониторинге очага возгорания посредством видеофиксации, получают набор изображений горения, снятых под различными углами. На этом этапе анализируются контуры и форма территории, после чего проводится анализ объемности рассматриваемого объекта. Вариативными факторами при анализе являются высота полета и угол наблюдения.

*Этап 4.* Определение направления распространения огня. На данном этапе определяется направление распространения огня посредством изменения расположения пик-

селей на видеоизображении. Определение площади возгорания осуществляется с помощью коэффициента распространения огня  $\beta$ , который вычисляется по формуле

$$\beta = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^m R_i,$$

где  $R_i$  — массив пикселей зафиксированного участка возгорания из диапазона от  $rgb(255, 0, 0)$  (красный цвет) до  $rgb(255, 255, 0)$  (желтый цвет);  $t$  — количество кадров, проанализированных информационной системой.

При определении возгорания оператору поступает сигнал о том, что, возможно, обнаружен пожар, и передаются координаты и время события.

Для проверки эффективности разработанного алгоритма был смоделирован процесс возгорания и функционирования бортовой системы обработки информации БПЛА. Результат моделирования представлен на рис. 2.

Далее приведены результаты испытаний в реальных природных условиях. На первом этапе определены все пиксели на изображении, относящиеся к цвету возгорания. Результат обработки изображения, полученный на данном этапе, показан на рис. 3. Из рис. 3 видно, что после первого этапа в качестве предполагаемого возгорания зафиксированы не только пламя, но и стены, которые окрашены в цветовую гамму огня и

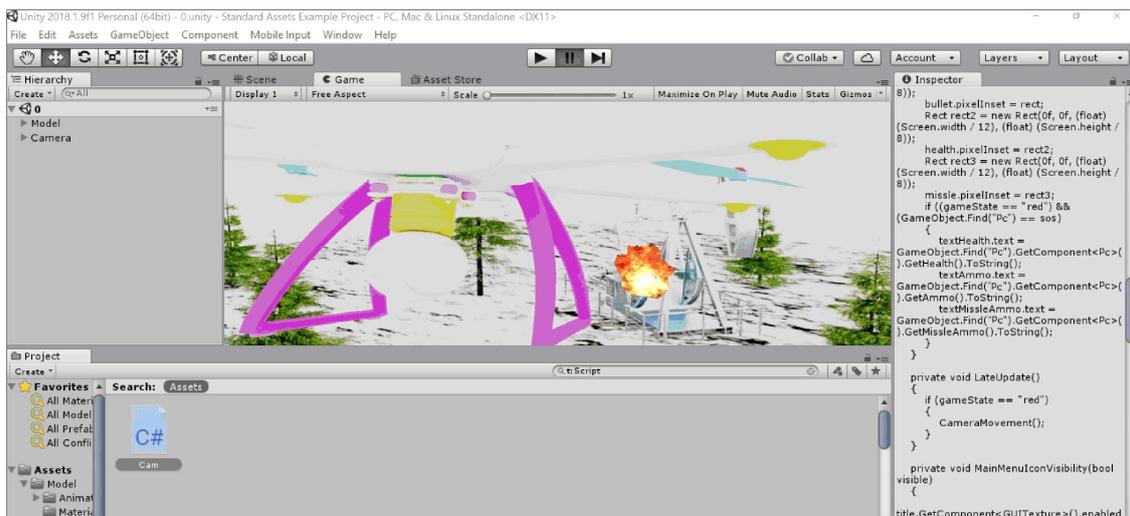


Рис. 2. Результат моделирования  
Fig. 2. Simulation result



Рис. 3. Передаваемый поток видеoinформации: *а* — исходный; *б* — полученный на этапе 1  
Fig. 3. Transmitted video information stream: *а* — source data; *б* — received in step 1

попадают в диапазон от  $rgb(255, 0, 0)$  (красный цвет) до  $rgb(255, 255, 0)$  (желтый цвет). С целью получения достоверного результата по определению очага возгорания переходим ко второму этапу, сравнивая полученный диапазон цветовых значений с имеющимся в базе данных. Затем над предполагаемым очагом возгорания квадрокоптер меняет угол съемки, чтобы получить дополнительный набор изображений. После получения набора изображений, представленных серией снимков, на третьем этапе анализируется присутствие в предполагаемом месте возгорания движения языков пламени, что позволяет сделать вывод, что на данном участке находится нестатичный объект. Затем проводится анализ объемности рассматриваемого объекта. Результаты работы, полученные на этапе 3, представлены на рис. 4.

На четвертом этапе определяется направление распространения огня путем изменения расположения пикселей на видеоизображении (рис. 5). Для этого этапа ключевым участком становится диапазон значений, который был проанализирован и отмечен на предыдущих этапах.

Пример конструкции квадрокоптера показан на рис. 6. Основное требование к комплектации квадрокоптера — наличие камеры с возможностью передачи GPS-информации, лазерный дальномер и пожарный датчик. Лазерный дальномер необходим для определения расстояния до очага возгорания, а пожарный датчик — для обнаружения задымленности участка.

Кроме того, был проведен анализ затрат полетного времени квадрокоптера. Результаты показаны на рис. 7. Исходя из рис. 7 можно сделать вывод, что время реакции системы является допустимым в соответствии с приказом МЧС России от 14.08.2019

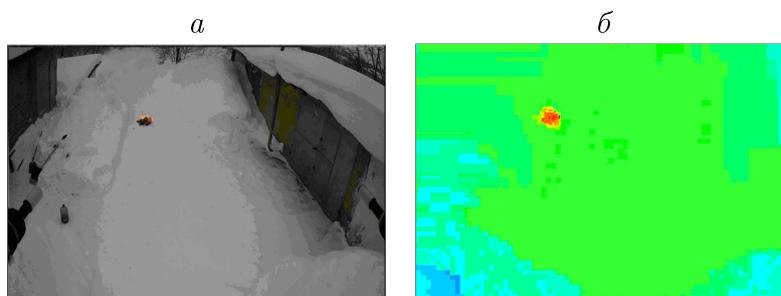


Рис. 4. Передаваемый поток видеoinформации: *a* — исходный; *б* — полученный на этапе 3  
Fig. 4. Transmitted video information stream: *a* — source data; *б* — received in step 3



Рис. 5. Передаваемый поток видеoinформации на этапе 4  
Fig. 5. Transmitted video information stream in step 4



Рис. 6. Конструкция квадрокоптера  
Fig. 6. Quadcopter design



Рис. 7. Затраты полетного времени квадрокоптера  
 Fig. 7. Cost for the flight time of the quadcopter

№ 425 “Об организации управления МЧС России”. При реагировании на чрезвычайные ситуации основное полетное время квадрокоптера занимают получение и обработка потоков данных.

## Заключение

Результаты экспериментов показали, что разработанный алгоритм способен осуществлять распознавание огня при облете территории беспилотным летательным аппаратом. Следующим шагом в развитии исследования будет изучение специфики пожара на нефтяных и газовых скважинах и внесение с ее учетом корректировок в алгоритм. Также планируется применение сверточных нейронных сетей для поиска мест возгораний и формирования оптимального решения по управлению тушением пожаров. Интеллектуальные технологии позволят в режиме реального времени оповещать соответствующие службы о возможном возгорании и формировать рекомендации по ликвидации последствий пожара. Данный подход будет способствовать оперативности принятия решения по направлению пожарных расчетов и пожарной техники в места возгорания, что очень актуально для особо отдаленных районов. Дальнейшее развитие исследования направлено на анализ влияния световых факторов (бликов, фонарей) и совершенствование алгоритма обнаружения возгораний.

## Список литературы

- [1] Liu S., Hu L. Development of four rotor fire extinguishing system for synchronized monitoring of air and ground for fire fighting. International Conference on Intelligent Robotics and Applications (ICIRA2019), Intelligent Robotics and Applications. 2019: 267–278.
- [2] Naderpour M., Mojaddadi R., Nima K., Biswajeet P. Forest fire induced Natech risk assessment: A survey of geospatial technologies. Reliability Engineering and System Safety. 2019; (191):106558.
- [3] Hsieh J.C. Fire warning system by using GPS monitoring and quadcopters. International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction (UAHCI2017). Universal Access in Human-Computer Interaction, Human and Technological Environments. 2017; (10279):518–526.
- [4] Motaparthi A., Katukam R. MAV for fire existing: A review. International Journal of Engineering Innovation & Research. 2014; 3(3):297–299. ISSN:2277-5668.
- [5] Pilz U., Gropengießer W., Walder F., Witt J., Werner H. Quadcopter localization using RTK-GPS and vision-based trajectory tracking. International Conference on Intelligent Robotics and Applications, (ICIRA2011). Intelligent Robotics and Applications. 2011: 12–21.

- 
- [6] **Mishra S., Zhang W.** Hybrid low pass and de-trending filter for robust position estimation of quadcopters. *Dynamic Systems and Control Division*. 2016; 2(DSCC2016-9921):V002T29A004. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/313786654\\_Hybrid\\_Low\\_Pass\\_and\\_De-Trending\\_Filter\\_for\\_Robust\\_Position\\_Estimation\\_of\\_Quadcopters](https://www.researchgate.net/publication/313786654_Hybrid_Low_Pass_and_De-Trending_Filter_for_Robust_Position_Estimation_of_Quadcopters)
- [7] **Palestini L., Binotti G.** Image/data transmission systems of the Italian fire and rescue service in emergency contexts: An overview of methods and technologies to support decision-making. *Enhancing CBRNE Safety & Security: Proceedings of the SICCC2017 Conference*. Italy, Rome. 2017: 129–139. Available at: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-91791-7\\_1](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-91791-7_1)
- [8] **Golodov V., Buraya A., Bessonov V.** Detection of forest fires based on aerial survey data using neural network technologies. *International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon)*. Vladivostok, Russia. 2019: 19229086.
- [9] **Krushel E.G., Lyutaya T.P., Privalov O.O., Shcherbakov M.V.** Fire-dangerous situations recognition in the forest areas and forest shelter belts. *Proceedings of the Volgograd state technical University*. 2018; 218(8):39–42. (In Russ.)
- [10] **Stula M., Krstinic D., Seric L.** Intelligent forest fire monitoring system. *Information Systems Frontiers*. 2012; (14):725–739.
- [11] **Hua L., Shao G.** The progress of operational forest fire monitoring with infrared remote sensing. *Journal of Forestry Research*. 2017; (28):215–229.
- [12] **Frizzi S., Kaabi R., Bouchouicha R., Ginoux J.M., Moreau E., Fnaiech F.** Convolutional neural network for video fire and smoke detection. *IECON 2016 — 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*. Florence, Italy. 2016: 16557369.
- [13] **Zhu H., Jin L.** Design of forest fire prevention system based on images recognition algorithm. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology*. 2019; 6(7):10403–10405.
- [14] **Zhang Q.X., Lin G.H., Zhang Y.M., Xu G., Wang J.J.** Wildland forest fire smoke detection based on faster R-CNN using synthetic smoke images. *Procedia Engineering*. 2018; (211):441–446.
- [15] **Tian Q., Yan Y., Lu G.** An autoadaptive edge-detection algorithm for flame and fire image processing. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. 2012; 61(5):1486–1493.
- [16] **Kalpana Y., Padmaa M.** An efficient edge detection algorithm for flame and fire image processing. *International Conference on Communication and Signal Processing*. Melmaruvathur, India. 2014; 14737228.
- [17] **Mezhenin A., Izvozhikova V., Shardakov V., Korotkikh A.** Technologies of reconstruction and procedural generation of three-dimensional content. *Journal of Physics: Conference Series, Proceedings of the International Scientific Conference on Applied Physics, Information Technologies and Engineering 2019, APITECH 2019, 25–27 September 2019, Krasnoyarsk, Russian Federation / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall*. 2019; 1399(3): 6.
- [18] **Shardakov V., Parfenov D., Bolodurina I., Izvozhikova V., Zaporozhko V., Mezhenin A.** Development of an effective model of parallel processing of multimedia data on the CPU and GPU in the cloud system. *Journal of Physics: Conference Series, Proceedings of the International Scientific Conference on Applied Physics, Information Technologies and Engineering 2019, APITECH 2019, 25–27 September 2019, Krasnoyarsk, Russian Federation / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall*. 2019; 1399(3): 8.
-

## Development of hardware and software complex for monitoring fires by unmanned aerial vehicles

IZVOZCHIKOVA VERA V., SHARDAKOV VLADIMIR M.\*, ZAPOROZHKO VERONIKA V.

Orenburg State University, 460018, Orenburg, Russia

\*Corresponding author: Shardakov Vladimir M., e-mail: [werovulv@inbox.ru](mailto:werovulv@inbox.ru)

Received July 28, 2020, revised March 20, 2021, accepted April 22, 2021.

### Abstract

The paper addresses the problem of fire detection that is based on information obtained by an unmanned aerial vehicle. The purpose of this work is the possibility of early detection of ignition in oil and gas wells. An algorithm for fire detection based on the application of the RGB color model to the obtained video images of the studied area is proposed. The algorithm is based on the methods of spatial image segmentation and color quantization. According to the presented algorithm, a quadcopter transmits the incoming image from the digital video camera to the terminal, scanning the monitoring zone and GPS coordinates set by the operator. The algorithm for detecting the fire source is divided into four stages: analysis of the color intensity on the frame; checking the color of the area specified by the operator for coincidence with the range of fire; determining the fire coverage area in a certain territory and analyzing the change in the shape of the fire center relative to the angle of the moving unmanned aerial vehicle; determining the direction of fire propagation. Accurate automated determination of coordinates is carried out using the GPS signal of the fire, which allows starting localization and eliminating the fire source in a timely manner, thereby preventing a negative impact on people, nature and wildlife, as well as reducing the damage caused by the fire. A prototype of a software and hardware complex for remote dynamic monitoring, including an on-board information processing system for an unmanned aerial vehicle (UAV) and an information system, has been modelled. The paper presents the requirements for unmanned aerial vehicles, as well as analysis for the cost of the quadcopter's flight time. The results of the experiments have shown the ability of the algorithm proposed by the authors to successfully detect the source of a fire on the ground. The created software and hardware complex allows quickly developing and making the most optimal decisions on the direction of fire crews and fire equipment to the fire sites, which is especially important for remote areas.

*Keywords:* fire source, territory monitoring, robotic platforms, detection of natural and man-made fires, unmanned aerial vehicles, fire coordinates.

*Citation:* Izvozchikova V.V., Shardakov V.M., Zaporozhko V.V. Development of hardware and software complex for monitoring fires by unmanned aerial vehicles. Computational Technologies. 2021; 26(3):118–129. DOI:10.25743/ICT.2021.26.3.008. (In Russ.)

### References

1. Liu S., Hu L. Development of four rotor fire extinguishing system for synchronized monitoring of air and ground for fire fighting. International Conference on Intelligent Robotics and Applications (ICIRA2019), Intelligent Robotics and Applications. 2019: 267–278.
2. Naderpour M., Mojaddadi R., Nima K., Biswajeet P. Forest fire induced Natech risk assessment: A survey of geospatial technologies. Reliability Engineering and System Safety. 2019; (191):106558.

3. **Hsieh J.C.** Fire warning system by using GPS monitoring and quadcopters. International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction (UAHCI2017). Universal Access in Human-Computer Interaction, Human and Technological Environments. 2017; (10279):518–526.
4. **Motaparathi A., Katukam R.** MAV for fire extinguishing: A review. International Journal of Engineering Innovation & Research. 2014; 3(3):297–299. ISSN:2277-5668.
5. **Pilz U., Gropengießer W., Walder F., Witt J., Werner H.** Quadcopter localization using RTK-GPS and vision-based trajectory tracking. International Conference on Intelligent Robotics and Applications, (ICIRA2011). Intelligent Robotics and Applications. 2011: 12–21.
6. **Mishra S., Zhang W.** Hybrid low pass and de-trending filter for robust position estimation of quadcopters. Dynamic Systems and Control Division. 2016; 2(DSCC2016-9921):V002T29A004. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/313786654\\_Hybrid\\_Low\\_Pass\\_and\\_De-trending\\_Filter\\_for\\_Robust\\_Position\\_Estimation\\_of\\_Quadcopters](https://www.researchgate.net/publication/313786654_Hybrid_Low_Pass_and_De-trending_Filter_for_Robust_Position_Estimation_of_Quadcopters)
7. **Palestini L., Binotti G.** Image/data transmission systems of the Italian fire and rescue service in emergency contexts: An overview of methods and technologies to support decision-making. Enhancing CBRNE Safety & Security: Proceedings of the SIC2017 Conference. Italy, Rome. 2017: 129–139. Available at: [https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-91791-7\\_1](https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-91791-7_1)
8. **Golodov V., Buraya A., Bessonov V.** Detection of forest fires based on aerial survey data using neural network technologies. International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). Vladivostok, Russia. 2019: 19229086.
9. **Krushel E.G., Lyutaya T.P., Privalov O.O., Shcherbakov M.V.** Fire-dangerous situations recognition in the forest areas and forest shelter belts. Proceedings of the Volgograd state technical University. 2018; 218(8):39–42. (In Russ.)
10. **Stula M., Krstinic D., Seric L.** Intelligent forest fire monitoring system. Information Systems Frontiers. 2012; (14):725–739.
11. **Hua L., Shao G.** The progress of operational forest fire monitoring with infrared remote sensing. Journal of Forestry Research. 2017; (28):215–229.
12. **Frizzi S., Kaabi R., Bouchouicha R., Ginoux J.M., Moreau E., Fnaiech F.** Convolutional neural network for video fire and smoke detection. IECON 2016 — 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. Florence, Italy. 2016: 16557369.
13. **Zhu H., Jin L.** Design of forest fire prevention system based on images recognition algorithm. Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology. 2019; 6(7):10403–10405.
14. **Zhang Q.X., Lin G.H., Zhang Y.M., Xu G., Wang J.J.** Wildland forest fire smoke detection based on faster R-CNN using synthetic smoke images. Procedia Engineering. 2018; (211):441–446.
15. **Tian Q., Yan Y., Lu G.** An autoadaptive edge-detection algorithm for flame and fire image processing. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 2012; 61(5):1486–1493.
16. **Kalpna Y., Padmaa M.** An efficient edge detection algorithm for flame and fire image processing. International Conference on Communication and Signal Processing. Melmaruvathur, India. 2014; 14737228.
17. **Mezhenin A., Izvozchikova V., Shardakov V., Korotkikh A.** Technologies of reconstruction and procedural generation of three-dimensional content. Journal of Physics: Conference Series, Proceedings of the International Scientific Conference on Applied Physics, Information Technologies and Engineering 2019, APITECH 2019, 25–27 September 2019, Krasnoyarsk, Russian Federation / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall. 2019; 1399(3): 6.
18. **Shardakov V., Parfenov D., Bolodurina I., Izvozchikova V., Zaporozhko V., Mezhenin A.** Development of an effective model of parallel processing of multimedia data on the CPU and GPU in the cloud system. Journal of Physics: Conference Series, Proceedings of the International Scientific Conference on Applied Physics, Information Technologies and Engineering 2019, APITECH 2019, 25–27 September 2019, Krasnoyarsk, Russian Federation / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall. 2019; 1399(3): 8.