

МАНУКОВ ІГОР

Національний технічний університет України «Київський Політехнічний Інститут імені Ігоря Сікорського»

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-9985-9460>igor.manukoff@gmail.com

БОНДАРЕНКО НАТАЛІЯ

Національний технічний університет України «Київський Політехнічний Інститут імені Ігоря Сікорського»

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9237-8187>nalbondarenko@gmail.com

БОНДАРЕНКО ВІКТОР

Національний технічний університет України «Київський Політехнічний Інститут імені Ігоря Сікорського»

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1663-4799>vicnbondarenko@gmail.com

РОБОТИЗОВАНА ТЕСТОВА ПЛАТФОРМА

Все більш широке використання у сучасному житті електрообладнання потребує побудови платформи для його тестування. Стаття присвячена створенню системи керування роботизованою тестовою платформою з мотор-колесами та світлодіодними фарами. Запропоновано структурну схему системи керування, описано принцип керування та створена програма керування, обрано елементну базу, що забезпечить надійну роботу системи за визначених умов експлуатації. Завдяки грамотному програмуванню мікроконтролерів та правильному вибору елементної бази вирішуються актуальні проблеми, пов'язані зі швидкістю та зменшенням габаритів платформи. Програма керування розроблена для використання з мікроконтролерами архітектури ARM сімейства STM32. Застосовано операційну систему FreeRTOS та спеціалізовані бібліотеки для програмування автоматизованих систем та підвищення рівня абстракції, що забезпечило модульність і перенесення коду на інші серії мікроконтролерів, полегшило тестування та в значній мірі спростило та зробило більш ефективним код.

Ключові слова: система керування, роботизована платформа, мотор-колесо, мікроконтролер, FreeRTOS

IHOR MANUKOV, NATALIYA BONDARENKO, VIKTOR BONDARENKO

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

ROBOTIC TEST PLATFORM

The increasingly widespread use of electrical equipment in modern life requires the construction of a platform for its testing. The article is devoted to the creation of a control system for a robotic test platform with motorized wheels and LED headlights. A structural diagram of the control system is proposed, the control principle is described and a control software is created, an element base is selected that will ensure reliable operation of the system under specified operating conditions. Due to the competent programming of microcontrollers and the correct selection of the element base, the actual problems related to the speed of operation and the reduction of the dimensions of the platform are solved. The control software is designed for use with microcontrollers of the ARM architecture of the STM32 family. The FreeRTOS operating system and specialized libraries for programming automated systems and increasing the level of abstraction were applied, which ensured modularity and portability of the code to other series of microcontrollers, facilitated testing, and greatly simplified and made the code more efficient.

Keywords: control system, robotic platform, wheel motor, microcontroller, FreeRTOS

В світі існує декілька варіантів платформ з мотор-колесами та світлодіодними фарами з дистанційним керуванням. Деякі з них використовують у побутових цілях, таких як робот-кур'єр, деякі у цивільній інфраструктурі, наприклад робот-пожежник, інші ж є лише експериментальними.

Всі платформи зовні мають більш або менш схожий вигляд, приклад наведений на рис. 1.

Порівняємо декілька конкретних прикладів тестових платформ:

1. Leo Rover v1.8: призначена для випробувань, має «відкритий» код, колеса діаметром 130 мм, дальність зв'язку – 100 м, залежну підвіску, камеру (некеровану).

Вступ



Рис. 1. Платформа LYNXMOTION ALUMINUM A4WD1 ROVER KIT

2. Rover Robotics 4WD Rover Pro: має захист від вологи та пилу, колеса діаметром 6,5 дюймів, залежну підвіску, дальність зв'язку невідома, камера відсутня.
3. 4X4 1/10 MOBILE ROBOT SYSTEM WITH MOTOR AND SERVO: має діаметр коліс – 115 мм, незалежну підвіску, дальність зв'язку невідома, камера відсутня, потребує встановлення блоку керування.
4. LYNXMOTION ALUMINUM A4WD1 ROVER: має колеса діаметром 4,75 дюймів, залежну підвіску, камеру, дальність зв'язку невідома, потребує встановлення блоку керування.

В кожній з роботизованих платформ є свої переваги та недоліки, проте більшість з них мають спільні недоліки, що й призвело до необхідності створення нової платформи. Отже про недоліки: більшість цих платформ є унікальними, а отже неможливо змінити лише мотор-колесо, аби його перевірити, необхідно змінювати платформу. Другим критичним недоліком є неможливість отримати початковий код або необхідність його розробки власноруч, що унеможливило зміну налаштувань таким чином аби досягнути лімітів випробуваних елементів та виграти час. Також до недоліків можна віднести проблеми зі зв'язком віддаленого керування, економічний аспект у цій роботі не розглядаємо.

Постановка задачі

Мета роботи полягає у побудові власної платформи з дистанційним керуванням для тестування мотор-колес та світлодіодних фар зі своїм початковим кодом та «електричною начинкою» для більш детальних та точних налаштувань випробуваних елементів, підвіска має бути незалежною з можливістю заміни коліс діаметром від 6,5 до 15 дюймів, дальність зв'язку – не менше 1000 м, камера керування аби мати кут огляду не менше 180°. Також необхідно зробити платформу універсальною, надійною та придатною до ремонту та швидкої зміни конфігурації елементів. При порівнянні будь-якої з представлених платформ із наведеними вимогами можна побачити, що жодна з них їх не задовольняє, тому прийнято рішення побудувати роботизовану платформу, яка дозволить реалізувати всі зазначені вимоги. В даній статті зосередимось на створенні системи керування роботизованою тестовою платформою.

Структурна схема системи керування та принцип роботи

Запропоновану структурну схему системи керування наведено на рис. 2.

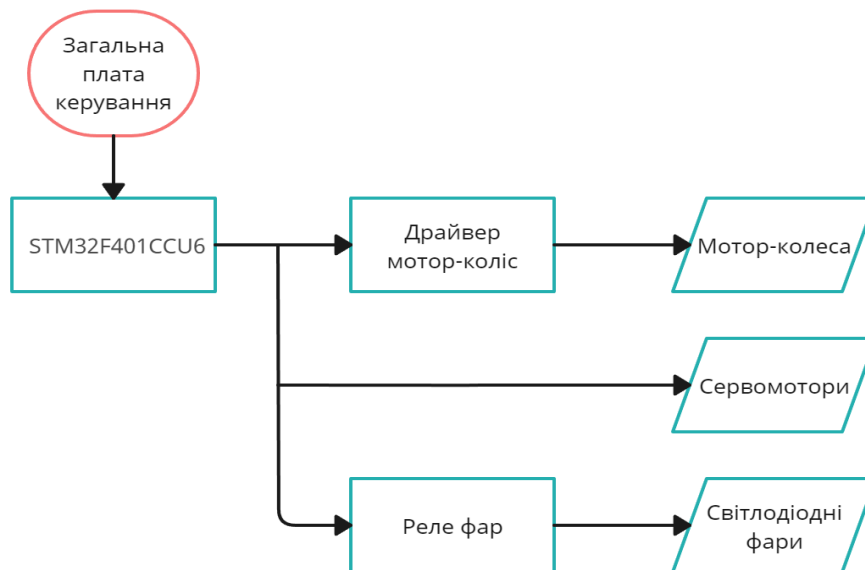


Рис. 2. Структурна схема системи керування

Система керування платформою складається з наступних блоків:

- загальна плата керування на LGT8F328D [1] – приймає сигнали з пульта дистанційного керування та постачає сигнали на плату драйвера;
- STM32F401CCU6 [2] – мікроконтролер, що приймає сигнали загальної плати керування, проводить розрахунки та подає сигнали на периферійні пристрої;
- драйвери моторів коліс TauTau [3] – приймають сигнал від STM32F401CCU6 та керують колесами;
- драйвери сервомоторів SG90 [4] – приймають сигнал від STM32F401CCU6 та керують сервомоторами;
- реле фар srd-05vdc-sl-c [5] – приймають сигнал від STM32F401CCU6 та керують фарами.

Принцип керування пристроєм

Для керування пристроєм застосовується пульт дистанційного керування, що посиляє сигнал на приймач, а той декодує та відправляє цей сигнал на загальну плату керування. Загальна плата керування оброблює отримані дані та відправляє на STM32F401CCU6 за протоколом UART [6]. STM32F401CCU6, в свою чергу, обробляє отримані дані та здійснює керування сервоприводами завдяки ШІМ, виставляє на реле керуючий сигнал 0 або 1 та за протоколом UART відправляє команду на драйвери коліс.

Пульт дистанційного керування побудований на базі мікроконтролера ATmega328P у складі плати Arduino Nano. До контактів мікроконтролера під'єднані кнопки, аналогові джойстики та модуль LoRa. Отримуючи дані від джойстиків та кнопок мікроконтролер ATmega328P кодує команду та відправляє її за протоколом UART на модуль LoRa, який саме є передавачем. Отже, змінюючи положення джойстиків та натискаючи на кнопки ми змінюємо посилку, що передається на роботизовану платформу. Живлення пульта здійснюється від літій-іонного акумулятора, що заряджається через роз'єм USB type-C.

Параметри керування:

STM32F401CCU6 аналізує «контрольну суму» та довжину посилки, чи є вона коректною. З перших трьох бітів отримуємо значення обраної швидкості, взагалі маємо 5 швидкостей і цей показник можна збільшити. Чотири наступні біти посилки вказують напрям руху, який задає оператор: вперед, назад, вправо, вліво, відповідно. Одночасно може бути обрано поворот та рух вперед або назад, параметри обраховуються наступним чином:

$$\text{Швидкість повороту} = \text{модифікація швидкості повороту} * \text{довжина бази} * 60 / (4 * \pi * \text{радіус колеса}),$$

де:

«модифікація швидкості повороту» – умовна константа, що задається задля налаштування швидкості;

«довжина бази» - довжина тестової платформи, що використовується на даний момент;

«радіус колеса» - радіус коліс, що в даний момент встановлено на тестову платформу.

$$\text{Швидкість} = \text{модифікація швидкості} * 60 / (2 * \pi * \text{радіус колеса})$$

Тоді маємо:

$$\text{Обертаючий момент коліс} = \text{швидкість} + \text{швидкість повороту}$$

Таким чином, при швидкості рівній нулю відбувається поворот на місці, а при відсутності повороту відбувається рух вперед або назад без повороту. При одночасному заданні руху вперед та назад або вліво та вправо ці параметри сприймаються як нуль.

Перші чотири біти другого байту посилки відповідають за рух камери: вгору, вниз, вправо, вліво. При одночасно заданих двох протилежних напрямках вони сприймаються рівними нулю, аналогічно до керування колесами. При ініціалізації камера становиться у нульове положення, у цей момент період ШІМ дорівнює 1,5 мс. Мінімальне значення ШІМ – 0,5 мс, максимальне – 2,5 мс. При кожному сигналі на поворот у будь-яку сторону, камера повертається на 0,5 градуса, що відповідає зміні ШІМ на 0,02 мс. Затримка передачі даних дорівнює 200 мс, отже за секунду відбувається поворот на 2,5 градуса, що дорівнює зміні ШІМ на 0,1 мс. Вираховується сигнал ШІМ наступним чином:

$$(\text{кут} - \text{початковий кут}) * (\text{кінцевий період} - \text{початковий період}) / \text{різниця кутів} + \text{початковий період},$$

Де «кут» - кут, на який ми прагнемо поставити камеру відносно початкового положення;

«початковий кут» – кут початкового положення;

«кінцевий період» – період, що відповідає максимальному куту повороту;

«початковий період» – період, що відповідає мініимальному куту повороту;

«різниця кутів» – від кута максимального положення відняти початковий кут.

Кут визначається як кут, що був, плюс 0,5 градуса. Ця швидкість є комфортною, проте може бути змінена за бажанням. Камера має фізичні обмеження для повороту, тому для безпеки сервомотора, аби його не зіпсувати, застосовані програмні обмеження.

П'ятий біт другого байту посилки відповідає за живлення фар. Якщо біт дорівнює одиниці – фари світять, якщо нуль – фари вимкнені. Реалізовано це за допомогою реле, що приймає сигнал з відповідного піну STM32F401CCU6 та визначає, подавати логічний нуль чи логічну одиницю на фари. Задля усунення невизначеності, піни мають підтяжку до високого чи низького рівня, залежно від того, який є необхідним.

Елементна база

У якості мікроконтролера драйверів обрано STM32F401CCU6. Це досить популярний та бюджетний мікроконтролер, має необхідний нам UART та достатню кількість таймерів та GPIO виводів. Також популярний мікроконтролер LGT8F328D, що має UART та достатню кількість виводів, обрано для загальної плати керування. Перевагами обраних мікроконтролерів є простота використання та програмування.

У якості драйверів обрано TauTau (ТаоТао), він має усі необхідні характеристики, а саме – максимальний струм до 10 А, колеса до 0,5 м у радіусі. У комплекті з драйвером обрано сервомотор SG90 за його низьку вартість та широке застосування. У подальшому SG90 буде замінений на MG995, який також відносно недорогий та має усі переваги SG90, таку ж ШІМ, проте, на відміну від SG90, має металеві

шестерні редуктора та працює із більшою вагою.

У якості реле фар обрано SRD-5VDC-SL-C за його популярність та характеристики, а саме: максимальний струм до 10 А та 5 В напруги.

Опис використаних програмних засобів та бібліотек

Для реалізації програмного коду використовуються наступні бібліотеки:

- string.h, stdlib.h – стандартні бібліотеки мови С для роботи зі строками;
- math.h – стандартна бібліотека мови С для виконання математичних розрахунків;
- бібліотека gos.h – є базою для програмування автоматизованих систем, у проекті використовується для побудови ієрархії;
- бібліотека HAL – застосована для підвищення рівня абстракції та подальшого більш зручного перенесення коду на інші серії мікроконтролерів STM32.

Також використано операційну систему FreeRTOS, яка підвищує модульність, дозволяє працювати в команді, адже окремі модулі не зв'язані, полегшує тестування та перенесення коду на інші контролери, підвищує ефективність та надає видимість багатопоточності, що спрощує і код, і його розуміння. Для генерації коду ініціалізації та подальшої роботи з кодом застосовано програмне забезпечення stm32CubeIDE, у вбудованому інструменті stm32CubeMX були обрані порти та відповідні їх функції.

Порти, що працюють за протоколом UART, налаштовані на роботу з DMA, що дозволяє збільшити швидкодію та зняти зайве навантаження з мікроконтролера. Більша частина коду написана на мові С та С++, що обумовлено відповідними бібліотеками, модульністю коду та можливістю перенесення коду на інші мікроконтролери.

Висновки

Створена система керування роботизованою тестовою платформою, призначеною для керування мотор-колесами та світлодіодними фарами в залежності від заданих оператором команд. Базою системи керування є запропонована структурна схема, принцип та програма керування. Обрано елементну базу, що забезпечить надійну роботу системи за визначених умов експлуатації. Застосовано операційну систему FreeRTOS та спеціалізовані бібліотеки для програмування автоматизованих систем та підвищення рівня абстракції, що забезпечило модульність і перенесення коду на інші серії мікроконтролерів, полегшило тестування та в значній мірі спростило та зробило більш ефективним код.

Вдосконалення системи керування можливе шляхом використання моторів зі зворотнім зв'язком або додаткового обладнання, що втілюється у життя без значних змін в системі. При переході на мікроконтролери з меншою потужністю та об'ємом пам'яті, є можливість прибрати деякий функціонал відповідних бібліотек без суттєвих переробок коду.

Література

1. Документація на мікроконтролер LGT8F328D [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://voltage.ru/datasheets/LGT8FX8D-datasheet.pdf>
2. Документація на мікроконтролер STM32F401CCU6 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f401cc.html>
3. Документація на драйвер TauTau [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://aliexpress.ru/item/1005002911831820.html?sku_id=12000022742072820
4. Документація на сервомотори SG90 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.ee.ic.ac.uk/pcheung/teaching/DE1_EE/stores/sg90_datasheet.pdf
5. Документація на реле srd-05vdc-sl-c [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.circuitbasics.com/wp-content/uploads/2015/11/SRD-05VDC-SL-C>
6. Zhu Y. Embedded Systems with ARM Cortex-M Microcontrollers in Assembly Language and C: Third Edition Yifeng Zhu. – [В. м.]: E-Man Press LLC, 2017. – 738 s.

References

1. Dokumentatsiya na mikrokontroler LGT8F328D [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu do resursu: <https://voltage.ru/datasheets/LGT8FX8D-datasheet.pdf>
2. Dokumentatsiya na mikrokontroler STM32F401CCU6 [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu do resursu: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f401cc.html>
3. Dokumentatsiya na drayver TauTau [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu do resursu: https://aliexpress.ru/item/1005002911831820.html?sku_id=12000022742072820
4. Dokumentatsiya na servomotory SG90 [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu do resursu: http://www.ee.ic.ac.uk/pcheung/teaching/DE1_EE/stores/sg90_datasheet.pdf
5. Dokumentatsiya na rele srd-05vdc-sl-c [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu do resursu: <https://www.circuitbasics.com/wp-content/uploads/2015/11/SRD-05VDC-SL-C>
6. Zhu Y. Embedded Systems with ARM Cortex-M Microcontrollers in Assembly Language and C: Third Edition / Yifeng Zhu. – [В. м.]: E-Man Press LLC, 2017. – 738 s.