

Система спасения утопающих с помощью беспилотного летательного аппарата

Н.А. Мостаков¹, Н.В. Голобурдин¹, Р.О. Анисимов¹, В.С. Бакаев¹, К.А. Кулагин¹

¹ ФГБУН Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, ул. Профсоюзная 65, Москва, 109240, Россия

Аннотация

Целью доклада является описание системы спасения утопающих с помощью спасательного БПЛА и системы мониторинга. Система состоит из набора камер, ПК, спасательного БПЛА с плавсредством оператора. В докладе приведено описание: проблемы, архитектура разработанной системы спасения, параметров камеры и технических характеристик спасательного БПЛА. С помощью элементов искусственного интеллекта и/или оператором определяется: проблемный случай, происходит автоматическое вычисление положения искомого объекта (на основе анализа цифровых изображений с видеопотока камеры). Для определения точного положения камеры были разработаны калибровочные тесты двух типов: первичная и периодическая калибровка. После вычисления положения искомого объекта относительно камеры происходит перевод локальных координат в абсолютные координаты системы WGS-84. Исходя из полученных координат формируется полетное задание для спасательного БПЛА. Спасательный БПЛА с прикрепленным плавсредством вылетает в целевую точку, осуществляя доставку спасательного средства и зависает над искомым объектом для обозначения места происшествия спасательной бригаде. Система спасения успешно прошла тестовые испытания в прибрежном городе Анапа и активно используется на данный момент. В докладе приведены дальнейшие планы по развитию системы спасения.

Ключевые слова

Поиск объекта, вычисление координат, системы спасения, робототехника.

Drowning Rescue System with an Unmanned Aerial Vehicle

N.A. Mostakov¹, N.V. Goloburdin¹, R.O. Anisimov¹, V.S. Bakaev¹, K.A. Kulagin¹

¹ V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Profsoyuznaya, 65, Moscow, 109240, Russia

Abstract

The purpose of this report is to describe a drowning rescue system by means of a rescue UAV and monitoring system. Comprises: camera kit, PC, rescue UAV, operator. The report provides a description of the problem, the parameters of the camera and the rescue UAV. With the help of AI (Artificial Intelligence) elements and/or the operator the following is determined: the problem case, the position of the searched object is automatically calculated (by highlighting the searched object in the video stream from the camera; calibration tests have been developed to determine the exact position of the camera). Two types of calibration tests were developed to determine the exact position of the camera: primary and periodic calibration. Rescue UAV with the watercraft attached flies to the target location, delivering the rescue equipment. The rescue system has been successfully tested and has been actively exploited. After calculating the position of the desired object relative

ГрафиКон 2022: 32-я Международная конференция по компьютерной графике и машинному зрению, 19-22 сентября 2022 г., Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина, Рязань, Россия
EMAIL: nikrus333@gmail.com (Н.А. Мостаков); nickolaygoloburdin@mail.ru (Н.В. Голобурдин); rodion_anisimov@mail.ru (Р.О. Анисимов); bakaevv@gmail.com (В.С. Бакаев); kka86@bk.ru (К.А. Кулагин)
ORCID: 0000-0002-3746-3493 (Н.А. Мостаков); 0000-0002-2770-7650 (В.С. Бакаев); 0000-0003-0464-6186 (Н.В. Голобурдин); 0000-0002-9601-2086 (К.А. Кулагин)



© 2022 Copyright for this paper by its authors.

Use permitted under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

to the camera, the local coordinates are translated into the absolute coordinates of the WGS-84. Based on the obtained coordinates, a flight task for a rescue UAV is formed. A rescue UAV with an attached watercraft flies to the target point, delivering a rescue vehicle and hovers over the desired object to indicate the scene of the accident to the rescue team. The rescue system has successfully passed the test tests in the coastal city of Anapa and is actively used at the moment. The report provides further plans for the development of the rescue system.

Keywords

Object retrieval, coordinate determination, rescue systems, robotics.

1. Введение

Ежегодно в мире от утопления гибнет более 300 тыс. человек [1, 2]. Самое большое число утонувших людей наблюдается в странах Африки. Здесь гибнет в 10–15 раз больше людей, чем в Германии или Ирландии.

За год в России погибает по причине утопления порядка 6 тыс. человек [3]. Около 5 процентов утонувших приходится на курортный город Анапа. Хотя на городском пляже и дежурит спасательная бригада, к сожалению, скорость прибытия спасательного катера к утопающему слишком мала и даже незначительная волна затрудняет поиск пострадавшего на воде.

Проблему скорости оказания первой помощи утопающему решает спасательный БПЛА, который сбрасывает спасательное плавсредство и обозначает нахождение объекта на воде спасателям. Сбрасываемое плавсредство помогает утопающему продержаться на плаву до прибытия катера, не теряя силы в борьбе с течением или волнами.

В настоящее время по всему миру разрабатывается несколько спасательных систем с использованием БПЛА. В докладе [4] продемонстрирован процесс разработки спасательного БПЛА. Доклад полностью и подробно описывает процесс создания спасательного БПЛА, но не затрагивает видеомониторинг и управление БПЛА, что подразумевает постоянное присутствие человека-оператора. В материалах [5] управление БПЛА осуществляется оператором, что добавляет в систему человеческую ошибку и обязывает добавлять в штат спасательной бригады оператора. В источниках [6] спасательный БПЛА имеет слишком большой вес, что влечет угрозу при его падении на отдыхающих людей. Решения [7] и [8] используют специальные браслеты, которые выдаются отдыхающим и по нажатию на браслет к отдыхающему вылетает спасательный БПЛА. Данное решение совершенно не подходит для открытых городских пляжей из-за невозможности обеспечить браслетом каждого отдыхающего.

Другие решения [9, 10] опираются на использование различных методов детектирования плавающих людей, что позволяет быстрее обнаруживать тонущего человека и принимать ключевые решения по спасению. Хотя такие решения и позволяют увеличить скорость определения факта утопления и места утопления, они совершенно не затрагивают процесс спасения.

Далее рассмотрим: описание задач и целей системы спасения, описание архитектуры системы, принцип работы основных модулей, процесс разработки системы, выводы по проделанной работе и направления дальнейшего развития проекта.

2. Формулировка проблемы

Описанные выше проекты не способны полностью решить проблему спасения утопающих. Данный доклад призван наиболее эффективно объединить уже готовые решения и проверить полученную систему на практике. В статье [11] был проведен первичный анализ решения проблемы спасения утопающих.

Разработанная система лишена недостатков работ, рассмотренных ранее. Вычисление целевой точки объекта на видеоизображении и передача координат выделенного объекта на спасательный БПЛА решает проблему присутствия подготовленного оператора, ведь эту задачу может выполнять обычный спасатель. Также система мониторинга позволяет избавить спасателя от монотонной работы по наблюдению за акваторией.

Облегченный корпус БПЛА уменьшает риск нанесения травмы отдыхающим при падении спасательного БПЛА. Запатентованная система сброса спасательного плавсредства позволяет доставить к утопающему необходимое оборудование, не опасаясь сильных порывов ветра.

3. Архитектура системы

В качестве системы для спасения был создан программно-аппаратный комплекс средств, позволяющий оперативно отслеживать и реагировать на утопающих людей в воде. Аппаратный комплекс средств состоит из нескольких устройств (рисунок 1).

1. Персональный компьютер (ПК) - основная подсистема комплекса. На персональном компьютере установлен специализированный софт по обработке видеопотока и передачи команд спасательному БПЛА.
2. Набор камер и датчиков - система, ведущая постоянную съемку прибрежных вод и отправляющая изображение на ПК.
3. Спасательный БПЛА - БПЛА, который обменивается информацией с ПК. При получении команды спасения доставляет индивидуальное спасательное средство к пострадавшему.

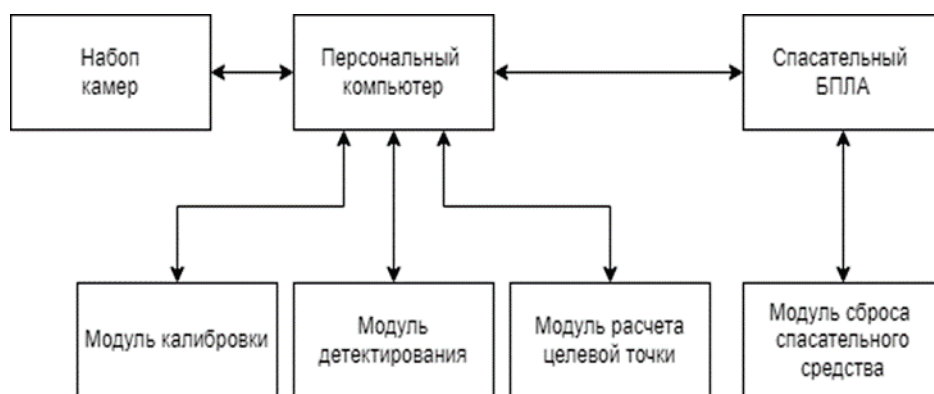


Рисунок 1 - Архитектура системы спасения

Алгоритм работы системы.

1. БПЛА находится в режиме готовности, с присоединенным индивидуальным спасательным средством.
2. Оператор обеспечивает непрерывный контроль состояния БПЛА с помощью графического интерфейса.
3. Оператор в процессе просмотра камер обнаруживает утопающего и выделяет его на изображении.
4. Вычисляются координаты утопающего.
5. На основе координат места обнаруженного происшествия формируется полетное задание для БПЛА.
6. Полетное задание загружается в автопилот БПЛА.
7. Оператор подтверждает запуск БПЛА и устройство выполняет спасательную операцию.

Система формирует для БПЛА полетное задание, которое состоит из нескольких этапов: взлет, полет в точку для спасения утопающего, снижение, сброс средства спасения, подъем, возврат в точку взлета, посадка. Если из-за волнения на море затруднено обнаружение утопающего со спасательного катера, спасательный БПЛА может зависнуть над утопающим по команде с ПК. На рисунке 2 фото спасательного БПЛА.

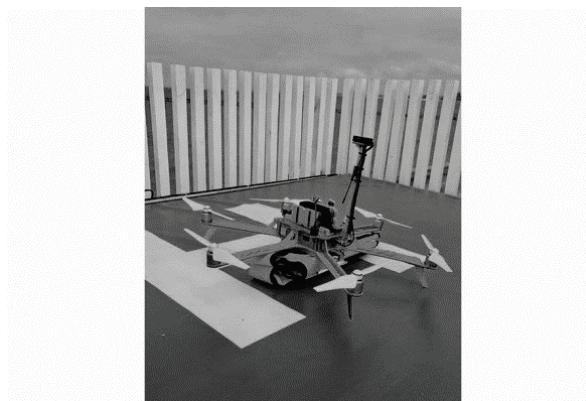


Рисунок 2 – Фото спасательного БПЛА с индивидуальным средством спасения

3.1. Модуль калибровки

При использовании камеры как устройства мониторинга необходимо точно вычислить географические координаты камеры, высоту камеры относительно уровня моря и ориентацию камеры относительно севера и горизонта. Точность этих параметров очень важна, при неточной настройке погрешность на расстоянии от 300 метров будет составлять более 5 метров, что не соответствует требованиям поставленной задачи.

Геодезические координаты камеры и высота камеры относительно уровня моря - статические параметры.

Ориентация камеры относительно севера и горизонта — изменяемые параметры.

Модуль калибровки содержит две части:

- Первичная калибровка при помощи шахматной доски.

Данная калибровка выполняется один раз для получения внутренних и внешних параметров камеры. Для выполнения калибровки необходимо сделать несколько фотографий шахматной доски под разными ракурсами.

- Калибровка положения и ориентации камеры, с помощью агисо-маркеров.

Опытным путем было выявлено, что вычисление ориентации камеры по видимым ориентирам (уровень горизонта и сторонний объект с известными координатами) дает большую погрешность в ориентации камеры.

Использование Агисо-маркеров решает проблему нахождения правильной ориентации камеры.

Алгоритм процесса калибровки камеры при помощи агисо-маркеров.

1. Расположить агисо-маркер перед камерой.
2. Ввести в программу координаты и ориентацию маркера.
3. Получить местоположение и ориентацию камеры относительно маркера.
4. Вычислить глобальное положение камеры.

3.2. Модуль детектирования

Детектирование цели в данный момент осуществляется спасателем. При наблюдении за акваторией и выявлении тонущего человека, спасатель нажимает на нужную точку на экране правой кнопкой мыши.

После калибровки камеры эффект рыбьего глаза нивелируется и становится возможно вычислить углы конкретного пикселя на видеопотоке по отношению к центру камеры.

Для вычисления углов требуется знать разрешение изображения и углы обзора камер. Применяя линейную интерполяцию можно вычислить углы вектора проходящего через центр камеры и пиксель относительно вектора проходящего через центральный пиксель камеры.

$$\begin{aligned}\alpha_x &= \frac{R_x}{L_x} N_x \\ \alpha_y &= \frac{R_y}{L_y} N_y,\end{aligned}\quad (1)$$

где α_x и α_y - угол по оси x и y,
 R_x и R_y - углы обзора камеры,
 L_x и L_y - разрешение изображения,
 N_x и N_y - номер пикселя относительно центра.

3.3. Модуль расчета целевой точки

При наведении оператором курсора на точку, в которую необходимо отправить дрон и нажатии кнопки “вычислить координаты”, программа запрашивает текущие параметры камеры, а именно ее ориентацию по горизонтали и вертикали.

Расстояние r от точки, являющейся проекцией точки камеры на землю, до целевой точки на море вычисляется с помощью формулы:

$$r = \tan(\alpha)h, \quad (2)$$

где α - угол наклона камеры по вертикали, h - высота камеры над уровнем моря

Следующим этапом является нахождение направления вектора от спасательного поста до целевой точки и проецирование расстояния r на долготу и широту. (рисунок 3).

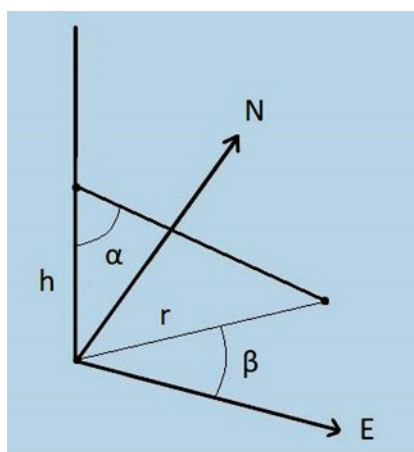


Рисунок 3 – Нахождение координат целевой точки

Далее необходимо произвести перевод координат из прямоугольной системы в геодезическую (WGS 84). Для перевода был использован метода Ньютона-Рафсона [12].

После перевода координат из прямоугольной системы в геодезическую необходимо прибавить эти координаты к базовым координатам поста спасателей и отправить координаты целевой точки на спасательный БПЛА.

4. Процесс разработки системы мониторинга и спасения

Процесс разработки системы мониторинга и спасения делится на три основные части:

- Установка и калибровка камеры
- Разработка спасательного БПЛА
- Разработка программного обеспечения

Полный процесс разработки представлен на рисунке 4.

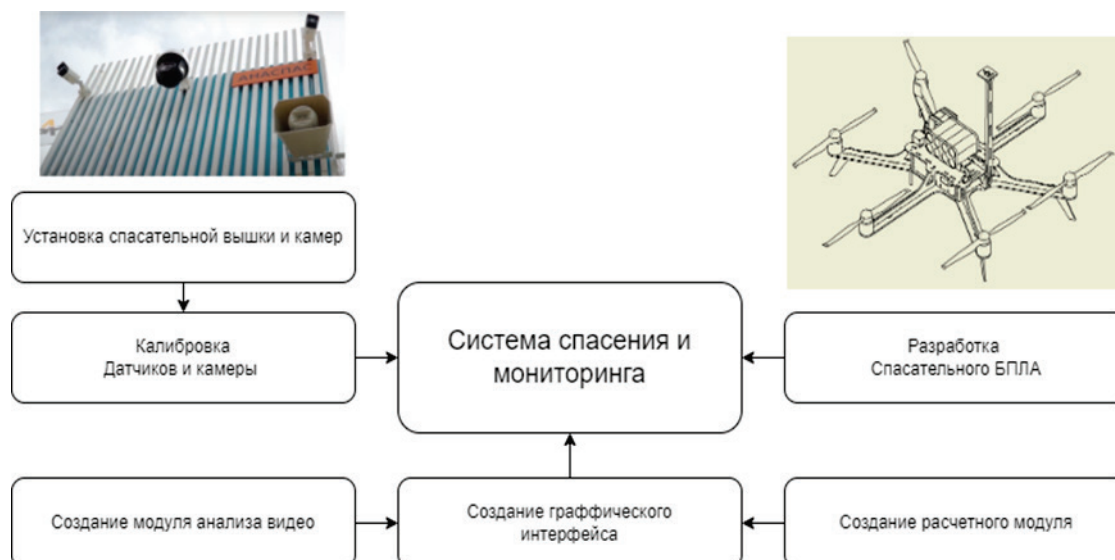


Рисунок 4 – Процесс разработки системы спасения и мониторинга

4.1. Установка камеры

Для решения данной задачи была использована подвижная камера высокого разрешения HIKVISION DS-2DF8836I5X-AELW.

Основные параметры камеры.

- Матрица - 2/3" Progressive Scan CMOS.
- Чувствительность - Цвет: 0.005лк@(F1.5, AGC вкл.).
- Фокусное расстояние - 7.5-270мм, 36х.
- Диафрагма - F1.5-F4.5.
- Протоколы - IPv4/IPv6, HTTP, HTTPS, 802.1x, Qos, FTP, SMTP, UPnP, SNMP, DNS, DDNS, NTP, RTSP.

Общение между ПК и камерой происходит по сетевому протоколу ONVIF2, данный протокол позволяет захватывать графическое изображение с камеры и считывать текущую ориентацию камеры.

4.2. Разработка спасательного БПЛА

Спасательный БПЛА использует 6-винтовую конфигурацию. На БПЛА установлены следующие компоненты:

- полетный контроллер Matek MATEKSYS F405-SE;
- контроллер скорости 40A/55A 2-6S;
- двигатели Phantom 4 2312S для DJI Phantom 4 PRO 4A;
- 2,4 ГГц 3dBi Wi-Fi антенна 2,4g;
- радиолинк TS100 M8N;
- мини-модуль GPS UBX-M8030.

Данная конфигурация спасательного БПЛА показала наилучшую устойчивость при сильных порывах ветра.

4.3. Разработка программного обеспечения

Для того чтобы система могла быть использована конечным пользователем было необходимо разработать простой и понятный графический интерфейс.

Интерфейс включает в себя:

- главное окно;

- окно интерактивной карты;
- окно калибровки и других параметров системы.

Большим преимуществом стала реализация графического интерфейса в веб-формате.

Это позволяет управлять системой спасения и мониторинга с любого устройства, подключенного к общей сети.

5. Заключение

Разработанная архитектура системы мониторинга и спасения демонстрирует свою полную работоспособность. Были проведены множественные тесты (более 100), выявленная погрешность составляет окрестность радиуса менее 3 метров на расстоянии 200 метров между камерой и целевой точкой. Итоговая погрешность состоит из суммы погрешностей: погрешность определения целевой точки, погрешность GPS спасательного БПЛА, смещение человека вследствие наличия течений. Сейчас система работоспособна на расстоянии до 300 метров и скорости ветра не более 12 метров в секунду. При увеличении расстояния или скорости ветра точность сброса не удовлетворительна и система рекомендует перевести БПЛА в ручной режим управления.

Для лучшего взаимодействия системы и спасателя, был разработан эргономичный графический интерфейс рисунок. 5.

Подтверждением корректной работы системы был спасенный человек на пляже российского города Анапы [13, 14].



Рисунок 5 – Графический интерфейс приложения

6. Будущие работы

В будущем планируется автоматизировать детектирование людей при анализа графических изображений с помощью ML решений. Внедрение нейросети архитектуры U-Net для автоматического детектирования плавающих людей и использование DeepFlux для распознавания движений человека похожих на действия утопающего.

Для уменьшения силы влияния погодных условий, таких как скорость ветра и высота волн, планируется установить дополнительное оборудование по измерению скорости и направления ветра. Данное оборудование поможет более точно рассчитывать конечную целевую точку при создании полетного задания для спасательного БПЛА.

Для того чтобы БПЛА мог работать на расстоянии более 300 метров, на него планируется установить одноплатный компьютер и камеру. Это поможет пересчитать конечную точку сброса при подлете к цели.

В дальнейшем планируется объединение всех спасательных вышек в одну сеть и отображение интересующих объектов на общей интерактивной карте.

7. СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] Global report on drowning: preventing a leading killer. David Meddings, Adnan A Hyder Joan Ozanne-Smith. Издательство: Всемирная организация здравоохранения.
- [2] Koon W, Peden A, Lawes JC, Brander RW (2021) Coastal drowning: A scoping review of burden, risk factors, and prevention strategies. PLoS ONE 16(2): e0246034. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246034>.
- [3] Евдокимов В.И., Алексанин С.С. Наукометрический анализ исследований по медицине катастроф (2005–2017 гг.) : монография / Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова МЧС России. СПб. Политехника-принт, 2018. 67 с.
- [4] K. Ajgaonkar, S. Khanolkar, J. Rodrigues, E. Shilker, P. Borkar and E. Braz, "Development of a Lifeguard assist Drone for coastal search and rescue," Global Oceans 2020: Singapore – U.S. Gulf Coast, 2020, pp. 1-10. doi: 10.1109/IEEECONF38699.2020.9389382.
- [5] Официальный сайт компании [Электронный ресурс] URL: <http://www.helper-drone.com/?lang=EN>.
- [6] Официальный сайт компании [Электронный ресурс] URL: <https://www.mirror.co.uk/travel/europe/drone-lifeguards-used-spanish-beaches-22214037>.
- [7] Официальный сайт компании [Электронный ресурс] URL: <https://www.dronebydrone.com/en/news/381/resq-rescue-and-lifeguard-system-on-beaches-through-drones.html>.
- [8] S. Nair, G. Rodrigues, C. Dsouza, S. Bellary and V. Gonsalves, "Designing Of Beach Rescue Drone Using GPS And Zigbee Technologies," 2019 International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES), 2019, pp. 1154-1158. doi: 10.1109/ICCES45898.2019.9002385.
- [9] R. Luna da Silva, S. Chevtchenko, A. Alves de Moura, F. Rolim Cordeiro and V. Macario, "Detecting People from Beach Images," 2017 IEEE 29th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI), 2017, pp. 636-643. doi: 10.1109/ICTAI.2017.00102.
- [10] S. Chevtchenko, R. Vale, F. Cordeiro and V. Macario, "Deep Learning for People Detection on Beach Images," 2018 7th Brazilian Conference on Intelligent Systems (BRACIS), 2018, pp. 218-223. doi: 10.1109/BRACIS.2018.00045.
- [11] Мостаков Н.А., Мигачев А.Н., Силантьева О.С. Оптимизация поиска цели в видеопотоке и передача координат в систему планирования полетных заданий БПЛА. XVII Всероссийской школы-конференции молодых ученых "УПРАВЛЕНИЕ БОЛЬШИМИ СИСТЕМАМИ". 6–9 сентября 2021 г., Москва - Звенигород.
- [12] B. R. Bowring (1976) TRANSFORMATION FROM SPATIAL TO GEOGRAPHICAL COORDINATES, Survey Review, 23:181, 323-327. DOI: 10.1179/sre.1976.23.181.323
- [13] Дрон спас тонущего человека в Анапе. Федеральное государственное унитарное предприятие «Информационное телеграфное агентство России (ИТАР-ТАСС)». Электронное издание. URL: <https://tass.ru/obschestvo/12082529>.
- [14] В Анапе дрон спас тонущего человека. Ежедневная общественно-политическая и деловая газета Известия . Электронное издание. URL: <https://iz.ru/1204267/video/v-anape-dron-spas-tonushchego-cheloveka>.