

Сугробов Михаил Алексеевич, аспирант 2-го курса кафедры Приборостроения, Саратовский Государственный Технический Университет имени Ю.А. Гагарина, г. Саратов

МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМ ОРИЕНТАЦИИ И НАВИГАЦИИ, ОСНОВАННЫХ НА КОМПЬЮТЕРНОМ ЗРЕНИИ

Аннотация. В статье предлагается методика проведения испытания системы ориентации и навигации беспилотных летательных аппаратов, основанной на технологии компьютерного зрения. Представлено описание навигационного контура, макет БЛА с установленной бортовой системой компьютерного зрения и испытательного стенда. В таблице приведены результаты проведенного эксперимента и установлена зависимость расстояния, на котором происходит распознавание препятствия, от формы самого препятствия и их количества.

Abstract. The article proposes a method for testing the orientation and navigation system of unmanned aerial vehicles based on computer vision technology. It presents a description of the navigation contour, a model of an UAV with an onboard computer vision system, and a test stand. The table shows the results of the experiment and establishes the dependence of the distance at which an obstacle is recognized on the shape of the obstacle and its number.

Ключевые слова: системы ориентации и навигации, беспилотные летательные аппараты, компьютерное зрение, методика испытаний, распознавание объектов.

Keywords: orientation and navigation systems, unmanned aerial vehicles, computer vision, testing methods, object recognition.

Современный этап развития беспилотных технологий характеризуется расширением областей их применения и, как следствие, повышением требований к бортовым системам автоматического управления. Диапазон форм-факторов беспилотных летательных аппаратов (БЛА) простирается от микро-коптеров до

тяжелых транспортных платформ. При этом для всех классов устройств критически важными становятся задачи надежного функционирования в динамически изменяющейся среде.

Повышение сложности задач, решаемых БЛА, влечет за собой ужесточение требований к бортовым системам ориентации и навигации. Ключевым направлением развития является использование методов компьютерного зрения, позволяющих аппарату адаптироваться к окружающей обстановке. Применение видеокамер в сочетании с алгоритмами обработки изображений дает возможность решать задачи обнаружения препятствий и коррекции маршрута в условиях неполноты или отсутствия GPS-сигнала.

В рамках решения обозначенного круга задач в настоящей работе ведется разработка специализированной бортовой системы обнаружения препятствий и коррекции курса для БЛА мультироторного типа. На текущем этапе создан действующий макет аппарата, включающий полетный контроллер, фронтальную камеру и вычислительный модуль на базе микроконтроллера ESP32, реализующий алгоритмы технического зрения.

Однако проведение натурных испытаний разрабатываемой системы на данном этапе является нецелесообразным по следующим причинам. Во-первых, экспериментальный макет предназначен для лабораторных условий и не обладает необходимой защитой и грузоподъемностью для реального полета. Во-вторых, и это главное, для объективной верификации алгоритмов компьютерного зрения критически важно обеспечить контролируемость и повторяемость внешних условий. При натурных испытаниях на результат влияет множество неконтролируемых факторов: изменение освещенности, порывы ветра, случайные объекты в кадре. Это не позволяет выделить вклад самого алгоритма в конечный результат и затрудняет отладку.

Таким образом, возникает необходимость в создании лабораторного стенда, который позволит изолировать исследуемую систему от внешних помех, обеспечить эталонные условия движения и с высокой точностью регистрировать реакцию

алгоритма на появление препятствий. **Целью данной работы** является разработка стенда, позволяющего в контролируемых условиях имитировать режимы полета БЛА и проводить верификацию алгоритмов обнаружения препятствий на ранних этапах отладки.

Конструкция и принцип работы испытательного стенда

Для решения поставленной задачи — верификации алгоритмов обнаружения препятствий в контролируемых условиях — был разработан специализированный лабораторный стенд. Основной принцип его работы заключается в линейном перемещении исследуемой бортовой системы относительно неподвижного тестового объекта с фиксацией момента детектирования. Такой подход позволяет исключить влияние внешних дестабилизирующих факторов (атмосферные явления, вибрации, неконтролируемое изменение фона) и обеспечить высокую повторяемость экспериментальных условий.

Состав и основные элементы стенда

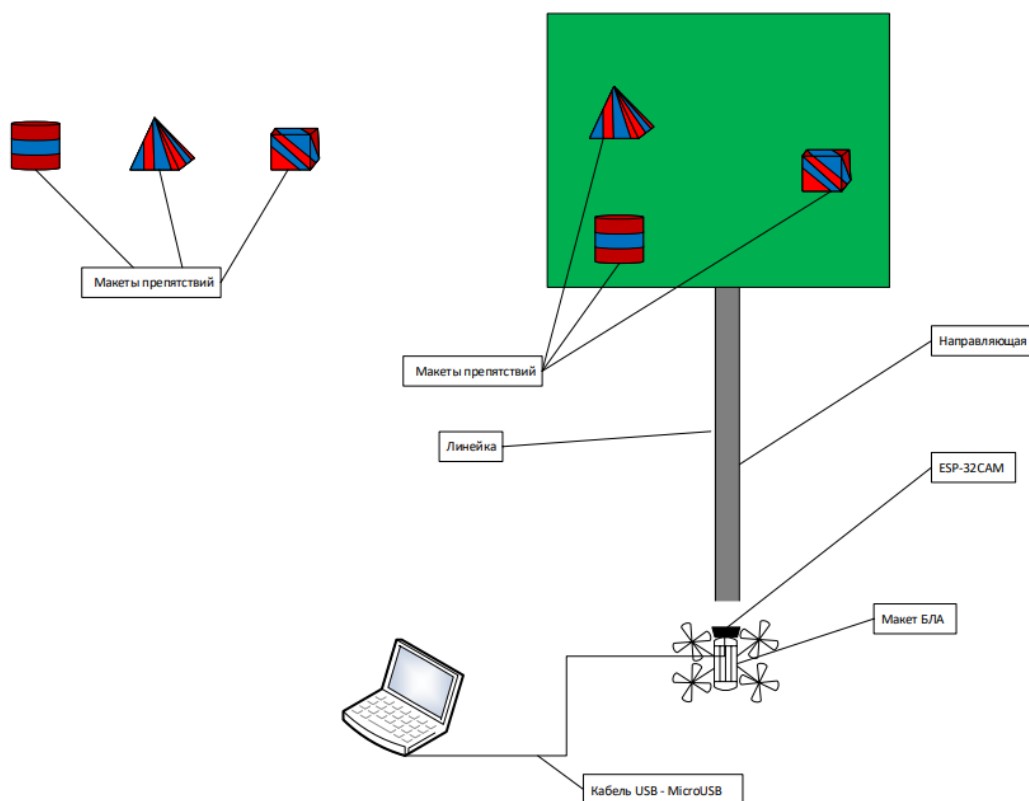


Рисунок 1 – схема испытательного стенда

Структурная схема стенда представлена на рисунке 1. В состав стенда входят следующие основные компоненты:

1. **Основание и линейная направляющая.** Несущая конструкция, выполненная из дерева, обеспечивает жесткость и геометрическую стабильность установки. По направляющей типа профильная рельса осуществляется перемещение подвижной каретки.
2. **Подвижная платформа.** Предназначена для размещения объекта испытаний — макета БЛА с бортовой системой технического зрения. Конструкция обеспечивает надежную фиксацию макета и его ориентацию строго вдоль оси движения. Перемещение каретки осуществляется вручную.
3. **Объект испытаний.** В качестве объекта выступает макет БЛА, представляющий собой микроконтроллер ESP-32 модификации ESP-32CAM с фронтальной камерой OV2640. Для целей данной работы важной особенностью является наличие диагностического выхода, сигнализирующего о моменте обнаружения препятствия посредством информационного сообщения в приложении программной среды.
4. **Блок тестовых объектов.** На фиксированном расстоянии от начала направляющей располагается подставка для размещения сменных тестовых объектов. В качестве объектов используются модели препятствий простой геометрической формы (параллелепипед, цилиндр, куб), изготовленные из картона и окрашенные в красно-синий цвет. Это позволяет исследовать зависимость эффективности обнаружения от формы, размера и расположения препятствия в поле зрения камеры.
5. **Измерительная система.** Для регистрации момента срабатывания алгоритма используется фиксацией момента появления сообщения об обнаружении препятствия. Измерение расстояния от камеры до тестового объекта в момент срабатывания производится по линейке, закреплённой на направляющей.

Принцип функционирования

Эксперимент проводится следующим образом. Тестовый объект устанавливается на заданную позицию. Подвижная платформа с макетом БЛА выводится в начальное положение (максимальное удаление от объекта). Включается питание макета, активируется алгоритм обнаружения. Оператор плавно перемещает платформу по направлению к объекту. В момент, когда алгоритм детектирует объект, в приложении программной среды появляется информационное сообщения об обнаружении препятствия. Движение платформы немедленно прекращается, и производится измерение расстояния между передней точкой камеры и объектом. Для каждой конфигурации тестового объекта проводится серия из 10 экспериментов для накопления статистики. Тестируемые конфигурации представляют собой как отдельно выставленные препятствия, так и их различные комбинации.

Результат эксперимента

При проведении эксперимента были получены следующие значения расстояния до объекта, при которых происходило распознавание препятствий макетом. Все значения расстояния приведены в сантиметрах. Для наглядности результаты представлены в виде таблицы 1.

Таблица 1

№	Параллелепипед	Цилиндр	Куб	Параллелепипед +цилиндр	Параллелепипед+куб	Цилиндр + куб	Параллелепипед +цилиндр+куб
1	78,4	75,6	65,8	55,4	54,4	58,1	37,9
2	83,1	77,2	66,2	43,9	53,8	60,1	35,8
3	76,6	71,8	69,4	49,2	52,9	57,2	29,3
4	80,7	76,7	68,3	50,1	54,7	61,4	34,0
5	81,1	77,0	70,1	47,4	55,2	59,3	16,3
6	84,0	74,2	67,0	46,1	52,0	57,5	--- ¹
7	72,9	69,5	68,7	48,1	53,7	58,6	25,4
8	79,3	73,2	69,3	52,3	53,1	60,4	26,7
9	79,9	72,4	69,0	48,7	49,4	60,2	30,2
10	83,3	70,6	70,4	51,3	52,1	59,6	---

¹Здесь и далее символом «---» обозначается проведение эксперимента, при котором макет не смог достоверно распознать все заданные препятствия.

Заключение

В ходе работы была разработана методика проведения испытаний алгоритма ориентации БЛА на основе компьютерного зрения, разработан и сконструирован испытательный стенд. В результате проведения эксперимента установлена способность макета распознавать заранее известные препятствия в неизвестном расположении поля зрения камеры. Установлено также, что при помещении нескольких препятствий время на распознавание увеличивается, следовательно, значительно уменьшается оставшееся до препятствия расстояние. Наиболее вероятная причина возникновения данного явления – нехватка вычислительных ресурсов для более точного распознавания признаков и граней известных объектов. Приняты решения по модернизации макета путем изменения модели поведения при обнаружении препятствия на критически малых расстояниях (меньше 0,5 м). Дальнейшие исследования будут направлены на исключение недостатков, выявленных в испытаниях, а также на увеличение расстояния, на котором макет может эффективно распознавать известные препятствия, и время быстрогодействия системы.

Литература

1. Компьютерные технологии в приборостроении / Сарафанов А.В., Захарьин К.Н., Трегулов С.И., Егоров Н.М., Долгих Э.А., Кофанов Ю.Н., Комаров В.А., Трухин А.А. 2008, 970 с.
2. Пономарев А.В. Применение компьютерных технологий в приборостроении на примере разработки генератора прямоугольных импульсов // Омский научный вестник. 2020. №2 (170). С 71-75.
3. Zhou L., Zhang L., Konz N. Computer vision technology in manufacturing // IEEE Transactions and Systems, Man, and Cybernetics: Systems – 2022 – Т. 53 – №1 – С. 1-19
4. Wang T., et al Integration A new perspective for computational social systems: Fuzzy modeling and reasoning for social computing in CPSS // IEEE Transactions and Systems, Man, and Cybernetics: Systems – 2022 – Т. 11 – №1 – С. 101-116
5. Prasad R. et al. Integration of Computer Vision Systems in Robotics and Industry 4.0 // 2024 International Conference on IoT, Communication and Automation Technology (ICICAT) – IEEE 2024 – С. 1492-1497

Literature

1. Computer technology in device engineering / Sarafanov A.V., Zakharyin K.N., Tregubov S.I., Egorov N.M., Dolgikh E.A., Kofanov Y.N., Komarov V.A., Trukhin A.A. 2008, 970 p.
2. Ponomarev A.V. Application of computer technologies in instrumentation using the example of developing a square wave generator // Omsk Scientific Bulletin. 2020. №2 (170). p 71-75.
3. Zhou L., Zhang L., Konz N. Computer vision technology in manufacturing // IEEE Transactions and Systems, Man, and Cybernetics: Systems – 2022 – Т. 53 – №1 – С. 1-19
4. Wang T., et al Integration A new perspective for computational social systems: Fuzzy modeling and reasoning for social computing in CPSS // IEEE Transactions and Systems, Man, and Cybernetics: Systems – 2022 – Т. 11 – №1 – С. 101-116

5. Prasad R. et al. Integration of Computer Vision Systems in Robotics and Industry 4.0 // 2024 International Conference on IoT, Communication and Automation Technology (ICICAT) – IEEE 2024 – C. 1492-1497