

УДК 681.515

Киреев И.Ю., кандидат технических наук, доцент, Луганский Государственный университет имени Владимира Даля igkireev@gmail.com.

Рубаник И.А., ассистент, Луганский Государственный университет имени Владимира Даля rubanik1369@gmail.com.

Глухова Т.Л., ассистент, Луганский Государственный университет имени Владимира Даля gluhovat@list.ru

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЙ ЧАСТИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СРЕДСТВ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ И НАЗЕМНЫХ АВТОНОМНЫХ РОБОТОВ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ОСВЕЩЕННОСТИ

Аннотация: В статье представлена разработка программно-аппаратной части для исследования средств технического зрения и наземных автономных роботов в различных условиях освещенности построенной с использованием модели мобильного робота производства ООО Applied Robotics из робототехнического комплекта «КПМИС «Смарт системы»» и камеры TrackingCam v3. Для осуществления экспериментальных исследований влияния освещенности на характеристики НАР было предложено использовать метод натурных испытаний для чего было разработано программное обеспечение НАР с использованием СТЗ построенной на основе камеры TrackingCam v3, проведены испытания с использованием комплекта полей для соревнований по техническому зрению и робототехнике, выявлены недостатки и разработаны пути их преодоления. По результатам работы были предложены дальнейшие действия по увлечению эффективности использования НАР.

Ключевые слова: Наземный автономный робот (НАР), система технического зрения (СТЗ), программируемый контроллер.

В соответствии с ГОСТ Р 22.0.05-94 “Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Общие требования”, приоритетом является сохранение жизни и здоровья людей, включая спасателей при проведении мероприятий связанных с ликвидацией чрезвычайных ситуаций, также ГОСТ Р 22.3.03-94 “Защита населения. Основные положения” подчеркивает необходимость обеспечения эффективного реагирования на ЧС любого масштаба, что требует использования современных технологий, к которым относятся использование наземных автономных роботов (НАР) [1, 2].

В свою очередь в обеспечении автономности НАР ключевую и незаменимую роль играют средства технического зрения (СТЗ). Фактически, без развитой системы технического зрения полноценная автономность НАР невозможна. СТЗ позволяют роботу “видеть” и понимать окружающий мир, что необходимо для решения широкого спектра задач, связанных с автономным движением, взаимодействием с объектами и принятием решений.

Вклад СТЗ в обеспечение автономности и функциональности НАР можно разделить на следующие части:

1. Восприятие окружающей среды (Environment Perception):
 - Обнаружение и классификация объектов [3];
 - Построение карт местности (Mapping) и локализация;
2. Навигация и управление движением (Navigation and Motion Control):
 - Автоматическое движение по маршруту (Path Following) [4];
 - Автономное избегание препятствий (Obstacle Avoidance);
 - Визуальная навигация (Visual Navigation).
3. Взаимодействие с объектами (Object Interaction):
 - Обнаружение и распознавание объектов для манипуляций;
 - Визуальное управление манипулятором;
4. Принятие решений (Decision Making):
 - Анализ визуальной информации для оценки ситуации.

Типичные компоненты системы технического зрения НАР включают в себя камеры, датчики глубины, вычислительные блоки, программное обеспечение.

Учитывая вышесказанное можно заключить что от того на сколько СТЗ подвержены влиянию окружающих условий в значительной степени зависит эффективность использования НАР.

Таким образом цель данной статьи представить разработку программно-аппаратной части для исследования использования СТЗ и НАР, построенных с использованием модели мобильного робота производства ООО Applied Robotics

из робототехнического комплекта «КПМИС «Смарт системы»» и камеры TrackingCam v3. в различных условиях освещенности.

Прежде всего рассмотрим характеристики модуля TrackingCam v3: и сравним их с используемыми для подобных целей СТЗ.

Модуль технического зрения TrackingCam v3 представляет собой единое устройство, состоящее из системы на плате (вычислительного модуля, состоящего из микропроцессора, блока оперативной и энергонезависимой памяти), интегрированной с светочувствительной матрицей и объективом. Внешний вид модуля представлен на рис1.



Рис.1 Внешний вид модуля TrackingCam v3.

Названия и характеристики основных СТЗ среднего класса используемых в НАР приведены в таблице 1. В таблице 2 приведен расширенный список характеристик СТЗ на базе TrackingCam v3.

Таблица 1 - СТЗ используемые в НАР

Характеристика	Pixy Cam 2	OpenMV Cam M7/H7	OpenCV + USB-камера/Raspberry Pi Camera	Промышленные камеры трекингом
Основные функции	Распознавание цвета, объектов, линий, штрихкодов	Распознавание объектов, лиц, трекинг, ML	Гибкость в реализации любых алгоритмов	Высокоточный трекинг, промышленные задачи
Процессор	Специализированный процессор	ARM Cortex-M7	Зависит от используемого компьютера/платы	Зависит от модели

Интерфейсы	UART, I2C, SPI, USB	USB, UART, SPI, I2C, Ethernet (не все модели)	USB, GPIO (Raspberry Pi)	Зависит от модели
Разрешение камеры	Невысокое (например, 640x400)	Достаточно высокое (например, 640x480 и выше)	Зависит от используемой камеры	Зависит от модели
Скорость обработки	Высокая (аппаратная обработка)	Зависит от сложности алгоритма	Зависит от мощности компьютера	Высокая
Простота использования	Очень простая интеграция с робототехническими платформами	Требуется программирование на Python/C++	Требуется программирование на Python/C++	Зависит от модели
Примерная стоимость	От 50\$ до 100\$	От 60\$ до 200\$	От 20\$ (USB-камера) + плата (например, 35\$ за Raspberry Pi)	От нескольких сотен до тысяч долларов

Таблица 2 - Характеристики модуля TrackingCam v3.

Страна-изготовитель	Россия
Матрица	Omni Vision 7725, 1/4"
Разрешение матрицы	640x480 пикселей
Кадровая частота	До 30 кадров в секунду
Процессор	STM32f407 - ARM Cortex M4 168 МГц
Объем ОЗУ	168 Кбайт
Объем флеш-памяти	512 Кбайт
Тип оптики	Стандартная на держатель M12
Углы обзора объективов по горизонтали	От 45 до 75 градусов (в зависимости от используемого объектива)
Углы обзора объективов по вертикали	До 47 градусов (в зависимости от используемого объектива)
Потребляемая мощность	1 Вт
Напряжение питания	5-12 В
Поддержка интерфейсов	I2C, UART, SPI, Dynamixel, USB
Разъемы	IDC 10 выводов
Поддерживаемые уровни напряжения портов ввода-вывода	3.3В, 5В
Глубина цвета	8bit
Количество одновременно распознаваемых одинаковых цветовых областей	До 255
Количество запоминаемых образов	До 10 цветных областей и до 5 составных объектов

Количество цветных областей в составном объекте	От 1-ой до 3 -х
Признаки распознаваний цветных областей	Яркость, цвет, площадь, округлость, выпуклость, инерция
Признаки составных объектов	Положение и тип основной цветной области, взаимное положение и ориентация цветных областей
Поддержка синхронизации нескольких телекамер между собой	Присутствует, аппаратная с точностью ± 1 мс
Максимальное качество видеопотока на ПК	Разрешение 640x480 пикселей при частоте до 30 кадров в секунду
Поддерживаемые ОС	Windows, Linux
Габариты (ШxВxГ)	38 мм x 38 мм x 32 мм

Проведя сравнительный анализ основных параметров элементов СТЗ используемых в НАР и TrackingCam v3 можно сделать заключение об их идентичности, что позволит использовать результаты данного исследования в работе с другими подобными СТЗ.

Для осуществления экспериментальных исследований влияния освещенности на характеристики НАР было предложено использовать метод натурных испытаний с использованием модели мобильного робота производства ООО Applied Robotics из робототехнического комплекта «КПМИС «Смарт системы»» и комплекта полей для соревнований по техническому зрению и робототехнике.

В составе набора «КПМИС «Смарт системы»» входят следующие компоненты:

- Ультразвуковой датчик – 2шт.
- Инфракрасный датчик – 2шт.
- Двигатель постоянного тока – 2шт.
- Сервопривод большой (для схвата) – 2шт.
- Программируемый контроллер ESP-LITE-AR – 1шт.
- Камера TrackingCam v3 с предустановленным ПО – 1шт.

Робототехнический контроллер ESP-Lite-AR представляет собой аппаратную платформу, оснащенную в качестве вычислительного ядра микроконтроллером ESP32-WROVER, который обладает встроенными беспроводными интерфейсами

Wi-Fi и Bluetooth, что позволяет реализовывать управление по беспроводным каналам связи.

Модуль TrackingCam v3 поставляется с уже загруженным образом операционной системы, установленным программным обеспечением и готовым к работе который можно подключить к контроллеру управления ESP-LITE-AR как используя 3х- пиновый разъем 1-wire TTL обмена данными по протоколу Dinamixel так и с Wi-Fi подключением [5].

Программное обеспечение необходимое для проведения исследований делится на две части, а именно часть, загружаемая в модуль ESP-Lite-AR и ПО предустановленное в модуле TrackingCam v3.

Рассмотрим ПО предустановленное в модуле TrackingCam v3.

Доступ к интерфейсу ПО обеспечивается по ссылке: <http://trackingcam3.local> при подключённом к компьютеру кабеле USB. После подключения будет доступно 6 вкладок, а именно: Blob Detector, Aruco Marker, Calibration, Position, Line Detector, Circle Detector.

Нас будут интересовать вкладки Распознавание областей (Blob Detector), Калибровка модуля технического зрения (Calibration) и настройка модуля.

В части Blob Detector настройка модуля сводится к заданию цветовых и морфологических признаков распознаваемой цветной области. Зная цветовые признаки распознаваемой области можно легко выявить ее на исходном изображении, путем сравнения цветовых параметров каждого пикселя изображения с признаками распознаваемой области. Модуль TrackingCam v3 способен распознавать 5 комплексных объектов одновременно.

Калибровка обеспечивает получение двух видов параметров:

- Внутренних параметров камеры (фокусного расстояния, оптического центра, коэффициента радиального искажения объектива);
- Внешних параметров (параметров, связанных с ориентацией камеры относительно какой-то глобальной системы координат).

Вкладка настройка модуля отвечает за переключение режимов передачи данных на дополнительные платы, в нашем случае на ESP-Lite-AR подключение будет осуществляться по 1-wire TTL интерфейсу.

Далее рассмотрим ПО которое необходимо установить на модуль управления НАР.

Для работы с модулем технического зрения необходимо использовать библиотеку TrackingCamDxl которая загружается по ссылке http://appliedrobotics.ru/?page_id=633 и устанавливается в Arduino IDE.

После подключения к модулю управления НАР данная библиотека позволяет модулю TrackingCam v3 выводить в serial-порт следующие строки:

- Первый столбец отвечающий за номер блока от 0 до 4;
- Второй столбец отвечает за координату X блока;
- Третий столбец отвечает за координату Y блока;
- Четвертый столбец показывает площадь блока в пикселях.

Алгоритм управления НАР достаточно прост и состоит в следующем:

- Читается информация с TrackingCam v3;
- Идет обработка полученной информации и в зависимости от полученных данных, подаются команды на двигатели постоянного тока (команды генерируются, ориентируясь на следующий алгоритм: если блок находится по центру и его площадь меньше чем нужно, то НАР движется вперед. Если же блок находится правее или левее центра, то платформа начнет поворачиваться направо или налево соответственно).

Таким образом используя описанные выше устройства и алгоритмы было собрано НАР оснащенное СТЗ.

Проведены испытания используя комплект полей для соревнований по техническому зрению и робототехнике которые представляют собой полотна размером 2000*1500 белого цвета на которых нанесены траектории движения НАР трех цветов, черного, зеленого и красного и траектории, построенные из различных фигур.

По результатам испытаний установлено что для стабильной работы НАР устройство необходимо дооснастить дополнительным источником питания.

Также выяснилось, что штатное крепление СТЗ не обеспечивает устойчивое функционирование НАР.

Этот факт потребовал разработки дополнительного приспособления крепления TrackingCam v3 с возможностью изменения положения последней.

НАР с дополнительным приспособлением изображено на рис. 2.

Таким образом проделанная работа позволила подготовить программно-аппаратные части для исследования использования СТЗ и НАР, построенных с использованием модели мобильного робота производства ООО Applied Robotics из робототехнического комплекта «КПМИС «Смарт системы»» и камеры TrackingCam v3. в различных условиях освещенности.

Для дальнейших исследований необходимо дооснастить зону испытаний прибором для измерения освещенности, спланировать эксперимент и провести его.

Полученные данные позволят выработать рекомендации по увлечению эффективности использования НАР.

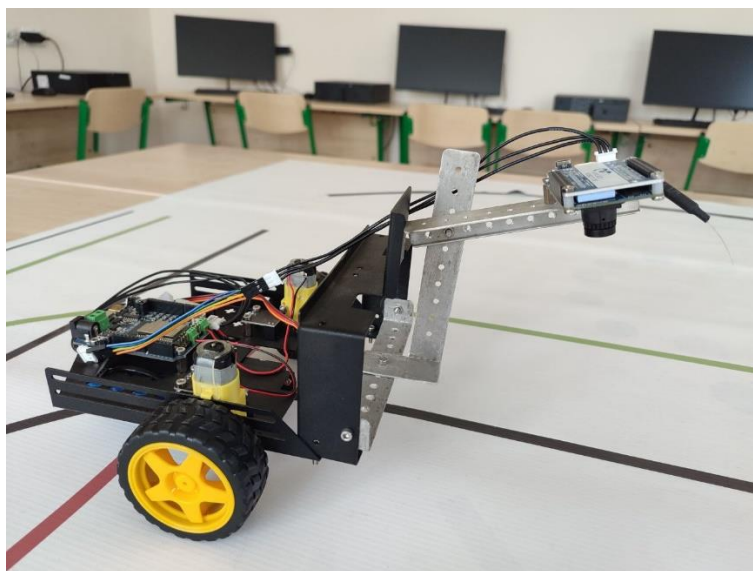


Рис. 2. НАР с дополнительным приспособлением крепления СТЗ.

Список использованных источников

1. ГОСТ Р 22.0.05-94 “Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Общие требования” Издание официальное Москва Российский институт

стандартизации, 117418 Москва, Нахимовский пр -т, д. 31. к. 2. www.gostinfo.ru
inf@gostforu, 2021 г.

2. ГОСТ Р 22.3.03-94 “Защита населения. Основные положения” Издание официальное Москва Российский институт стандартизации, 117418 Москва, Нахимовский пр -т, д. 31 .к .2 . www.gostinfo.ru inf@gostforu, 2021 г.

3. “Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks” (Ren, He, Girshick, Sun, 2015)]. –режим доступа URL: <https://arxiv.org/abs/1506.01497>. (дата обращения 10.3.2025)

4. “Model predictive control for autonomous systems” (Camacho & Alba, 2013)

5. Модуль технического зрения TrackingCam v3 [Электронный ресурс]. – режим доступа URL: <https://appliedrobotics.ru/> / (дата обращения 10.3.2025)

Kireev I.Yu., PhD in Engineering, Associate Professor, Vladimir Dahl Luhansk State University.

Rubanik I.A., Assistant, Vladimir Dahl Luhansk State University.

Glukhova T.L., Assistant, Vladimir Dahl Luhansk State University.

DEVELOPMENT OF SOFTWARE AND HARDWARE FOR THE RESEARCH OF MACHINE VISION MEANS AND GROUND AUTONOMOUS ROBOTS IN VARIOUS LIGHTING CONDITIONS

Abstract. The article presents the development of software and hardware for the study of technical vision tools and ground autonomous robots in various lighting conditions built using a model of a mobile robot manufactured by Applied Robotics LLC from the robotic kit "KPMIS "Smart Systems"" and the TrackingCam v3 camera. To carry out experimental studies of the effect of illumination on the characteristics of the NAR, it was proposed to use the method of full-scale tests, for which the NAR software was developed using the SVS built on the basis of the TrackingCam v3 camera, tests were carried out using a set of fields for competitions in technical vision and robotics, shortcomings were identified and ways to overcome them were developed. Based on the results of the work, further actions were proposed to increase the efficiency of using the NAR.

Keywords. Ground autonomous robot (GAR), machine vision system (MVS), programmable controller.