

УДК 004

DOI <https://doi.org/10.32689/maup.it.2025.1.9>

Тетяна ДУБОВИК

старший викладач кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем,
Навчально-наукового інституту «Український державний хіміко-технологічний університет»,
Український державний університет науки і технологій,
dubovyk.tatyana@gmail.com
ORCID: 0000-0002-2359-2569

Даніїл ІВАНИЦЬКИЙ

магістр кафедри Спеціалізованих комп'ютерних систем,
Навчально-наукового інституту «Український державний хіміко-технологічний університет»,
Український державний університет науки і технологій,
dag96994@gmail.com
ORCID: 0009-0001-2031-3763

Ігор ЛЕВЧУК

кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерно – інтегрованих технологій та автоматизації,
Навчально-наукового інституту «Український державний хіміко-технологічний університет»,
Український державний університет науки і технологій,
LiL8192@gmail.com
ORCID: 0000-0002-8983-0558

Ганна ГУЗЬ

асистент кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем,
Навчально-наукового інституту «Український державний хіміко-технологічний університет»,
Український державний університет науки і технологій,
h.m.huz@ust.edu.ua
ORCID: 0009-0002-2908-8985

Олександр РОМАНЧУК

асистент кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем,
Навчально-наукового інституту «Український державний хіміко-технологічний університет»,
Український державний університет науки і технологій,
aaromanchuk1991@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2623-350X

РОЗРОБКА НАЗЕМНОГО КЕРОВАНОВОГО ДРОНА ПІДВИЩЕНОЇ ПРОХІДНОСТІ З РАДІОКЕРУВАННЯМ

Анотація. Метою даної роботи є розробка наземного керованого дрона підвищеної прохідності з радіокеруванням, який зможе ефективно працювати на пересічній місцевості.

Методологія. Для програмування використовується спрощена версія C++, розробку можна проводити як із використанням безкоштовного середовища Arduino IDE, так і за допомогою довільного C/C++ інструментарію. Для програмування та спілкування з комп'ютером знадобиться USB-кабель, а для автономної роботи буде потрібно блок живлення на 7,5-12 В роз'єм 5.5*2.1мм.

Практичне значення – оперативна передача інформації: радіозв'язок дозволяє швидко передавати повідомлення на значні відстані, зокрема там, де інші способи комунікації можуть бути недостатньо надійними або взагалі неможливими. Завдяки використанню радіохвиль, інформація передається миттєво, що є надзвичайно важливим для роботи екстрених служб, координації операцій або надання допомоги в реальному часі. Радіозв'язок відіграє важливу роль у військових комунікаціях, забезпечуючи зв'язок між підрозділами в польових умовах, координацію операцій і передачу команд у режимі реального часу. Військові користуються спеціальними захищеними каналами зв'язку, які можуть функціонувати в умовах перешкод та спроб глушіння сигналу, що забезпечує безпеку та ефективність військових дій.

Наукова новизна: Дрон має власні системи шифрування, які застосовуються для конфіденційних комунікацій. Регулятори встановлюють зобов'язання для операторів зв'язку, які мають забезпечувати захист даних користувачів і забезпечувати їх недоторканість у своїх мережах.

Актуальність теми полягає у постійному зростанні попиту на автономні та напіваавтономні транспортні засоби, здатні виконувати завдання в складних умовах. Запропонований проект спрямований на вирішення завдань, пов'язаних із підвищенням прохідності та зручності управління наземними дронами

Висновки. Реалізовано проектування конструкції, вибір компонентів, створення електронної частини, програмного забезпечення для управління. Досягнуті результати демонструють можливість використання розробленого дрона для виконання завдань у складних погодних умовах або в польових умовах. Підвищена прохідність забезпечується завдяки продуманій конструкції шасі та потужним приводам, а зручність керування досягається завдяки

оптимізованій системі радіозв'язку. Дрон має власні системи шифрування, які застосовуються для конфіденційних комунікацій.

Ключові слова: керований дрон, Arduino Uno, драйвер двигунів, бездротовий модуль, радіокерування.

Tetiana DUBOVYK, Daniil Ivanitskiy, Ihor LEVCHUK, Hanna HUZ, Oleksandr Romanchuk. DEVELOPMENT OF A GROUND-BASED CONTROLLED OFF-ROAD DRONE WITH RADIO CONTROL

Abstract. The purpose of this work is to develop a ground-based controlled off-road drone with radio control, which can work effectively on rough terrain.

Methodology. For programming, a simplified version of C++ is used, development can be carried out both using the free Arduino IDE environment and using arbitrary C/C++ tools. For programming and communicating with a computer, you will need a USB cable, and for autonomous operation, you will need a 7.5-12V power supply 5.5*2.1mm connector.

Practical importance is the rapid transmission of information: radio communication allows you to quickly transmit messages over long distances, in particular where other methods of communication may not be reliable enough or even impossible. Thanks to the use of radio waves, information is transmitted instantaneously, which is extremely important for the work of emergency services, coordination of operations or the provision of assistance in real time. Radio communication plays an important role in military communications, providing communication between units in the field, coordinating operations and transmitting commands in real time. The military uses special secure communication channels that can function in conditions of interference and attempts to jam the signal, which ensures the safety and effectiveness of military operations.

Scientific novelty. The drone has its own encryption systems that are used for confidential communications. Regulators set obligations for telecom operators, which must ensure the protection of user data and ensure its inviolability in their networks.

The relevance of the topic lies in the constant growth of demand for autonomous and semi-autonomous vehicles capable of performing tasks in difficult conditions. The proposed project is aimed at solving problems related to increasing the cross-country ability and ease of control of ground drones

Conclusions. The design of the structure, the selection of components, the creation of an electronic part, control software have been implemented. The results achieved demonstrate the possibility of using the developed drone to perform tasks in difficult weather conditions or in the field. Increased cross-country ability is provided by a well-thought-out chassis design and powerful drives, and ease of control is achieved thanks to an optimized radio communication system. The drone has its own encryption systems that are used for confidential communications.

Key words: RC drone, Arduino Uno, engine driver, wireless module, radio control.

Аналіз досліджень та публікацій. Автор [6] описує машинку перевертень на радіокеруванні, що демонструє неймовірні трюки та стрибки не тільки на рівному, але й на схилах чи пісчанних барханах, болотах чи серед колючок, не боючись в буквальному сенсі «ставати на голову». Хоча швидкість при цьому менша, ніж у дрифт машинок, зате видовищність на висоті.

В роботі [7] автори представляють розбір стандарту для tactic radio. Стандарт для tactic radio є алгоритм шифрування AES із довжиною ключа 128 або 256 біт. У MOTOTRBO є модифікації з шифруванням AES-256, але вони дорожчі, тому до військ їх надходить мало.

В роботі [8] автори представляють розробку Wi-Fi-керованого відео-пристрою (машинки), що живиться від акумулятора, який підключено до модуля контролера заряду з мікро USB. Можливий час автономної роботи 5-6 год без підзарядки.

Виклад основного матеріалу. Сучасний розвиток технологій радіокерування та автоматизації значно розширює можливості застосування дронів у різних сферах діяльності. Наземні дрони, на відміну від повітряних, здатні виконувати завдання в умовах, де необхідна підвищена прохідність та стійкість до складних дорожніх умов. Це робить їх актуальними для використання у пошуково-рятувальних операціях, інспекції інфраструктури, агротехнологіях та військовій справі. Для розробки використано Arduino Uno R3 (рисунок 1) [10].



Рис. 1. Контролер Arduino Uno R3

Репліка оригінальної плати Arduino UNO В якості USB-UART перехідника застосована мікросхема CH340, що добре зарекомендувала себе, яка відрізняється хорошою стабільністю, високою швидкістю передачі даних але для якої потрібна додаткова установка драйверів. напруги для АЦП контролера та IOREF – виходом напруги живлення портів введення-виведення (для автоматичного перемикавання напруги периферії при використанні 5В та 3,3В контролерів). У всьому іншому це той самий контролер Arduino UNO на базі мікроконтролера Atmega328p з масою прикладів програм, бібліотек та опису побудови готових конструкцій [1].

Arduino – це відкрита платформа з відкритим кодом програм та бібліотек, яка дозволяє збирати всілякі електронні пристрої. Плата Arduino UNO буде цікава креативникам, дизайнерам, програмістам і всім допитливим розумам, які бажають зібрати свій пристрій або керовану конструкцію. Для цієї платформи написано безліч різних прикладних програм і бібліотек. Мабуть, не залишилося датчиків, дисплеїв і виконавчих механізмів для яких не написана Arduino бібліотека або програма, в яких вони використовуються [2, 3].

Для програмування використовується спрощена версія C++, розробку можна проводити як із використанням безкоштовного середовища Arduino IDE, так і за допомогою довільного C/C++ інструментарію. Для програмування та спілкування з комп'ютером вам знадобиться USB-кабель, а для автономної роботи буде потрібно блок живлення на 7,5-12 В роз'єм 5.5*2.1мм.

Arduino Nano V3.0 з нерозпаяними конекторами – маленька, самодостатня, роз'ємно-сумісна з макетками плата на мікроконтролері ATmega328 (рисунк 2). Вона більш-менш збігається за функціональністю з Arduino Duemilanove/Uno, але має інший форм-фактор [9].



Рис. 2. Контроллер Arduino Nano V3

Arduino Nano може бути запитана від Mini-B/Micro USB роз'єму або зовнішнього джерела живлення 6-12В (пін «Vin») або 5В стабільного зовнішнього живлення (пін «5V»). Живлення автоматично перемикається на джерело з вищою напругою.

Драйвер двигунів L298N. Популярний драйвер двигунів на базі чіпа L298 може управляти двома моторами або одним кроковим двофазним двигуном (рис. 3). Підтримує роботу з керуючим мікроконтролером із напругою рівнів 3.3В. Керуюче живлення для двигунів VMS: 5~35В, сила струму 2А на міст [4].



Рис. 3. Драйвер двигунів L298N

Перемикач «5V enable» служить для вибору джерела живлення чіпа L298: на модулі встановлений стабілізатор живлення, який обрізає вхідну напругу до +5В і подає її на чіп, але якщо вхідна напруга вище 12В стабілізатор буде сильно грітися, тому при використанні моторів з напругою вище 12В необхідно зняти перемикач «5V enable» та подати на вхід «+5V power» живлення 5В для чіпа L298.

Якщо ж живлення моторів 12В і нижче, то перемикач потрібно одягнути, а з виведення +5V power можна знімати стабілізовану напругу 5В для ваших потреб. Увага! Не можна подавати напругу на виведення «+5V power» при встановленій перемикачі «5V enable». На вхід «12V power» можна подавати напругу від 5 до 35В [5].

Бездротовий модуль NRF24L01+PA+LNA із зовнішньою SMA антеною (рис. 4)

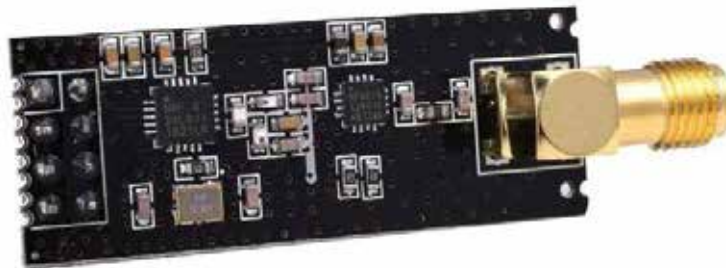


Рис. 4. Бездротовий модуль NRF24L01+PA+LNA

Бездротовий модуль NRF24L01P+ з підсилювачем та зовнішньою антеною працює на частоті, що не ліцензується, 2.4ГГц і може працювати на відстані до 1100 метрів. Кожен модуль можна програмно встановлювати як приймач чи передавач, як і можна будувати мережі типу «зірка». Модуль має невеликий розмір (45.54 x 16.46 мм), керується за протоколом SPI:

потужність передачі більше +20 дБм, 50Ω, підтримує семиканальний прийом, швидкість передачі до 2 Мбіт/сек

робоча напруга 2.7 – 3.6В, але керуючі висновки толерантні до 5В (тобто живимо до 3.6, але керуючі без проблем підключаємо до висновків Ардуїно)

мультиспектральні точки: 125 частотних точок

підтримує пересилання втрачених пакетів

робоча частота: 2400 – 2524 МГц

модуляція: GMSK

чутливість приймача: -95 дБм

максимальний струм при передачі: 115 мА

максимальний струм прийому: 45 мА

робочий діапазон температур: промисловий стандарт -45...+85 град

посилення PA: 20 дБ

посилення LNA: 10 дБ

DC-DC знижувальний конвертер LM2596 з 4.5-40В до 3-35В [6]

Знижувальний конвертер постійного струму побудований на базі LM2596S, діапазон напруги на вході 4.5 – 40В, на виході 3 – 35В (обов'язкова умова: вхідна напруга повинна бути не менше ніж на 1.5В вище вихідного).

Джойстик для Arduino. Джойстик має 5 висновків: VCC (+5В), GND (земля), X (переміщення по осі X), Y (переміщення по осі Y) та Button (сигналізує чи натиснута кнопка) (рис. 5). На виходах X та Y сигнал диференційований, тобто змінюється від кута нахилу ручки. При використанні напруги живлення 5В за замовчуванням на аналогових висновках X і Y буде 2.5В. При переміщенні джойстика в один бік напруга наростатиме до 5В, при русі джойстика в інший бік напруга падатиме до 0В. Висновки підключаються до аналогових входів Arduino. Таким чином можна отримувати точне положення джойстика і реагувати на кут нахилу, а не тільки на сам факт нахилу ручки [5].

Завдяки ультразвуковому датчику відстані HC-SR04 – можна вимірювати відстань від 0 см до 1500 мм, точність досягає 3 мм., не має сліпих зон.



Рис. 5. Джойстик для Arduino

Nikko MegaRider 4.



Рис. 6. Фото Nikko MegaRider 4

Прошивка приймача (машинки) фрагмент коду програми:

```
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>
// Піни двигунів
const int motor1Pin1 = 5; // IN1 для першого двигуна (напрямок)
const int motor1Pin2 = 6; // IN2 для першого двигуна (напрямок)
const int motor1PWM = 9; // ENA для першого двигуна (ШИМ)
const int motor2Pin1 = 4; // IN3 для другого двигуна (напрямок)
const int motor2Pin2 = 3; // IN4 для другого двигуна (напрямок)
const int motor2PWM = 10; // ENB для другого двигуна (ШИМ)
// Налаштування NRF24
RF24 radio(7, 8); // CE, CSN
const byte address[6] = "00001";
struct Command {
    int x; // Ліво/право
    int y; // Вперед/назад
};
Command command;
void setup() {
```



```

pinMode(motor1Pin1, OUTPUT);
pinMode(motor1Pin2, OUTPUT);
pinMode(motor1PWM, OUTPUT);
pinMode(motor2Pin1, OUTPUT);
pinMode(motor2Pin2, OUTPUT);
pinMode(motor2PWM, OUTPUT);
radio.begin();
radio.openReadingPipe(0, address);
radio.setPALevel(RF24_PA_MIN);
radio.startListening();
}
void loop() {
  if (radio.available()) {
    radio.read(&command, sizeof(command));
    int speedY = map(abs(command.y), 0, 512, 0, 255); // Швидкість вперед/назад
    int speedX = map(abs(command.x), 0, 512, 0, 255); // Швидкість повороту
    // Керування напрямком руху
    if (command.y > 0) {
      moveForward(speedY);
    } else if (command.y < 0) {
      moveBackward(speedY);
    } else {
      stopMotors(); // Зупинка при відсутності руху вперед-назад
    }
    // Повороти, якщо присутні значення для осі X
    if (command.x > 0) {
      turnRight(speedX);
    } else if (command.x < 0) {
      turnLeft(speedX);
    }
  }
}
void moveForward(int speed) {
  digitalWrite(motor1Pin1, HIGH);
  digitalWrite(motor1Pin2, LOW);
  analogWrite(motor1PWM, speed);
  digitalWrite(motor2Pin1, HIGH);
  digitalWrite(motor2Pin2, LOW);
  analogWrite(motor2PWM, speed);
}
void turnRight(int speed) {
  // Один двигун вперед, інший назад для повороту
  digitalWrite(motor1Pin1, HIGH);
  digitalWrite(motor1Pin2, LOW);
  analogWrite(motor1PWM, speed);
  digitalWrite(motor2Pin1, LOW);
  digitalWrite(motor2Pin2, HIGH);
  analogWrite(motor2PWM, speed);
}
Прошивка передавача (пульта)
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>
// Налаштування NRF24L01
RF24 radio(7, 8); // CE, CSN пін на Nano
const byte address[6] = "00001"; // Адреса радіоканалу

```

```

struct Command {
    int x; // Вісь X (ліво-право)
    int y; // Вісь Y (вперед-назад)
};
Command command;
void setup() {
    pinMode(A0, INPUT); // Джойстик по осі X
    pinMode(A1, INPUT); // Джойстик по осі Y
    radio.begin();
    radio.openWritingPipe(address);
    radio.setPALevel(RF24_PA_MIN);
    radio.stopListening(); // Пульт буде тільки відправляти
}
void loop() {
    int xValue = analogRead(A0) - 512; // Читання осі X
    int yValue = analogRead(A1) - 512; // Читання осі Y
    // Перевірка, чи є рух вперед/назад
    if (abs(yValue) > 100) {
        command.y = yValue; // Якщо рух по осі Y значний, передати тільки Y
        command.x = 0;      // Вимкнути X
    } else {
        command.y = 0;      // Якщо рух по осі Y незначний, то зупинити Y
        command.x = xValue; // Передати X
    }
    radio.write(&command, sizeof(command)); // Відправка команди
    delay(20); // Маленька затримка для стабільної передачі
}

```

Найпопулярніший алгоритм шифрування – HALFLOOP. HALFLOOP Американський стандарт MIL-STD-188-14D, який по суті є зменшеною версією Advanced Encryption Standard (AES), диференціальний криптоаналіз може дозволити зловмиснику пропустити значні частини процесу шифрування. Розроблений наземний дрон буде захищений власним шифром, що дозволить йому робити свою справу без втручання [3,7]. Фрагмент діаграми, що впливає на цей процес представлено на рисунку 7.

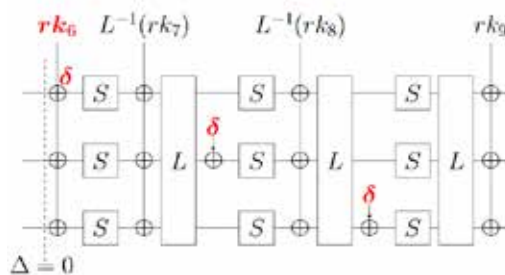


Рис. 7. Фрагмент діаграми шифрування

Тестування розробки проводились в різних «польових» умовах (рис. 8)

Слід зазначити, що машинка вдало проходить ландшафт: трава, пісок, каміння. Перешкодою стає вода вище середини колеса, велике каміння, надвисока трава (Петрів батіг, Іван-чай).

Час роботи на одному акумуляторі: 3 години.

Максимальна швидкість: 20 км/год.

Вантажопідйомність: 400 грам.

Дальність керування дроном: 500м.

Розробка відповідає вимогам та поставленим задачам.



Рис. 8. Дрон з радіокеруванням в дії

Висновки. Розроблено наземний керований дрон підвищеної прохідності з радіокеруванням. У процесі роботи проведено аналіз вимог до дронів такого типу, обрано відповідні компоненти для реалізації конструкції та електроніки, а також створено програмне забезпечення для ефективного управління пристроєм.

Досягнуті результати демонструють можливість використання розробленого дрона для виконання завдань у складних погодних умовах або в польових умовах. Підвищена прохідність забезпечується завдяки продуманій конструкції шасі та потужним приводам, а зручність керування досягається завдяки оптимізованій системі радіозв'язку.

Перспективи. Розробка має потенціал для подальшого вдосконалення, зокрема інтеграції додаткових сенсорів, автоматизації окремих процесів управління та впровадження системи зворотного зв'язку для моніторингу роботи пристрою. Отримані результати можуть стати основою для майбутніх досліджень і розробок у сфері наземних дронів.

Список використаних джерел:

1. Arduino uno. Каталог. URL: <https://arduino.ua/prod650-dc-dc-poniyyuchii-konverter-lm2596-z-4-5-40v-do-3-35v> (дата звернення 20.02.2025)
2. Kulberdiev, B. A., Dubovyk, T. M. Development of a Bluetooth-controlled machine using Arduino Uno. Materials of the xv international scientific and practical conference cutting-edge science. 2019. С. 28–29.
3. Langbridge J. A. ArduinoTM Sketches: Tools and Techniques for Programming Wizardry. John Wiley & Sons Inc. 2014. <https://doi.org/10.1002/9781119183716>
4. Nebeker, Frederik. Dawn of the Electronic Age: Electrical Technologies in the Shaping of the Modern World, 1914 to 1945. John Wiley & Sons. 2009. с. 14–15. ISBN 0470409746
5. Radiostyrda bilar. URL: <https://www.tradera.com/item/342522/645372068/radiostyrd-bil-nikko-mega-rider-4> (дата звернення 20.02.2025)
6. Радіокеровані моделі. URL: <https://hobitera.com/c-radiokеровани-modeli> (дата звернення 2.03.2025)
7. Радіо для прибиральників. Зв'язок у ЗСУ – сучасний, але не військовий. Аналіз армійського досвіду. URL: https://texty.org.ua/articles/73135/radio_dla_prybyralnykiv_zvjazok_u_zsu_-73135/ (дата звернення 12.03.2025)
8. Sergeyeva O., Lisenko V., Dubovik T., Patalakha M. "Development of a Wi-Fi controlled mobile video device on the Arduino NANO basis". *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2020. Vol. 3/9 (105), 55–60, DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206558>
9. Sergeyeva O. V., Robuck E. A., Pavlenko N. Y., Dubovik T. N. Applications of computer systems based on the Arduino microprocessor system in chemical laboratory. *The Eurasian Union of Scientists* 2019. (ESU), 12 (69 (5)), 34–38.
10. Tapan K. Sarkar (ed.), ред. History of wireless (англ.). John Wiley and Sons. 2006. p. 335. ISBN 0-471-71814-9.