

Секция II. ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 681.5

РОБОТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА КОНТРОЛЯ ПОГРАНИЧНОЙ ТЕРРИТОРИИ

**Ю.Н. Матрунчик¹, В.В. Дубатовка²,
А.Е. Гарбар¹, И.Н. Дубинчук², В.А. Кардаш²**

¹Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

²УО «Национальный детский технопарк», Минск, Беларусь

В статье представлен мобильный роботизированный комплекс, разработанный с целью контроля пограничной территории. Комплекс оснащен системой распознавания и идентификации лиц и обладает возможностью уведомления органов пограничной службы о нарушении государственной границы.

Робототехнический комплекс (далее – РТК) для контроля пограничной территории представляет собой комплексное устройство, спроектированное для автономного или полуавтономного выполнения различных задач на мобильной платформе. РТК объединяет в себе механические, электронные и программные компоненты для реализации разнообразных функций.

Мобильная платформа РТК, обеспечивает передвижение по различным поверхностям. Мобильная платформа может быть колесной, на гусеницах, ногах или иметь другие средства передвижения в зависимости от конкретного применения.

РТК оснащается различными типами датчиков, такими как камеры, лидары (лазерные сканеры), ультразвуковые датчики, инфракрасные датчики, гироскопы и акселерометры, глобальные навигационные спутниковые системы (GNSS). Датчики играют ключевую роль в обеспечении способности робота воспринимать окружающую среду, принимать решения и выполнять задачи. Эти данные необходимы для принятия решений и планирования действий.

При проектировании РТК в качестве существующих аналогов рассматривались следующие системы и комплексы: автоматизированная система пограничного контроля от компании X Infotech, робот-пограничник компании Samsung и российский морской робот-пограничник.

Для управления РТК было принято решение использовать двухуровневую систему управления. Контроллер верхнего уровня отвечает за:

- связь с внешними устройствами;
- расчёт траектории движения;
- математические операции;
- компьютерное зрение.

Контроллер нижнего уровня отвечает за низкоуровневое управления движением (расчёт мощности моторов, обратная связь и т.д.). При этом оба устройства постоянно

общаются друг с другом и отправляют команды управления или статус устройств. Такая система позволяет распределить задачи между устройствами и повысить общую производительность.

Контроллером верхнего уровня был выбран высокопроизводительный одноплатный компьютер – Raspberry Pi 4 Model B 8GB. На него возложена функция работы операционной системы (ОС), работа с траекторией движения, локальная обработка информации с камеры. В качестве контроллера нижнего уровня был выбран микроконтроллер семейства AVR ATmega328P на базе платформы Arduino UNO.

Структурная схема устройства РТК представлена на рисунке 1.

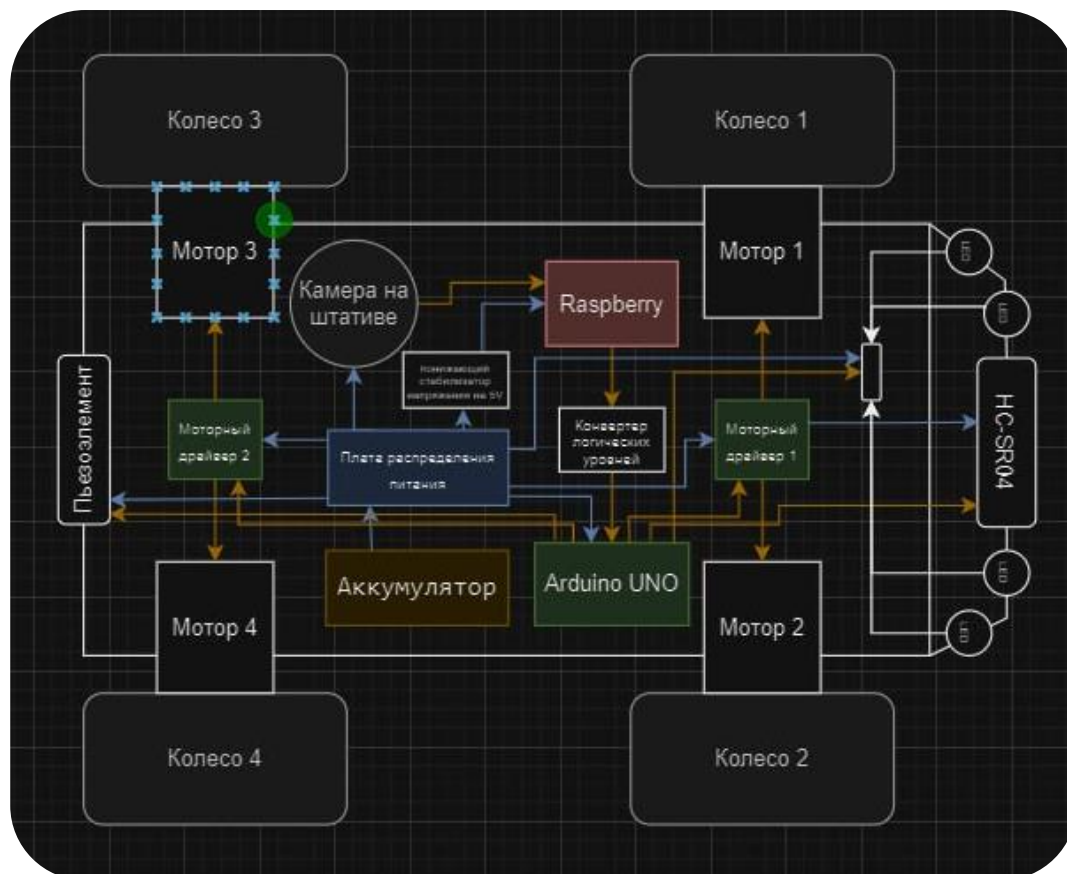


Рисунок 1. – Структурная схема РТК пограничного контроля

Конструкция мобильной части РТК представляет собой четырехколесную платформу. Платформа состоит из 3 ярусов, которые разграничиваются пластинами из оргстекла. Между пластинами располагается пластиковый корпус, служащий для изоляции электроники от внешней среды и увеличения прочности. На первом ярусе располагается аккумуляторный блок, драйверы моторов, плата распределения питания, пьезоэлемент, ультразвуковой датчик расстояния и осветительные светодиоды. На втором – платы микроконтроллеров Arduino Uno, Raspberry Pi4 и понижающий стабилизатор напряжения на +5В для питания Raspberry. На третьем ярусе располагается манипулятор. 3D-модель платформы разрабатывалась в САПР Компас 3D.

Для программирования микроконтроллера нижнего уровня был выбран язык Си. Для написания кода контроллера верхнего уровня использовалась среда разработки

Thonny, предустановленная в Raspberry Pi OS из-за наличия мощных инструментов редактирования и широкого набора инструментов отладки.

Для патрулирования территории с целью обнаружения нарушителей РТК был оснащен камерой и нейронной сетью для распознавания попавших в поле зрения людей, управляемой через Raspberry Pi 4B.

Изображение можно рассматривать как двумерную функцию $f(x; y)$. В качестве инструмента для работы с компьютерным зрением использовалась библиотека OpenCV.

Каждое изображение состоит из набора пикселей. Пиксель – это строительный блок изображения. Если представить изображение в виде сетки, то каждый квадрат в сетке содержит один пиксель, где точке с координатой (0,0) соответствует верхний левый угол изображения.

Используемая модель распознавания лиц и объектов – гистограмма направленных градиентов. Его суть заключается в разделении изображения на пиксели и определения всех градиентов на изображении и их направления. Нейросеть не руководствуется цветами в опознании изображений, поэтому для начала программа преобразовывает изображение в формат RGB, а затем делает его черно-белым. Затем, программа анализирует каждый пиксель, для того чтобы распознать, в каких местах происходит затемнение изображения, т.е. программа вычисляет градиенты и их направления. Такой метод помогает распознавать лица даже при плохом освещении, ведь если рассматривать каждый пиксель по отдельности, затемненная и слишком светлая фотографии одного и того же человека будут иметь совершенно разные значения.

Алгоритм анализа изображения:

- Программа переводит изображение в ч/б;
- Гистограмма направленных градиентов разбивает изображение на ячейки, подсчитывает градиенты в каждой ячейке, а затем строит гистограмму ориентации этих градиентов;
- Исходя из полученных данных, выделяются точки наибольшего затемнения. Опираясь на их расположение, программа определяет контур объекта;
- Программа сравнивает лицо с заранее заготовленной базой данных для обучения;
- Результат сравнения выводится на экран.

Для поставленной задачи распознавания лиц для роботизации контроля пограничной территории использовалась модель YOLO, одна из самых популярных и широко используемых архитектур для обнаружения объектов. YOLO относительно проста в реализации и требует меньше вычислительных ресурсов по сравнению с двухэтапными методами, что делает её привлекательной для реализации задач в масштабе реального времени.

Для распознавания РТК силуэтов людей и их лиц необходимо обучить нейросеть на основе датасета изображений. Для поставленной задачи можно использовать как готовый датасет, что проще, так и самостоятельно размеченный, что точнее. С помощью программы Labellmg был размечен датасет из 600 изображений. Для достижения более точных результатов использовались фотографии с камер видеонаблюдения по всему миру, включая фотографии с размытыми силуэтами, для обучения нейросети распознавать людей в движении, на дальних дистанциях и при плохом освещении. Затем

изображения предстоит разделить по назначению. 70 из них – тестовые, остальные – обучающие.

Для обучения нейросети на своих данных используется TensorFlow lite, предназначенный для развертывания моделей на мобильных и встроенных устройствах. После обучения модель переводится в формат (.tflite), который предназначен для работы на мобильных устройствах и других платформах с ограниченными ресурсами.

Для удалённого управления микропроцессором используется протокол SSH, предоставляющий доступ к терминалу Raspberry Pi OS используемого устройства. Для подключения необходимо знать IP-адрес устройства и подключиться к одной сети. Сделать это так же можно через Ethernet кабель.

С помощью программы RealVNC-viewer предоставляется полный доступ к рабочему столу микрокомпьютера. Подключение производится аналогично как для SSH: по IP-адресу.

Движение мобильной части РТК осуществляется при помощи четырехколесной платформы. Вращение колес происходит посредством работы электродвигателей постоянного тока – моторов, на которых установлены энкодеры с датчиком Холла. Программирование и управление энкодерами происходит при помощи программы, составленной на основе языка C++, написанной на платформе Visual Studio Code при помощи разрешения Platformio.

Общий алгоритм работы имеет вид:

1. Движение робота осуществляется при помощи платформы на колесах на территории приграничной зоны.
2. Вращение колес происходит при помощи моторов, управляемых с помощью Arduino UNO.
3. В случае обнаружения объекта похожего на человеческое лицо, Raspberry Pi 4B посылает сигнал Arduino UNO, которое в свою очередь прекращает вращение моторов, тем самым прекращая движение робота.
4. Обнаружение лиц происходит благодаря камере соединенной с Raspberry Pi 4B
5. Анализ изображения происходит в соответствии с алгоритмом анализа изображения.
6. Изображение выводится на экран монитора оператора.

Созданный прототип РТК, выполняет задачу роботизации процесса контроля пограничной территории, имеет многоуровневую аппаратную структуру и строиться на основе высоконадёжных унифицированных программных средств.

Кроме того, разработанный РТК может использоваться как для контроля пограничной территории, так и для охраны любых гражданских объектов (например, крупных предприятий), где необходимо осуществлять контроль доступа на территорию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Форсайт Д., Понс Ж. Компьютерное зрение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://djuv.online/file/sOgochwumoddy>. – Дата доступа 17.09.2024.
2. Подключение энкодера к Arduino [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://alexgyver.ru/encoder/>. – Дата доступа 17.09.2024.

3. Подключение Raspberry Pi к Arduino через UART интерфейс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://voltiq.ru/raspberry-pi-arduino-serial-communication/>. – Дата доступа 17.09.2024.
4. Обмен данными по SPI между Raspberry Pi и Arduino [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/708844/>. – Дата доступа 17.09.2024.