

РАЗРАБОТКА ПОЖАРНОГО РОБОТА НА БАЗЕ КВАДРОКОПТЕРА

В.А. Шадрин, С.А. Лисаков, А.Н. Павлов, Е.В. Сыпин

В статье описываются принципиальные решения по построению пожарного робота на базе квадрокоптера, который может выполнять патрулирование помещения с целью обнаружения очага возгорания и его последующей ликвидации. Сформулированы основные технические требования к пожарному роботу. Предложена структурная схема и возможные готовые блоки для реализации робота. Выбран метод планирования траектории движения квадрокоптера и метод обработки видеосигнала для обнаружения возгорания.

Ключевые слова: квадрокоптер, очаг возгорания, пожарный робот, пожаротушение.

ВВЕДЕНИЕ

Современные условия жизни нашего общества в значительной мере обусловлены большими темпами роста производства, торговли, изменением экономических связей как внутри страны, так и в международном масштабе. Появление новых средств труда, технологических процессов предъявили и новые требования к организации, принципам и методам противопожарной защиты объектов [1].

Одними из самых эффективных средств борьбы с пожарами являются автоматические установки пожаротушения, которые приводятся в действие по объективным показаниям и обеспечивают пожаротушение без участия человека [2].

Промышленные роботы начали широко внедряться в производственные автоматизированные процессы еще в XX веке. Участвовавшие техногенные катастрофы создали условия для ускорения разработки пожарных роботов с целью применения их в экстремальных ситуациях [3].

Новые подходы в технологии пожаротушения, основанные на применении пожарных роботов, воплотивших в себе последние достижения науки и техники, значительно расширили технические возможности автоматических установок пожаротушения [4]. В последнее десятилетие значительно возрос интерес к использованию компактных беспилотных летательных аппаратов для контроля возникновения пожаров, по результатам фото и видеосъемки охраняемых объектов [5–7].

Имеющиеся в настоящий момент летающие пожарные роботы, как правило, рассчитаны на наблюдение за большими открытыми пространствами, такими как леса, заповедники, лесозаготовки, и способны только распознавать наличие пламени и сообщать об этом на пульт контроля диспетчеру. Такие роботы отличаются большими габаритными

размерами и высокой стоимостью.

Для обеспечения противопожарной защиты в помещениях используются либо стационарные модели роботов, либо мобильные роботы на колесном и гусеничном ходу. В случае если охраняемое помещение имеет сложную форму (например, складские помещения со стеллажами), то эффективность применения таких роботов существенно снижается.

При охране помещений сложной формы стационарными моделями роботов требуется дополнительная установка таких роботов отдельно для контроля незащищенных участков помещения. Мобильные роботы являются ограниченно маневренными и относительно медленными при передвижении по помещению сложной конфигурации.

Использование малогабаритных летающих пожарных роботов благодаря высокой маневренности на низких скоростях и меньшей ограниченности в передвижении позволит повысить эффективность контроля возникновения пожара внутри помещения сложной конфигурации.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В связи с вышеизложенным была сформулирована цель – разработать принципиальные решения по построению пожарного робота на базе квадрокоптера, который может выполнять патрулирование помещения с целью обнаружения очага возгорания и его последующей ликвидации.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

– проанализировать ближайшие аналоги и сформулировать требования к пожарному роботу;

– разработать структурную схему и выбрать основные блоки для построения пожарного робота;

– выбрать аппаратные средства реали-

РАЗРАБОТКА ПОЖАРНОГО РОБОТА НА БАЗЕ КВАДРОКОПТЕРА

зации системы управления движением пожарного робота по заданной траектории и средства разработки программного обеспечения;

– выбрать метод обработки видеосигнала для обнаружения возгорания.

АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ И ФОРМУЛИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ПОЖАРНОМУ РОБОТУ

Одним из аналогов может служить мультикоптер «Fly-n-Sense», применяемый для обнаружения пожаров на открытых пространствах. Длительность его полета составляет 20 минут, а максимальная дополнительная нагрузка достигает 500 г. Недостатком мультикоптера являются низкая маневренность (при применении в замкнутом пространстве) из-за больших габаритных размеров (85×85×30 см). В конструкции мультикоптера не предусмотрено устройств пожаротушения [8].

Косвенным аналогом может служить летательный аппарат самолетного типа ZALA 421-08M отечественной компании «ZALA AERO GROUP». Длительность полета достигает 80 минут, а максимальная дополнительная нагрузка достигает 300 г. Габаритные размеры составляют 81×42,5×2 см. Отличительной особенностью данного продукта являются высокая скорость полета (до 130 км/ч) и очень низкая маневренность, что делает его непригодным для использования в замкнутом пространстве. Однако данный летательный аппарат широко востребован для проведения наблюдений за пожарной обстановкой на открытых пространствах [9].

Ближайшим отечественным аналогом может служить летательный аппарат ZALA 421-21 компании «ZALA AERO GROUP». Длительность полета достигает 40 минут, а максимальная дополнительная нагрузка достигает 300 г. Габаритные размеры составляют 60×52×75 см. В конструкции летательного аппарата не предусмотрено средство для тушения пожара. Спецификой данного продукта являются его использование в воздушной разведке, что значительно увеличивает его функционал, а значит и конечную стоимость [10].

Исходя из особенностей использования пожарных роботов внутри помещений, анализа литературы [4–7] и нормативных документов (ГОСТ Р 53325-2012, ГОСТ Р 53326-2009), сформулированы следующие требования к пожарному роботу:

– длительность полета – не менее 20 минут;

– полезный переносимый вес – не менее 500 г;

– габаритные размеры – не более 75×75×30 см;

– возможность патрулирования охраняемого помещения по заданной траектории, с учетом конфигурации помещения;

– время обнаружения очага возгорания по видеоизображению – не более 30 с;

– расстояние обнаружения тестовых очагов пожара – не менее 5 м;

– устойчивость к воздействию помех (оптических помех, помех от движущихся объектов);

– погрешность определения координат очага возгорания не более ±0,5 м;

– возможность ликвидации пожара путем сброса самосрабатывающего устройства пожаротушения. Время доставки и сброса устройства пожаротушения от момента обнаружения возгорания не должно превышать 1 мин;

– возможность передачи тревожного сигнала на пульт пожарной охраны и стационарную систему пожаротушения.

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА И ПРИНЦИП РАБОТЫ

В соответствии со сформулированными требованиями была разработана структурная схема пожарного робота на базе квадрокоптера (рисунок 1).

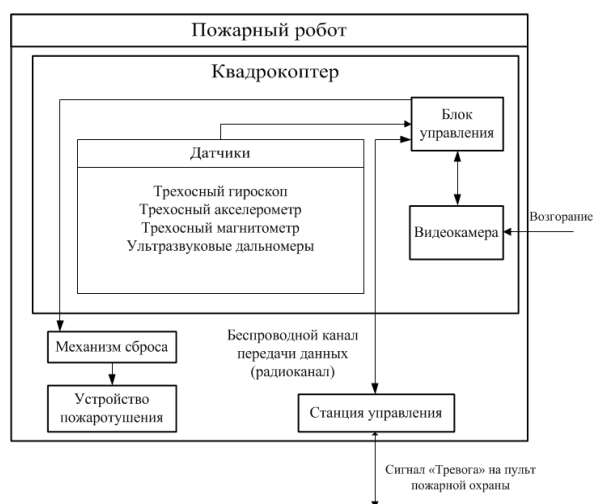


Рисунок 1 – Структурная схема пожарного робота на базе квадрокоптера

Пожарный робот состоит из станции управления, квадрокоптера, механизма сброса и устройства пожаротушения.

Квадрокоптер включает в себя блок управления, датчики и видеокамеру.

Станция управления (персональный компьютер) позволяет организовать патрулирование пожарным роботом охраняемого по-

мещения по заданной траектории. Для этого с помощью программного обеспечения станция управления по беспроводному каналу передачи данных отправляет данные о маршруте полета квадрокоптера по охраняемому помещению на блок управления. Данные о маршруте включают точки в пространстве, направление движения по точкам, скорость движения, места взлета и посадки. Пример маршрута движения квадрокоптера по охраняемому складскому помещению приведен на рисунок 2.

Блок управления квадрокоптером принимает данные о маршруте, и согласно этим данным выполняет управление полетом квадрокоптера. Положение квадрокоптера в пространстве с учетом маршрута определяется блоком управления по показаниям измерительных датчиков. К датчикам относятся:

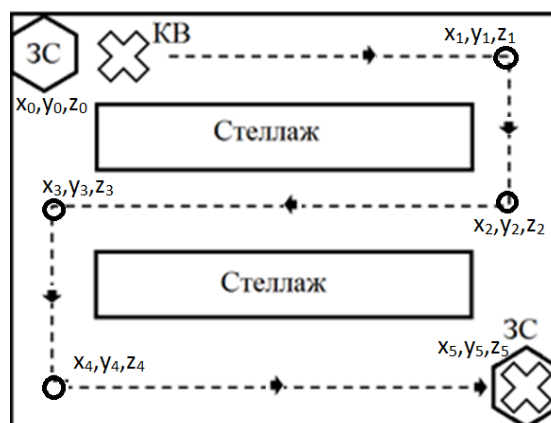
- трехосный гироскоп, позволяющий стабилизировать полет квадрокоптера внутри охраняемого помещения;
- трехосный акселерометр, предназначенный для определения положения квадрокоптера в пространстве (наклон квадрокоптера), а также для оценки пройденной дистанции по величине линейных ускорений;
- трехосный магнитометр, позволяющий определить курсовое направление полета квадрокоптера;
- ультразвуковые дальномеры, предназначенные для определения пространственного расположения квадрокоптера по данным о расстояниях до окружающих поверхностей (стены, пол, стеллажи и т.п.).

Обнаружение очага возгорания при патрулировании выполняется по данным видеоизображения с видеокamеры, которые захватываются блоком управления и передаются через беспроводной канал на станцию управления. Программная обработка изображения требует значительных вычислительных ресурсов, поэтому блок управления не способен самостоятельно выполнить эту задачу без помощи станции управления.

С помощью программной обработки видеоизображения принимается решение о наличии возгорания и определяется его пространственное расположение. Далее передается тревожный сигнал на пульт пожарной охраны и выполняется программа пожаротушения.

При выполнении программы пожаротушения маршрут движения квадрокоптера определяется расположением возгорания. Квадрокоптер движется в сторону возгорания, зависает над очагом и выполняет сброс устройства пожаротушения посредством механизма сброса. После выполнения сброса по видео-

изображению определяется, ликвидирован ли пожар. В случае если пожар не ликвидирован, может быть выполнена активация стационарной системы пожаротушения.



КВ – квадрокоптер; ЗС – зарядная станция;
 x, y, z – координаты точек на маршруте

Рисунок 2 – Маршрут патрулирования охраняемого складского помещения (вид сверху)

После патрулирования квадрокоптер выполняет посадку на беспроводную зарядную станцию. Зарядные станции располагаются вначале и в конце траектории.

ВЫБОР БЛОКОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ПОЖАРНОГО РОБОТА

Поскольку проектирование квадрокоптера с нуля является достаточно трудоемкой задачей, было принято решение построить экспериментальный образец пожарного робота на базе одного из существующих программируемых квадрокоптеров. В результате анализа предложений на рынке установлено, что существуют программируемые квадрокоптеры различных конфигураций и с различными функциональными возможностями.

Большинство программируемых аппаратов имеют высокую стоимость (например, квадрокоптер DJI Matrice 100, стоящий порядка 300 тыс. руб.). Недостатком же дешевых устройств является ограниченные функциональные возможности (например, отсутствует трансляция сигнала с видеокamеры квадрокоптера на компьютер).

В результате анализа был выбран квадрокоптер французской фирмы Parrot Ar.Drone 2.0 (рисунок 3) [11], который относится к классу миниатюрных летательных аппаратов и построен по классической четырехвинтовой схеме. Выбор этого устройства в качестве

РАЗРАБОТКА ПОЖАРНОГО РОБОТА НА БАЗЕ КВАДРОКОПТЕРА

основы для построения пожарного робота обусловлен его низкой ценой, приемлемыми техническими характеристиками, а также полноценной программной поддержкой со стороны производителя.

Существует возможность расширения функций квадрокоптера за счет подключения дополнительных плат управления (например, плат Arduino), датчиков, управляемых механизмов.



Рисунок 3 – Квадрокоптер Ar.Drone 2.0

Блок управления квадрокоптера построен на базе процессора ARM cortex A8 с тактовой частотой 1 GHz и включает оперативную память DDR 1 Gb. К датчикам системы навигации AR.Drone 2.0 относятся: ультразвуковой высотомер, трехосный модуль акселерометра, двухосный гироскоп и одноосный высокоточный курсовой гироскоп, трехосный магнитометр.

Система технического зрения включает фронтальную видеокамеру с разрешением видеопотока 1280×720 пикселей и частотой 30 кадров/с и вертикальную видеокамеру, с разрешением видеопотока 320×240 и частотой 60 кадров/с.

При габаритных размерах 45,2×45,2 см и массе 420 г время полета квадрокоптера составляет около 30 минут. Максимальная скорость 5 м/с. Максимальный полезный переносимый вес составляет 600 г.

Управление квадрокоптером Ar.Drone 2.0 осуществляется посредством радиоканала на основе стандартов передачи цифровых потоков данных Wi-Fi. Дальность связи между станцией и квадрокоптером ограничена радиусом в 50 метров [12].

В качестве устройства сброса груза с квадрокоптера выбрана система RC Off-load Hook [13, 14], отличающаяся небольшим весом (27 гр.) и простотой конструкции. Сброс груза осуществляется сервоприводом [15].

В качестве устройства пожаротушения могут быть использованы самосрабатывающие устройства пожаротушения, такие как «Шар-1» [16] или «Пожарная граната» (Fire Fighter Throwing) [17].

Устройство для тушения очагов пожаров «Шар-1» является порошковым огнетушителем и предназначено для тушения пожаров твердых горючих веществ (класс А), жидких горючих материалов (класс В) и электрооборудования (класс Е), находящихся под напряжением до 5000 В.

Преимуществами данного устройства являются:

- самостоятельное срабатывание при контакте с очагом;
- малый вес и отсутствие необходимости приближаться к огню;
- высокая скорость срабатывания при возникновении пламени (порядка нескольких секунд) [16].

Устройство «Шар-1» не подходит для применения с квадрокоптером, поскольку его вес (1,3 кг) превышает максимальный переносимый вес квадрокоптера. Сферическая форма устройства существенно ограничивает возможность его крепления к квадрокоптеру.

Принцип действия «Пожарной гранаты» (Fire Fighter Throwing) заключается в том, что находящаяся в капсуле огнетушащей гранаты жидкость оказывает на область поражения огнем комбинированное действие. Эффективность ликвидации возгорания достигается за счет выделения из состава воды, углекислого и аммиачного газов при большой температуре. Испарение воды приводит к охлаждению горящих компонентов, аммиачный газ сдерживает цепную реакцию горения, а углекислый газ препятствует поступлению кислорода к месту горения. Создание защитной пленки на горячей поверхности (за счет входящих в состав поверхностно-активных веществ) предотвращает повторное возгорание [17].

Преимуществами «Пожарной гранаты» являются:

- малый вес капсулы (не более 600 грамм);
- возможность использования для тушения возгорания веществ класса А (дерево, бумажные изделия, пластиковая масса, свечи) и класса В (керосин, бензин, жидкость для заправки зажигалок);
- значительный объем, защищаемый одной капсулой (до 15 м³ для вещества класса А);
- высокое быстродействие, по сравнению с обычными огнетушителями (от 1 до 5 с).

Следовательно, «Пожарная граната» (Fire Fighter Throwing), благодаря малому весу, может быть применима в качестве устройства пожаротушения, сбрасываемого пожарным роботом.

В качестве беспроводной зарядной станции предлагается использовать готовое устройство [18, 19] в комплекте с универ-

сальным приемником. Достоинствами такого способа зарядки является автономность, поскольку нет необходимости вручную подключать квадрокоптер к зарядному устройству.

АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОЖАРНОГО РОБОТА ПО ЗАДАННОЙ ТРАЕКТОРИИ

Для контроля движения квадрокоптера по заданной траектории наиболее часто используются следующие аппаратные средства:

- инерционные датчики;
- системы технического зрения (оптическая одометрия);
- устройства для генерирования траектории на основе данных навигационных и локационных систем ГЛОНАСС или GPS
- ультразвуковые дальномеры (сонары) [20].

Аппаратные средства управления на основе данных инерционных датчиков являются весьма распространёнными и применяются при управлении малоразмерными беспилотными летательными аппаратами (квадрокоптерами). Инерционные датчики обычно включают в себя микроэлектромеханические гироскопы, акселерометры и, иногда, магнитометры. С помощью этих датчиков можно получить всю необходимую информации о положении аппарата. Но микроэлектромеханические датчики вращения, прежде всего, работают при возникновении сил Кориолиса и показывают не угол поворота, а угловую скорость. При этом возникает необходимость интегрирования (в случае аналогового сигнала) или суммирования (в случае дискретного сигнала). В результате, косвенное измерение вращения будет приближенным и зависеть от частоты дискретизации сигнала [20]. Другим источником погрешности сигналов вращения является проявление дрейфа нуля в гироскопе, когда даже при статическом положении показывается изменение угла на выходе гироскопа.

Для оценки пройденной линейной дистанции используется акселерометр. Он позволяет определять величины линейных ускорений. Но акселерометры подвержены высокочастотным и высокоамплитудным помехам, преодоление которых осуществляется с помощью дополнительных фильтров (например, фильтр Кальмана). В результате фильтрации сигнал так же интегрируется для получения значения пройденной дистанции, что вызывает погрешность [20].

Оптическая одометрия – процесс получения информации о положении с помощью

фотоаппаратов и видеокамер. Этот метод относится к алгоритмам систем технического зрения. В результате оптической одометрии получают информацию о пройденной дистанции и направлении движения. Алгоритм оптической одометрии состоит из последовательности шагов, таких как получение изображения и его коррекции, детектирование ключевых целевых точек в зависимости от выбранного алгоритма распознавания, проверка векторов оптических потоков и определение движения летательного аппарата. Недостатками метода являются неопределенность в однотипных изображениях и потребность в значительной вычислительной мощности [20].

Применение навигационных систем ориентируется на спутниковую технологию, которая позволяет выполнять измерение расстояния и определять местоположение (в случае отслеживания). Сигнал спутниковой системы доступен почти везде на поверхности Земли. К сожалению, регистрируемые аварии показывают, что в 15 % случаев причинами аварий беспилотных летательных аппаратов являются потери связи со спутниками, высокая погрешность определения координат. Так же качество измерений зависит от местонахождения и наклона орбиты спутника относительно Земного шара. Самые новые спутники определяют местоположение с точностью от 60 см до одного метра [20]. В связи с этим можно сделать вывод, что для закрытых помещений использование систем навигационных систем не подходит.

Ультразвуковой дальномер (датчик расстояния) состоит из генератора ультразвука, излучателя, приемника и усилителя-формирователя выходного сигнала. Ультразвуковые дальномеры, как правило, измеряют дистанцию с точностью до 1–2 см и работают на расстоянии до отражающей поверхности не более 6 м. На показания дальномеров не влияют потоки воздуха, но погрешность определения расстояния определяется характером отражающей поверхности. Применение ультразвукового дальномера оправдано при полетах в закрытых помещениях, где расстояние до отражающей поверхности соизмеримо с его рабочей дальностью и поверхности стен и пола, как правило, хорошо отражают ультразвуковые волны. Нужно также учитывать, что дальномер точно измеряет расстояние, когда импульс ультразвука направлен под прямым углом к отражающей поверхности. Таким образом, из-за ограниченной дальности, ультразвуковые дальномеры могут быть использованы как вспомогательные средства для управления траекто-

рией движения квадрокоптера [21].

При построении пожарного робота предполагается организовать управление его движением на основе обработки данных инерционных датчиков и ультразвуковых дальнометров. Этот принцип управления поддерживается программным обеспечением Ar.Drone 2.0. В случае если точность измерения пространственного расположения квадрокоптера будет низкой, возможно применение оптической одометрии.

СРЕДСТВА РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РОБОТА

В настоящее время существуют различные программные интерфейсы, позволяющие обращаться и управлять квадрокоптером Ar.Drone. Все эти программы предоставляют комплект разработчика программного обеспечения (SDK) для содействия при подключении к квадрокоптеру от любой операционной системы через беспроводной или USB интерфейс [20].

SDK состоит из многоядерных платформ, написанных на языке C, а также основных приложений различных платформ и операционных систем, включая Windows, Linux, iOS и Android. Ядро SDK отвечает за следующие задачи:

- настройка каналов передачи данных и связи с квадрокоптером;
- прием и декодирование видеок кадров;
- прием и декодирование навигационных данных;
- кодирование и отправка команд управления.

Для создания ПО можно использовать комплект разработчика программного обеспечения (SDK) и платформу NodeJS, на которой осуществляется программирование квадрокоптеров на языке Javascript.

NodeJS – платформа, основанная на среде разработки JavaScript V8, и предлагающая асинхронное API для работы по обмену данными через сеть и с диском. NodeJS обеспечивает возможность взаимодействовать с устройствами ввода-вывода через свой API (написанный на C++), подключать другие внешние библиотеки, написанные на разных языках, обеспечивая вызовы к ним из JavaScript-кода [22].

Для программирования полета квадрокоптера с помощью среды NodeJS используется приложение Nodectop, позволяющее получать данные с датчиков квадрокоптера и простыми операциями передавать команды без применения низкоуровневого программи-

рования на языке C, что существенно упрощает процесс разработки ПО.

АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ВИДЕОСИГНАЛА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ВОЗГОРАНИЯ

В системах пожарной сигнализации в последние годы разработаны новые методы и на их основе алгоритмы обработки видеосигнала, которые могут быть использованы для обнаружения пожара по различным сопутствующим факторам.

Их можно условно разбить на три группы [23]:

1. Методы, основанные на обнаружении пламени в результате анализа статической и динамической, яркостной и цветовой составляющих отдельных элементов изображения, в том числе с применением специальных сенсоров ближнего инфракрасного диапазона. Недостатком этих методов является сложность идентификации пламени, которое находится на значительном удалении от камеры. Кроме того, они не позволяют вычислять точную координату местонахождения очага пожара на видеоизображении. Здесь перспективным может быть совмещение функций инфракрасного извещателя пламени и различного рода видеодетекторов [23].

2. Методы с использованием опорных изображений, полученных до наступления тревожной ситуации при нормальных условиях и для различных условий освещенности (день, вечер, осадки и др.). Разработки по определению условий окружающей среды в системах охранного телевидения преимущественно основаны на детальном анализе изображений. В некоторых системах по определению степени освещенности или затененности использованы внутренний хронометраж, данные о широте и долготе, а также встроенный астрономический календарь. Наибольший интерес для обнаружения пожара представляет метод, основанный на анализе отдельных частей изображения по специальным признакам, который позволяет распознавать наличие дыма, тени, тумана, либо увеличения оптической плотности среды под воздействием различных факторов. На основе данного метода создано устройство [23, 24], однако существенными недостатками этого устройства являются низкая надежность работы в условиях тумана, а также большая инерционность, что снижает достоверность обнаружения пожара.

3. Методы, в которых используется банк данных типовых блоков видеоизображения различных тревожных ситуаций – форма и

тип пламени, интенсивность задымления и т.д., а также различных возмущающих факторов, таких, как солнечная засветка, свет фар движущихся автомобилей, различного рода световые блики и др., которые, при необходимости, сравниваются с отдельными частями реального изображения. Положительной стороной обнаружения пожара устройством данного вида является низкая вероятность ложных срабатываний, но только в четких границах его использования. К недостаткам можно отнести узкую область его применения, связанную с конечным количеством хранимых идентификаторов пламени и элементов возмущающих источников света, высокие аппаратные требования, сложность программирования для конкретного объекта защиты [23, 24].

После анализа приведенных методов для построения пожарного робота был выбран метод, основанный на обнаружении пламени по оценке статической и динамической составляющих отдельных элементов изображения. Данный метод обнаружения пламени наиболее универсален и позволяет наиболее эффективно определять наличие пламени на анализируемом видеоизображении и пренебрегать различными световыми возмущениями, что сводит к минимуму возможность ложных срабатываний робота. К недостатку метода относится сложность идентификации пламени, которое находится на значительном удалении от камеры. Однако указанный недостаток сводится к минимуму, т.к. пожарный робот при осуществлении патрулирования обеспечивает нахождение охраняемой области на заданном расстоянии.

ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

В результате выполнения работ были разработаны принципиальные решения по построению пожарного робота на базе квадрокоптера.

Решены следующие задачи:

- проанализированы ближайшие аналоги и сформулированы требования к пожарному роботу;

- разработана структурная схема и выбраны основные блоки для построения пожарного робота;

- выбраны аппаратные средства реализации системы управления движением пожарного робота по заданной траектории и средства разработки программного обеспечения;

- выбран метод обработки видеосигнала для обнаружения возгорания.

При реализации системы управления квадрокоптером предполагается организо-

вать управление на основе обработки данных инерционных датчиков и ультразвуковых дальнометров. Для обнаружения пожара наиболее приемлемым является метод, основанный на обнаружении пламени по оценке статической и динамической составляющих отдельных элементов изображения.

Дальнейшая работа направлена на окончательное проектирование пожарного робота и создание действующего экспериментального образца.

Работа выполнена при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (программа «УМНИК», контракт № 8495ГУ/2015).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pavlov, A. N. Optoelectronic system for determination of ignition center three-dimensional coordinates at initial stage / A. N. Pavlov, E. V. Sypin // 9th International conference and seminar on micro/nanotechnologies and electron devices EDM'2010: Conference proceedings. – Novosibirsk: NSTU, 2010. – P. 417–419.

2. Лисаков, С. А. Программно-аппаратный комплекс для управления многоточечной системой определения координат очага возгорания / С. А. Лисаков, А. В. Кураев, А. Н. Павлов, Е. В. Сыпин // Ползуновский вестник. – 2014. – № 2. – С. 179–182.

3. ГОСТ Р 53326–2009. Техника пожаротушения. Установки пожаротушения роботизированные. Общие технические требования. Методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2009.

4. Мост безопасности. Пожарные роботы в современных технологиях автоматического пожаротушения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.securitybridge.com/biblioteka/stati_po_bezопасности/pozharnye_roboty_v_sovremennyh_tehnologiyah_avtomaticheskogo_pozharotusheniya/.

5. Mellinger, D. Minimum Snap Trajectory Generation and Control for Quadrotors / D. Mellinger, V. Kumar // Proc. of the IEEE Intern. Conference on Robotics and Automation. Shanghai, China, May 9-13, 2011. – P. 2520–2525.

6. Hoffmann, G. M. Quadrotor helicopter flight dynamics and control: Theory and experiment / G. M. Hoffmann, H. Huang, S. L. Wasland, C. J. Tomlin // Proc. of the AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference. Hilton Head, South Carolina, 2007.

7. Cutler, M. Comparison of Fixed and Variable Pitch Actuators for Agile Quadrotors / M. Cutler, N. K. Ure, B. Michini, J. P. How // Proc. of the AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference. Portland, OR, August, 2011.

8. Fly-n-Sense Security solutions. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fly-n-sense.com/uav-solutions/security-public-safety-private-security/>.

9. Беспилотный самолет ZALA 421-08M [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zala.aero/zala-421-08/>.

10. Беспилотный летательный аппарат ZALA 421-21 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zala.aero/zala-421-21/>.
11. Bristeau P.-J. The Navigation and Control Technology Inside the AR.Drone Micro UAV / P.-J. Bristeau, F. Callou, D. Vissiere, N. Petit // 18th IFAC World Congress. Milano, Italy, 2011. – P. 1477–1484.
12. Parrot Ar.Drone 2.0. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ardrone2.parrot.com/>
13. Fast Lad. RC Off-load Hook. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.fast-lad.co.uk/store/products_off-load_hook_90790012-p-29526.html.
14. Copter Time. Аксессуары для квадрокоптеров. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://coptertime.ru/copters/multy-access/universalnyy-sbros-gruza-4-6kg/>.
15. Infinity Hobby. RC Off-load Hook and Servo Combo. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.infinity-hobby.com/main/product_info.php?products_id=10535.
16. Альтаир01. Пожарное оборудование, средства индивидуальной защиты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.altair01.ru/shop/UID_290.html.
17. Пожарный профи сервис. Пожарная граната FFT. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.pozh-profi.ru/e-store/obyemnogo_tusheniya/31280/.
18. Время электроники. Технология беспроводной зарядки: принцип действия, стандарты, производители. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/doc/70732/>.
19. Quistore. Беспроводные зарядные устройства. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://qistore.ru/mc-02a-wp>.
20. Сайфеддин, Д. Мехатронная система управления полетом квадрокоптера и планирование траектории методами оптической одометрии : дис. ... канд. техн. наук. / Сайфеддин Д. – Новочеркасск, 2014. – 186 с.
21. Яценков, В. С. Твой первый квадрокоптер: теория и практика / В. С. Яценков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2016. – 256 с.
22. Node.js. Open-source сайт. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nodejs.ru/>.
23. Членов, А. Н. Новые методы и технические средства обнаружения пожара / А. Н. Членов, В. И. Фомин, Т. А. Буцынская, Ф. В. Демехин. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2007. – 175 с.
24. Федоров, А. В. Системы и технические средства раннего обнаружения пожара / А. В. Федоров, А. Н. Членов, А. А. Лукьяненко. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. – 158 с.
25. Privalov G., Privalov D. Early fire detection method and apparatus. United States Patent № 6184792, Feb. 6, 2001.

Шадрин В.А., магистрант кафедры методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологический институт ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (БТИ АлтГТУ), тел.: (3854) 432450, e-mail: slava_368@mail.ru.

Лисаков С.А., инженер кафедры методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологический институт ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (БТИ АлтГТУ), тел.: (3854) 432450, e-mail: foxlsa@mail.ru.

Павлов А.Н., к.т.н., доцент кафедры методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологический институт ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (БТИ АлтГТУ), тел.: (3854) 432450, e-mail: pan@bti.secna.ru.

Сыпин Е.В., к.т.н., доцент, профессор кафедры методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологический институт ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (БТИ АлтГТУ), тел.: (3854) 432450, e-mail: sev@bti.secna.ru.