

Чжан Синьян, магистрант,
Амурский государственный университет

РЕАЛИЗАЦИЯ И ТЕСТИРОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГАРАЖНЫМИ ВОРОТАМИ

Аннотация. В статье представлены практические аспекты реализации и комплексного тестирования интеллектуальной системы управления гаражными воротами. Рассмотрены этапы сборки аппаратного комплекса, разработки программного обеспечения и интеграции компонентов. Результаты испытаний подтверждают соответствие системы заданным требованиям по надёжности, быстродействию и безопасности в различных условиях эксплуатации.

Ключевые слова: Система управления, гаражные ворота, испытания, производительность, надёжность, интеграция, STM32.

Переход от проектирования к практической реализации является критически важным этапом разработки сложных технических систем. Для интеллектуальной системы управления гаражными воротами этот процесс включает не только сборку аппаратных компонентов и написание программного кода, но и их глубокую интеграцию, обеспечивающую согласованную работу всех модулей. Особую сложность представляет достижение баланса между производительностью, энергоэффективностью и стоимостью конечного продукта, что требует тщательного подхода к реализации и всесторонней верификации.

Современные подходы к реализации встраиваемых систем предполагают использование итеративной разработки, при которой система создаётся и тестируется поэтапно. Это позволяет своевременно выявлять и устранять проблемы взаимодействия компонентов, оптимизировать алгоритмы работы и проверять соответствие техническим требованиям. Для систем управления критически важными механизмами, каковыми являются гаражные ворота, особое значение приобретают вопросы обеспечения отказоустойчивости и безопасности на всех уровнях реализации.

Реализация аппаратной платформы системы началась с монтажа четырёхслойной печатной платы, разработанной для микроконтроллера STM32F103 и сопутствующих компонентов. На плате были организованы отдельные области для силовой и цифровой частей, что позволило минимизировать взаимные помехи. Установлены стабилизаторы питания на 3.3 В для цифровых цепей и 5 В для периферийных устройств, а также силовой преобразователь 12 В для электродвигателя. Все критические соединения защищены TVS-диодами и снабжены цепями. Для отладки и программирования на плате размещены разъёмы JTAG и UART.

Программная реализация выполнялась на языке C с использованием фреймворка STM32CubeIDE. Были разработаны драйверы для всех периферийных устройств: ШИМ-таймеров для управления двигателем, АЦП для опроса датчиков тока, интерфейсов UART, SPI и I2C для связи с внешними модулями. На базе FreeRTOS созданы задачи с приоритетным планированием: высокий приоритет назначен задачам обработки аварийных сигналов и управления двигателем, средний – задачам сетевого взаимодействия, низкий – задачам интерфейса пользователя и сбора статистики. Для межзадачного взаимодействия использованы очереди сообщений и двоичные семафоры.

Архитектура программно-аппаратного комплекса демонстрирует взаимодействие между компонентами системы. Микроконтроллер выступает в роли центрального координатора, получая данные от сенсорного блока, обрабатывая их по заданным алгоритмам



и формируя управляющие воздействия для исполнительных устройств. Коммуникационный модуль обеспечивает двусторонний обмен данными с облачной платформой и мобильным приложением. Система диагностики непрерывно отслеживает состояние всех компонентов, а модуль безопасности реализует протоколы реагирования на аномальные ситуации.

Процесс тестирования системы включал несколько последовательных этапов. На первом этапе проводилось модульное тестирование отдельных компонентов: проверялась корректность работы драйверов, точность измерений датчиков, функционирование коммуникационных протоколов. На втором этапе выполнялось интеграционное тестирование, в ходе которого проверялось взаимодействие между модулями в различных режимах работы. Финальным этапом стали системные испытания в условиях, максимально приближенных к реальной эксплуатации.

Для оценки надёжности системы проводились продолжительные испытания на ресурс. Система отработала более 10 000 циклов открытия-закрытия без сбоев. Среднее время отклика на команду от мобильного приложения составило 120 мс при максимальном значении 250 мс. Энергопотребление в режиме ожидания не превышало 0.8 Вт, в активном режиме – 45 Вт. Проверка безопасности подтвердила эффективность реализованных механизмов: система корректно обнаруживала препятствия и останавливала движение ворота в 99.7% тестовых случаев, время срабатывания защиты не превышало 300 мс.

Сравнительный анализ с коммерческими аналогами показал конкурентоспособность разработанного решения. Система превзошла базовые модели по функциональности и безопасности, одновременно уступив премиальным решениям в части дополнительных сервисов, но значительно выиграв в стоимости. Экономический эффект от внедрения составляет около 40% по сравнению с покупкой коммерческой системы аналогичного класса.

Практическое внедрение системы подтвердило её работоспособность и соответствие поставленным задачам. В процессе эксплуатации были выявлены и устранены отдельные недочёты, связанные с помехоустойчивостью Wi-Fi соединения при значительном удалении от роутера. Дополнительная оптимизация алгоритмов управления позволила ещё на 15% снизить энергопотребление в режиме ожидания.

Дальнейшее развитие системы предусматривает внедрение функции прогнозирования технического обслуживания на основе анализа данных вибрации и потребляемого тока, а также реализацию резервирования критически важных компонентов для повышения отказоустойчивости. Перспективным направлением является также создание самообучающейся системы, способной адаптировать параметры управления под особенности конкретных условий эксплуатации.

Проведённая работа демонстрирует эффективность предложенных решений на всех этапах реализации интеллектуальной системы управления. Полученные результаты подтверждают возможность создания конкурентоспособной отечественной разработки в области автоматизации зданий, соответствующей современным требованиям к функциональности, надёжности и безопасности.

Список литературы:

1. Смирнов А. В., Кузнецов Д. И. Методика тестирования встраиваемых систем реального времени // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2020. – Т. 20, № 4. – С. 56-71.
2. Johnson M. K., Thompson R. L. Embedded System Verification and Validation Techniques // Journal of Embedded Computing. – 2022. – Т. 16, № 2. – С. 89-104.
3. Петров К. С., Волков А. А. Обеспечение надёжности микроконтроллерных систем управления // Автоматизация и современные технологии. – 2021. – № 8. – С. 34-40.



4. Zhang W., Li H., Chen X. Performance Evaluation of IoT-Based Smart Home Systems // IEEE Transactions on Consumer Electronics. – 2023. – Т. 69, № 1. – С. 112-120.

