

УДК 681.515.8

А.П. Здолбіцький, А.В. Савлук

Луцький національний технічний університет

## СИСТЕМИ НАВЧАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА БАЗІ ПЛАТФОРМ СУМІСНИХ З ARDUINO

*Здійснено практичну реалізацію навчальних алгоритмів слідування лінії, обходу незв'язного лабіринту мобільним агентом Pololu 3Pi. Проведено аналіз різних систем програмно та апаратно сумісних із платформою Arduino.*

**Ключові слова:** мікроконтролер, роботизована платформа, Arduino, алгоритм, середовище програмування.

**Постановка проблеми.** Arduino – це електронний конструктор і зручна платформа швидкої розробки електронних пристроїв для новачків і професіоналів. Платформа користується величезною популярністю в усьому світі завдяки зручності і простоті мови програмування, а також відкритій архітектурі і програмного коду. Пристрій програмується через USB без використання програматорів.

Arduino дозволяє комп'ютеру вийти за рамки віртуального світу у фізичний і взаємодіяти з ним. Пристрої на базі Arduino можуть отримувати інформацію про навколишнє середовище за допомогою різних датчиків, а також можуть управляти різними виконавчими пристроями.

Мікроконтролер на платі програмується за допомогою мови Arduino (заснований на мові Wiring) і середовища розробки Arduino (заснована на середовищі Processing). Проекти пристроїв, засновані на Arduino, можуть працювати самостійно, або ж взаємодіяти з програмним забезпеченням на комп'ютері (напр.: Flash, Processing, MaxMSP). Плати можуть бути зібрані користувачем самостійно або куплені в зборі. Програмне забезпечення доступне для безкоштовного скачування. Вихідні креслення схем (файли CAD) є загальнодоступними, користувачі можуть застосовувати їх на свій розсуд. У 2006 Arduino отримала визнання в категорії цифрових спільнот на фестивалі Prix Ars Electronica.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Незважаючи на величезну кількість алгоритмів і методів для різних платформ навчально-прикладного призначення можна виділити платформи та середовища, які функціонально споріднені з Arduino [1,2]. Відкритим інструментом для розробників є мова програмування Processing [5], яка базується на Java. Програма на Processing називається скетч (від англ. Sketch - ескіз). Ідея полягає в тому, щоб програмування в Java-стилі було схоже на скриптове для швидкого написання коду.

**Метою роботи** є практична реалізація алгоритмів навчального призначення, таких, як слідування лінії, обхід незв'язного лабіринту за правилом «лівої руки» на базі мобільного агента 3pi фірми Pololu, що дає можливість дослідити на практиці використані методи і забезпечити новий якісний підхід до вивчення даної проблематики.

### Виклад основного матеріалу. В чому переваги платформи Arduino?

Існує безліч мікроконтролерів і платформ для здійснення «physical computing». Parallax Basic Stamp, Netmedia's BX-24, Phidgets, MIT's Handyboard і багато інших, які пропонують схожу функціональність. Всі ці пристрої об'єднують різну інформацію про програмування і укладають її в просту у використанні збірку. Arduino, в свою чергу, теж спрощує процес роботи з мікроконтролерами, проте має ряд переваг перед іншими пристроями для викладачів, студентів та аматорів:

1. **Низька вартість** – плати Arduino відносно дешеві в порівнянні з іншими платформами. Найдешевша версія модуля Arduino може бути зібрана вручну, а деякі навіть готові модулі коштують менше 50 доларів.

2. **Крос-платформенність** – програмне забезпечення Arduino працює під ОС Windows, Macintosh OSX і Linux, в той час як більшість мікроконтролерів обмежується ОС Windows.

3. **Просте і зрозуміле середовище програмування** – середовище Arduino підходить як для початківців, так і для досвідчених користувачів. Arduino заснована на середовищі програмування

Processing, що дуже зручно для викладачів, так як студенти, що працюють з даним середовищем будуть знайомі і з Arduino.

4. **Програмне забезпечення з можливістю розширення і відкритим вихідним кодом** – ПО Arduino випускається як інструмент, який може бути доповнений досвідченими користувачами. Мова може доповнюватися бібліотеками C++. Користувачі, які бажають зрозуміти технічні нюанси, мають можливість перейти на мову AVR C на якій заснований C++. Відповідно, є можливість додати код з середовища AVR-C в програму Arduino.

5. **Апаратні засоби з можливістю розширення і відкритими принциповими схемами** – мікроконтролери ATMEGA8 і ATMEGA168 є основою Arduino. Схеми модулів випускаються з ліцензією Creative Commons, а значить, досвідчені інженери мають можливість створення власних версій модулів, розширюючи і доповнюючи їх. Навіть звичайні користувачі можуть розробити дослідні зразки з метою економії коштів та розуміння роботи.

### **Середовище розробки**

Для написання програм і прошивання пристроїв платформи Arduino використовується єдине середовище розробки, яке складається з вбудованого текстового редактора програмного коду, області повідомлень, вікна виведення тексту(консолі), панелі інструментів з кнопками часто використовуваних команд і декількох меню. Для завантаження програм і зв'язку з пристроєм середовище розробки саме підключається до апаратної частини Arduino.

Для попередньої перевірки написаних програм може використовуватись система емуляції Arduino – VirtualBreadboard. Її важливою відмінністю від інших подібних програм – є те, що VirtualBreadboard невелика за розміром і, що більш важливо, безкоштовна для використання.

### **Апаратна частина платформи Arduino**

Існує кілька версій платформ Arduino. Остання версія Uno, як і попередня версія Duemilanove побудовані на мікроконтролері Atmel ATmega328. Старі версії платформи Diecimila і перша робоча Duemilanoves були розроблені на основі Atmel ATmega168, більш ранні версії використовували ATmega8. Arduino Mega2560, в свою чергу, побудована на мікроконтролері ATmega2560.

#### *Перелік основних версій плат Arduino:*

- **Uno** – найновіша версія базової платформи Arduino USB. Uno в комплектації має стандартний порт USB. Arduino Uno багато в чому схожа з Duemilanove, але побудована на новому чіпі ATmega8U2 для послідовного підключення за допомогою інтерфейсу USB і нове, більш зручне маркування вхід/виходів. Платформа може бути доповнена платами розширення, наприклад, платами користувачів з різними функціями.
- **Arduino Ethernet** – контролер з вбудованою підтримкою роботи з використанням мережі і з опціональною можливістю живлення від мережі за допомогою модуля POE (Power over Ethernet).
- **Duemilanove** – є передостанньою версією базової платформи Arduino USB. Підключення Duemilanove здійснюється стандартним кабелем USB. Платформа може бути доповнена платами розширення, наприклад, платами користувачів з різними функціями.
- **Diecimila** – попередня версія базової платформи Arduino USB.
- **Nano** – це компактна платформа, як використовується як макет. Nano підключається до комп'ютера за допомогою кабелю USB Mini-B.
- **Mega ADK** – версія плати Mega 2560 з підтримкою інтерфейсу USB host для встановлення зв'язку з телефонами на базі операційної системи Android і з іншими пристроями з використовуючи інтерфейс USB.
- **Mega2560** – нова версія плати серії Mega. Побудована на базі мікроконтролера Atmega2560 з використанням чіпа ATmega8U2 для послідовного з'єднання за допомогою порту USB.
- **Mega** – попередня версія серії Mega побудована на базі Atmega1280.
- **Arduino BT** платформа з вбудованим модулем Bluetooth для бездротового зв'язку і програмування. Сумісна з платами розширення Arduino.
- **LilyPad** – платформа, пурпурного кольору, розроблена для перенесення, може зашивати в тканину.

- **Fio** – платформа розроблена для бездротового затосування. Fio містить роз'єм для радіо XBee, роз'єм для батареї LiPo і вбудовану схему підзарядки.
- **Mini** – найменша платформа Arduino. Прекрасно працює як макетна модель, або, в проектах, де розмір пристрою має важливе значення. Платформа підключається до комп'ютера за допомогою адаптера Mini USB.
- **Адаптер Mini USB** – плата, яка конвертує підключення USB в лінії 5 В, GND, TX і RX для з'єднання з платформи Arduino Mini або іншими мікроконтролерами.
- **Pro** – платформа, розроблена для досвідчених користувачів, може використовуватись, як частина складного проекту. Вона дешевше, ніж Diecimila і може працювати від акумуляторної батареї, але в теж час вимагає додаткової збірки і компонентів.
- **Pro Mini** – як і платформа Pro розроблена для досвідчених користувачів, яким потрібна низька ціна, невеликі розміри і додаткова функціональність.
- **Serial** – базова платформа з інтерфейсом RS232 для встановлення зв'язку і програмування. Плата легко збирається навіть користувачами початківцям.
- **Serial Single Sided** – платформа розроблена для ручного збирання. Вона має трохи більші розміри, ніж Diecimila, але сумісна з платами розширення Arduino.
- **USB Serial Light Адаптер** – адаптер, що дозволяє підключати плати Arduino до комп'ютера для обміну даними та заливки скетчів. Зручний для програмування таких плат, як Arduino Mini, Arduino Ethernet і інших, які не мають власного порту USB.

Плати розширення, що встановлюються на платформи, розширюють функціональність Arduino для управління різними пристроями, отримання даних і т.д.

Плата розширення Xbee Shield забезпечує за допомогою модуля Maxstream Xbee Zigbee бездротовий зв'язок з декількома пристроями Arduino в радіусі до 35 метрів (в приміщенні) і до 90 метрів (по за приміщенням).

Плата розширення Motor Shield забезпечує управління двигунами постійного струму і зчитування датчиків положення.

Плата розширення Ethernet Shield забезпечує встановлення підключення до інтернету.

### Рекомендовані апаратні засоби інших розробників

Випробувані і сподобалися пристрої інших розробників, сумісні з програмою Arduino. Розробники платформи Arduino рекомендують таку додаткову платформу розширення, як Boarduino виробником якої є Adafruit. Дана платформа призначена для використання з кабелем USB FTDI-на-TTL-Serial USB-послідовний або іншим адаптером. Доступна у вигляді порожньої друкованої плати або вже в комплекті.

### Програмне забезпечення

Arduino для програмування використовує інтегроване середовище розробки. Це середовище являє собою кросплатформенний додаток на Java, що включає в себе редактор коду, компілятор і модуль передачі прошивки в плату.

Середовище розробки засноване на мові програмування Processing і спроектована для можливості зручного програмування новачками, які не є добре знайомими з розробкою програмного забезпечення. Мова програмування аналогічна тій, що використовується в проекті Wiring. В загальному, це мова C++, доповнена деякими бібліотеками. Програми обробляються за допомогою препроцесора, а потім компілюється за допомогою AVR-GCC.

Цікавим фактом є те, що існує спеціальна російська версія цієї мови програмування. Вона була створена спеціально для подолання мовного бар'єру при програмуванні людьми які не знайомі з англійською мовою.

Документація, прошивки і креслення Arduino поширюється під ліцензією Creative Commons Attribution ShareAlike 2.5 і доступні на офіційному сайті Arduino. Доступні також рисунки для деяких друкованих версій Arduino. Вихідний код для інтегрованого середовища розробки та бібліотек опублікований і доступний під ліцензією GPLv2.

### Pololu 3Pi

Pololu 3pi – є досить цікавою для практики і вдосконалення знань про роботизовані платформи альтернативою, яка в роботі може використовувати бібліотеки з Arduino, так як вони використовують однакові мікроконтролери і є повністю сумісні. Pololu 3pi розроблявся як

оптимальна платформа для участі в змаганнях з наступних дисциплін: швидкісний проходження по лінії і знаходження виходу з лабіринту. Він має невеликий розмір: діаметр 9,5 см, вага 83 г (без батарей) і вимагає лише чотирьох елементів ААА. Унікальна система живлення видає на мотори постійного струму 9,25 В незалежно від рівня заряду батареї. Регулювання напруги дозволяє роботам Pololu 3pi розвивати швидкість до 1м/с у той же час дозволяючи робити точні повороти і обертання, точність яких не залежить від напруги батареї.

Робот Pololu 3pi є чудовою платформою для людей які вивчають робототехніку з досвідом програмування на C, а для амбітних і тих, що тільки почали вивчати C це може стати веселою розвагою. В основі даної платформи використовується мікроконтролер Atmel ATmega328P, який працює на тактовій частоті 20 МГц і має вбудовану пам'ять: 32 KB flash, 2 KB RAM, 1 KB EEPROM. Популярний і безкоштовний WinAVR GCC C/C++ компілятор відмінно працює з роботом Pololu 3pi, AVR Studio компанії Atmel представляє собою комфортне середовище розробки, а великий набір програмних бібліотек, що надається Pololu, робить простою комунікацію з усім інтегрованим обладнанням. Незважаючи на свою завершеність і самодостатність, конструкція робота Pololu 3pi дозволяє абгрейдити і допрацьовувати його, додаючи всілякі нові давачі, сенсори та інші модулі, які можуть в досить значній мірі розширити функціонал роботизованої платформи.

### **Алгоритм роботи програми «Слідування лінії»**

У цьому алгоритмі відображено процеси та фази написання програмного коду на основі стандартизованих бібліотек, процедур та функцій платформи Pololu 3pi. Алгоритм слідування лінії є хорошою базою для створення наступних більш складних проектів.

Основна програма має дві фази. Перший етап програми – фаза ініціалізації та калібрування, яка обробляється за допомогою функції `intitalize()`. Ця функція викликається один раз на початку головної функції `main()`, перш ніж відбудеться будь-яка інша подія. Дана функція включає в себе наступні дії:

1. Виклик функції `pololu_3pi_init(2000)`, яка створює в 3pi, тайм-аут до  $2000 \times 0,4 = 800$  од.. Це означає, що значення датчиків буде варіюватися від 0 (повністю білий) до 2000 (повністю чорний), де значення 2000 означає, що конденсатор датчика взяв не менше 800 од. розряду.

2. Відображення напруги батареї викликається за допомогою функції `read_battery_millivolts()`. Важливо контролювати напругу батареї так, щоб в робота не скінчився заряд батареї і він не зупинився під час роботи або, що гірше, під час програмування.

3. Калібрування сенсорів. Воно досягається шляхом повороту 3pi вправо і вліво, при цьому залишаючись на лінії. Виклик функції відбувається за допомогою `calibrate_line_sensors()`. Мінімальні і максимальні значення зчитуються і зберігаються в оперативній пам'яті. Це дозволяє функції `read_line_sensors_calibrated()` повертати значення, які варіюються в межах від 0 до 1000 для кожного з датчиків, навіть якщо деякі з датчиків реагують по-різному. `read_line()` – функція, яка використовується в кінці коду також залежить від наявності каліброваного значення.

4. За результатами калібрування значень лінійних датчиків будується гістограма. В ній демонструється використання функції `lcd_load_custom_character()` разом з `print_character()`, це дозволяє перш ніж почати роботу, спочатку відобразити котрі з лінійних датчиків працюють правильно, що дозволить запобігти появі проблем в майбутньому.

5. Очікування поки користувач не натисне на кнопку. Це дуже важливо, інакше робот самовільно почне їхати, ще до того як це буде потрібно, або, що ще гірше коли він перешивається. Для цього використовуємо функцію `button_is_pressed()`, ця функція не дозволить роботу рухатися поки ми не натиснемо кнопку В. В час простою на дисплеї робота буде відображатися показники напруги батареї або показники зчитування лінійних датчиків.

На другому етапі програми, 3pi отримує дані із зчитуючого сенсора і встановлює швидкість двигуна на базі отриманих даних. Загальна ідея полягає в тому, що якщо лінія закінчилася, слід повернути, щоб повернутися на лінію, якщо з обох боків знаходиться чорна лінія – слід повернути у відповідну сторону, але якщо він знаходиться на лінії, то повинен продовжувати їхати прямо. Наступні кроки відбуваються всередині циклу, який буде продовжувати повторювати це знову і знову, поки робот не буде вимкнений або скинутий з траскторії. Дана послідовність буде виглядати наступним чином:

1. Викликається функція `read_line()`. Ці показники знімає датчик зчитування і повертає оцінку позиції робота по відношенню до лінії, яке представлено як число від 0 до 4000. Значення 0 означає, що лінія зліва від датчика 0, значення 1000 означає, що лінія знаходиться безпосередньо під датчиком 1, 2000 означає, що лінія знаходиться безпосередньо під датчиком 2, і так далі.

2. Значення, повернене `read_line()` поділяється на три можливих випадки:

- a) 0-1000: робот далеко праворуч від рядка. У цьому випадку різко повернути вліво, встановити швидкість правого двигуна до 100 і лівого до 0. Зверніть увагу, що максимальна швидкість двигуна складає 255, так що ми надаємо швидкість двигуну тільки близько 40% всієї потужності.
- b) 1000-3000: робот розміщений приблизно по центру рядка. У цьому випадку, ми встановлюємо значення обох двигунів 100, щоб їхати прямо.
- c) 3000-4000: робот далеко ліворуч від лінії. У цьому випадку ми звернемося різко вправо, встановивши швидкість правого двигуна 0, а лівого 100.

Залежно від двигуна будуть активовані, відповідні світлодіоди включений для кращого представлення. Це також може допомогти з налагодженням.

### **Висновки**

Отже, Arduino та сумісні з нею платформи, наприклад Pololu – це зручні платформи для реалізації проектів різної складності. Дана платформа підійде як початківцям, які тільки почали ознайомлення з світом робототехніки, так і для тих, які вже мають навички в даній роботі. Arduino пропонує велику кількість матеріалів для розробки, починаючи від готових до використання бібліотек для спрощення програмування, щоб користувач міг повністю зануритись в роботу не відволікаючись ні на що крім реалізації власної ідеї, і закінчуючи вже повністю готовими проектами які можуть надихнути на їх вдосконалення, або на створення власних. В Arduino кожен зацікавлений може знайти для себе щось своє і реалізувати свої ідеї.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. <http://arduino.net.ua/>
2. <http://arduino.ru/>
3. <http://www.pololu.com/docs/0J21/1>
4. <http://www.virtualbreadboard.com/>
5. <http://www.processing.org/>
6. <http://www.wiring.org.co/>