

УДК 007.52:629.7.05

ДВУХУРОВНЕВАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМ РОБОТОМ-АВТОПИЛОТОМ

О.А. ЧУМАКОВ, Д.А. ХАДЖИНОВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Беларусь)

E-mail: olegchumakov@bsuir.by, deniskhajyn@gmail.com

Аннотация. Представлена аппаратная реализация двухуровневой системы управления мобильным роботом с автопилотом. Высокоуровневые задачи (компьютерное зрение, детекция светофоров) решаются на Raspberry Pi 4, низкоуровневое управление приводами – на Arduino Nano. Приведены схемы соединений и организация питания.

Abstract. A hardware implementation of a two-level control system for a mobile robot with autopilot is presented. High-level tasks (computer vision, traffic light detection) are solved on Raspberry Pi 4, low-level actuator control – on Arduino Nano. Connection diagrams and power supply organization are given.

Введение

Автономные роботы требуют отказоустойчивых бортовых систем. Разделение функций на высокоуровневую обработку среды и низкоуровневое управление исполнительными механизмами повышает быстродействие. Цель работы – проектирование и интеграция аппаратного комплекса для беспилотного робота.

Архитектура и схемотехника аппаратного комплекса

Бортовой комплекс робота разделен на два независимых аппаратных уровня: вычислительный (верхний) и исполнительный (нижний). Вычислительный уровень построен на базе одноплатного компьютера Raspberry Pi 4 (8 ГБ ОЗУ) [1], выполняющего ресурсоемкие задачи пространственного сканирования, захвата видеопотока с USB-камеры ELP 180 и его программного анализа. Исполнительный уровень реализован на микроконтроллере Arduino Nano, обеспечивающем жесткий реальный тайминг при опросе датчиков и генерации ШИМ-сигналов для приводов. Полная принципиальная электрическая схема разработанного комплекса представлена на рис. 1.

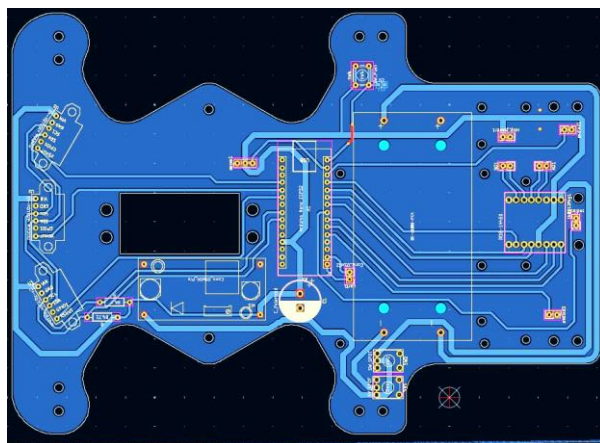


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема бортового аппаратного комплекса автопилота

На приведенной схеме (рис. 1) ключевым элементом подсистемы питания является параллельно подключенные аккумуляторы типа 18650 с номинальным напряжением 7,4 В. Силовая линия 7,4 В подключена напрямую к драйверу двигателя TB6612FNG [2] для обеспечения максимального крутящего момента ходовых моторов-редукторов. Для питания цифровой логики всей системы используется импульсный понижающий DC-DC преобразователь XL6009, формирующий стабильную линию 5 В с высокой нагрузочной способностью. Лазерный дальномер VL53L0X [3] интегрирован по шине I2C к аналоговым пинам Arduino Nano. Сервопривод MG996R, отвечающий за управление поворотной частью системы.

Для обмена информацией между разнородными вычислительными узлами спроектирована специализированная топология связей. Схема взаимодействия аппаратных компонентов и периферии представлена на рис. 2.

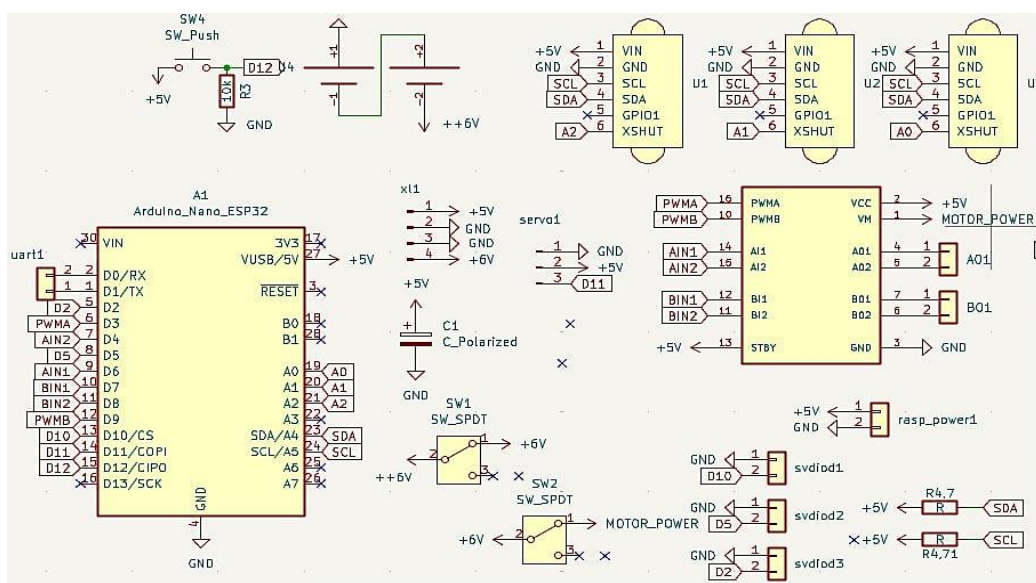


Рис. 2. Аппаратная схема междоульного взаимодействия компонентов

Как показано на схеме взаимодействия (рис. 2), передача команд управления и данных телеметрии между Raspberry Pi 4 и Arduino Nano осуществляется по проводному физическому интерфейсу USB с использованием протокола Serial (скорость передачи 9600 бод). Одноплатный компьютер считывает данные с лидара M1C1 mini по UART-интерфейсу и осуществляет пок кадровый захват с камеры. Для распознавания оптических сигналов дорожной инфраструктуры (светофоров) на верхнем уровне развернута облегченная математическая модель машинного обучения на базе сверточной нейронной сети YOLO, алгоритмическая основа которой подробно описана в [4].

По результатам работы ML-модели формируется байтовый пакет команд (STOP - 0 / FORWARD - 1 / SPEED - 2), транслируемый через USB-кабель на Arduino Nano. Микроконтроллер принимает пакет, выполняет обработку и последующую корректировку скважности ШИМ-сигнала на драйвере моторов. Внешний мониторинг аппаратного состояния системы реализуется посредством Wi-Fi модуля Raspberry Pi 4 по сетевому протоколу MQTT [5].

Экспериментальные испытания аппаратной части

При 30 тестовых заездах сбоев связи между Raspberry Pi 4 и Arduino Nano не зафиксировано. Преобразователь поддерживал 5,02 В без просадок. Время от обнаружения препятствия до остановки моторов – менее 12 мс.

Заключение

Разработанный двухуровневый комплекс показал высокую надёжность. В перспективе – переход на бесколлекторные моторы и CAN-шину.

Список использованных источников

1. Raspberry Pi 4 Model B [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.raspberrypi.com> (дата доступа: 11.05.2026).
2. Toshiba. TB6612FNG Dual Motor Driver IC [Electronic resource]. – Mode of access: https://toshiba.semicon-storage.com/info/TB6612FNG_datasheet_en_20141001.pdf (date of access: 25.05.2026).
3. STMicroelectronics. VL53L0X Time-of-Flight ranging sensor [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/vl53l0x.pdf> (date of access: 25.05.2026).
4. Хаджинова К.А., Савчиц А.Г., Земляник Р.В., Хаджинов Д.А. Разработка алгоритма детекции светофоров // Big Data and Advanced Analytics. – Минск, 2026. – С. 335–342.
5. MQTT Protocol Specification [Electronic resource]. – Mode of access: <https://mqtt.org> (date of access: 11.05.2026).