

Б. М. ЗЛОТЕНКО

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри комп'ютерної інженерії та електромеханіки
Київський національний університет технологій та дизайну
ORCID: 0000-0002-0870-8535

Д. В. СТАЦЕНКО

кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри комп'ютерної інженерії та електромеханіки
Київський національний університет технологій та дизайну
ORCID: 0000-0002-3064-3109

Г. В. МЕЛЬНИК

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри комп'ютерної інженерії та електромеханіки
Київський національний університет технологій та дизайну
ORCID: 0000-0002-0002-7663

В. Ю. КАЛАШНІК

кандидат технічних наук,
старший викладач кафедри комп'ютерної інженерії та електромеханіки
Київський національний університет технологій та дизайну
ORCID: 0000-0002-2345-4377

МЕТОДОЛОГІЯ ОБРОБКИ ТА ЗБЕРЕЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ В КОМП'ЮТЕРНІЙ СИСТЕМІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРИ ПІДГОТОВЦІ І ПРЕЗЕНТАЦІЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Розглянуто методологію використання мікроконтролера *Arduino Leonardo* при виконанні наукових досліджень і висвітлення отриманих результатів при написанні статті, під час виступу на конференції, а також в процесі захисту кваліфікаційної роботи. Встановлено, що існуючі апаратні та програмні засоби, що входять до комплектів мікроконтролерів *Arduino* можуть бути покладені в основу створення експериментального устаткування для проведення досліджень здобувачами освіти в різних галузях науки і техніки. Архітектура плат *Arduino* та їх програмного забезпечення дозволяють отримувати і обробляти інформацію з різного роду датчиків у вигляді аналогових і цифрових сигналів. Встановлені залежності між вхідними і вихідними величинами дозволяють підготувати змістовну презентацію для висвітлення отриманих результатів досліджень у доповідях на наукових конференціях, семінарах, а також у презентації кваліфікаційної роботи. На основі використання мікроконтролера *Arduino Leonardo* і персонального комп'ютера розроблено експериментальну установку для проведення експериментальних досліджень комп'ютерно-інтегрованої системи керування освітленням розумного будинку. Розроблено алгоритм і програмне забезпечення для вимірювання та реєстрації світлового потоку при використанні фоторезистора в якості датчика і світлодіодів для імітації джерел освітлення. Запропоновано метод збереження отриманих експериментальних даних у базі даних *MySQL*. Розроблено методологію проведення експериментальних досліджень режимів роботи комп'ютерно-інтегрованої системи керування освітленням. Отримана експериментальна залежність вихідної з фоторезистора напруги від величини світлового потоку внутрішнього світлодіода, яка підтверджує достовірність прийнятих вихідних положень в процесі створення програмного забезпечення розробленої експериментальної установки.

Ключові слова: методологія, експеримент, комп'ютерні науки, програмна архітектура, наукова доповідь, бази даних.

В. М. ZLOTENKO

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor at the Department of Computer Engineering and Electromechanics
Kyiv National University of Technologies and Design
ORCID: 0000-0002-0870-8535

D. V. STATSENKO

PhD in Technical Sciences, Associate Professor,
Head of the Department of Computer Engineering and Electromechanics
Kyiv National University of Technologies and Design
ORCID: 0000-0002-3064-3109

H. V. MELNYK

PhD in Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Computer Engineering
and Electromechanics
Kyiv National University of Technologies and Design
ORCID: 0000-0002-0002-7663

V. YU. KALASHNIK

PhD in Technical Sciences,
Senior Lecturer at the Department of Computer Engineering and Electromechanics
Kyiv National University of Technologies and Design
ORCID: 0000-0002-2345-4377

METHODOLOGY OF INFORMATION PROCESSING AND STORAGE IN A COMPUTER SYSTEM FOR CONDUCTING RESEARCH IN THE PREPARATION AND PRESENTATION OF QUALIFICATION WORK

The methodology for using the Arduino Leonardo microcontroller in conducting scientific research and presenting the results obtained when writing an article, during a conference speech, and in the process of defending a qualification thesis is considered. It has been established that the existing hardware and software included in the Arduino microcontroller kits can be used as the basis for creating experimental equipment for conducting research by students in various fields of science and technology. The architecture of Arduino boards and their software allow you to receive and process information from various types of sensors in the form of analogue and digital signals. The established dependencies between input and output values allow you to prepare a meaningful presentation to highlight the results of research in speeches at scientific conferences, seminars, as well as in the presentation of a qualification work. Based on the use of the Arduino Leonardo microcontroller and a personal computer, an experimental setup has been developed for conducting experimental studies of a computer-integrated lighting control system for a smart home. An algorithm and software have been developed for measuring and registering the luminous flux when using a photoresistor as a sensor and LEDs to simulate lighting sources. A method for storing the obtained experimental data in a MySQL database is proposed. A methodology for conducting experimental studies of the operation of a computer-integrated lighting control system has been developed. The experimental dependence of the voltage output from the photoresistor on the value of the luminous flux of the internal LED confirmed the reliability of the initial assumptions adopted in the process of creating the software for the developed experimental setup.

Key words: methodology, experiment, computer science, software architecture, research report, database.

Постановка проблеми

В даний час у зв'язку з наростаючою присутністю методів і засобів комп'ютерних наук у всіх сферах життєдіяльності людини, наявність доступних програмних і апаратних комплексів відкриває нові можливості для проведення досліджень здобувачами освіти в процесі підготовки кваліфікаційної роботи. Одним із таких засобів є комплекти, до складу яких входять контролери Arduino, плати, датчики тощо. Архітектура контролерів і відповідного програмного забезпечення дозволяє створювати експериментальне устаткування, системи отримання і опрацювання експериментальних даних.

Прикладом використання такого комплексу є проведення експериментальних досліджень при виконання кваліфікаційних робіт, присвячених розробці систем комп'ютерно-інтегрованого керування, які знайшли широке застосування в багатьох галузях науки, техніки і промисловості. До сфери комп'ютерно-інтегрованого керування увійшло в таке поняття як «розумний будинок». Система «розумний будинок» представлена комп'ютерно-інтегрованими комплексами, які здійснюють керування усіма інженерними системами, електроприладами, освітленням і температурою в приміщеннях.

На сьогоднішній день, при створенні енергоефективних приміщень, постає питання розробки та вдосконалення сучасних систем освітлення з раціональним використанням сонячного світла. Такі системи керування все ще недостатньо поширені в багатьох країнах світу, хоча вони зменшують споживання електроенергії, а також покращують тепловий та візуальний комфорт мешканців та працівників приміщень в яких вони встановлені. Ефективне керування такими системами може призвести до того, що в зимовий період буде зменшуватись кількість споживаної енергії на опалення приміщень, а в літній, відповідно, для охолодження приміщення.

Оптимальне використання природного освітлення квартири, будинку або офісу необхідно для здоров'я людей, їх комфорту, а також економії енергоресурсів. Тому в основу проектування системи «Розумний будинок» було покладено ідею регулювання інтенсивності природного світлового потоку за рахунок автоматичного управління жалюзі. При настанні темного періоду доби автоматичне закриття вікна за допомогою жалюзі і вмикання штучного освітлення забезпечить необхідний рівень комфорту мешканцям розумного будинку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Для реалізації дистанційного керування освітленням необхідні апаратно-програмні засоби з метою обробки сигналів, які надходять з датчиків, і передачі керуючих сигналів на виконавчі пристрої. В якості таких апаратно-програмних засобів розглянемо продукти розробників Arduino Software і Raspberry Pi Foundation.

Плати Arduino стали одними з найпопулярніших мікроконтролерів на ринку з величезною різноманітністю плат [1]. Кожна з цих плат Arduino має різну кількість контактів введення та виведення [2, 3]. Плата з найбільшою кількістю контактів – Mega 2560 поставляється з 54 цифровими контактами введення та виведення (з них 15 з них мають PWM) і має 16 вхідних аналогових контактів. Плата Micro має 20 цифрових входів / виходів (з 7 з них з PWM) і 12 вхідних аналогових контактів. Плата Uno має 14 цифрових входів та виходів (з 6 з них з PWM) і 6 вхідних аналогових контактів [4]. Arduino Leonardo – це пристрій на базі мікроконтролера ATmega 32U4. До складу пристрою входить: 20 входів та виходів, кварцовий резонатор на 16 МГц, роз'єм micro-USB, роз'єм живлення, роз'єм для програмування ICSP і кнопка скидання. Обсяг вільної пам'яті для зберігання програми в мікроконтролері ATmega 32U4 дорівнює 32 КБ, 4 КБ виділяється під потреби завантажувача. Об'єм оперативної пам'яті типу SRAM дорівнює 2,5 КБ. Крім цього, мікроконтролер має 1 КБ EEPROM. В мікроконтролер ATmega 32U4 вбудований USB-контролер, що виключає необхідність в додатковому процесорі [5, 6].

Для впровадження системи управління освітленням можна також використати обладнання, яке включає пристрій відеоспостереження, інфрачервоний датчик руху, пристрій зберігання і збору інформації, пристрій обробки інформації, датчик освітленості, пристрій бездротової передачі даних. Основою даної системи є одноплатний комп'ютер Raspberry Pi. Raspberry Pi 3 Model – це повністю функціональний комп'ютер з власним виділеним процесором, пам'яттю і може запускати операційну систему (працює на Linux) і вбудований Wi-Fi [7]. На платі встановлений Ethernet-порт, який забезпечує доступ до мережі.

Отже, якщо проєкт, включає в себе кілька функціональних можливостей одночасно, потрібен легкий доступ до Інтернету і потрібні можливості для доступу до мультимедіа, то потрібно обирати Raspberry Pi. У випадку, коли проєкт вимагає легкого зчитування з датчиків, який повинен виконувати тільки кілька вихідних сигналів на основі даних датчика, легко обмінюватися даними і швидко запускатися, тоді переважним є вибір Arduino.

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є: оптимізація структури комп'ютерно-інтегрованої системи керування освітленням розумного будинку на основі використання контролера Arduino Leonardo.

Викладення основного матеріалу дослідження

Оскільки основним завданням даної плати є взаємодія з датчиками і пристроями, Arduino підходить для апаратних проєктів, де потрібно чітко і швидко реагувати на різні сигнали. В даному випадку комп'ютерно-інтегрована система автоматизації освітлення розумного будинку є саме таким проєктом. Контролер Arduino Leonardo розрахований на роботу з великою кількістю різноманітних давачів.

З метою проведення досліджень режимів роботи комп'ютерно-інтегрованої системи освітлення розумного будинку було розроблено і виготовлено експериментальну установку. Модель експериментальної установки спроектована за допомогою середовища Fritzing (рис. 1).

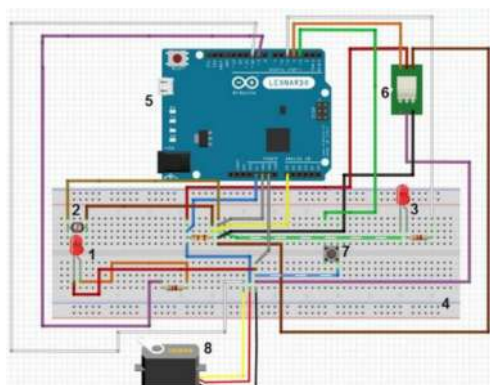


Рис. 1. Модель експериментальної установки

Лабораторна установка містить внутрішній світлодіод 1, що моделює зовнішній потік природнього освітлення для дії на чутливий елемент фоторезистора 2, зовнішній світлодіод 3, макетну плату mini Breadboard 4, контролер Arduino Leonardo 5, модуль реле 6, тактовий перемикач 7, який вмикає та вимикає внутрішній світлодіод 1, а також сервопривод 8, що використовується для здійснення повороту приводного вала жалюзі у відповідності із вихідною напругою фоторезистора.

Для програмування контролера Arduino Leonardo використане середовище Arduino IDE. Розроблена програма завантажується у контролер також за допомогою даного середовища (рис. 2). Мова Wiring середовища Arduino IDE розроблена на основі мов програмування C/C++. Створювані у середовищі Arduino IDE програми мають назву скетчів. При натисканні кнопки завантаження розробленого скетчу в контролер Arduino Leonardo, написаний код транслюється в мову програмування C. Далі компілятор здійснює остаточну трансляцію коду на мову, яка зрозуміла для мікроконтролера.

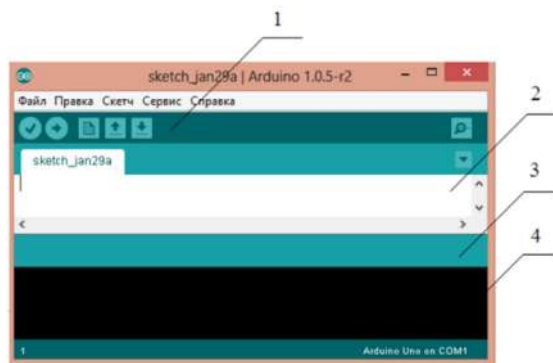


Рис. 2. Вигляд вікна середовища Arduino IDE

Розробка скетчів відбувається за допомогою текстового редактора. До складу вбудованого текстового редактора 2 входить набір стандартних інструментів таких, як зміна тексту, пошук, вставка, копіювання. Роль зворотного зв'язку з користувачем виконує область з повідомленнями 3, яка розташована всередині вікна програми. Вона здійснює інформування щодо подій, а також помилок, що можуть виникати при записі або експорті коду, написаного мовою Wiring. Відображення потоку вихідних даних в середовищі Arduino IDE, разом з усіма повідомленнями щодо помилок здійснюється за допомогою консолі 4. Модель контролера, що використовується, разом з послідовним портом, до якого він підключений відображаються у нижній правій частині вікна. Створення, збереження, відкриття і завантаження програми в контролер здійснюється за допомогою кнопок, розміщених в панелі інструментів 1 (рис. 3).



Рис. 3. Вигляд панелі інструментів середовища Arduino IDE

Перевірка щодо помилок, які містить програмний код, здійснюється за допомогою кнопки «Перевірити». Створення нового скетчу здійснюється за допомогою кнопки «Створити». Усі скетчі, розміщені у блокноті, можуть бути здійсненні відкриттям меню за допомогою кнопки «Відкрити». Компіляція програмного коду і завантаження його у контролер Arduino здійснюється за допомогою кнопки «Завантажити». Для того, щоб зберегти скетч використовується кнопка «Зберегти». Моніторинг послідовної шини здійснюється відкриттям за допомогою кнопки «Монітор порту». За допомогою програми «Монітор» відображаються дані, для передачі яких від контролера Arduino використовується USB послідовний інтерфейс.

Для відправки даних контролера Arduino у вікно програми вводиться текст і натискається кнопка Відправити або клавіша Enter. У списку, який відкривається, вибирається швидкість, з якою дані передаються, і яка відповідає швидкості, вказаній для функції `Serial.begin()`, що міститься у розробленому скетчі.

У спрощеному вигляді процес програмування в середовищі Arduino IDE включає в себе наступні стадії: Підключення плати до USB порту комп'ютера. Написання скетчу. Завантаження скетчу в контролер Arduino за допомогою USB кабеля. Витримка паузи. Перезапуск контролера Arduino Виконання контролером Arduino завантаженого скетчу.

Після того, як контролер Arduino Leonardo під'єднується до комп'ютера за допомогою USB кабелю, на ньому відбувається спалахування світлодіода і починається блимання світлодіода. Таким чином, при подачі живлення починається виконання завантаженої заводської програми програма Blink.

В розроблюваній комп'ютерно-інтегрованій системі освітлення у якості давача величини світлового потоку від внутрішнього світлодіода використано фоторезистор GL 55. Опір фоторезистора визначається яскравістю освітлення його керамічного чутливого елемента у вигляді змійовика. Дані про величину світлового потоку будуть зчитуватись у вигляді даних фоторезистора – як вихідна напруга під дією освітлення. З цією метою фоторезистор під'єднується до платформи Arduino Leonardo за допомогою дільника напруги, показаного на рис. 4.

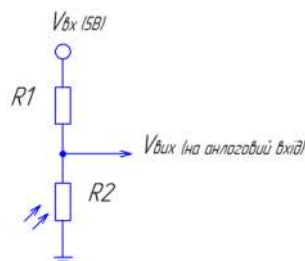


Рис. 4. Дільник напруги з під'єднанням фоторезистором

У схемі дільника напруги використовується резистор R_1 з постійним опором, який вибирається у відповідності з бажаним діапазоном напруги на виході. Резистор R_2 є фоторезистором і виступає в якості давача світлового потоку, який надходить від імітуючого денне освітлення внутрішнього світлодіода. Опір фоторезистора змінюється в залежності від інтенсивності світлового потоку, який потрапляє на його чутливий елемент, в результаті чого величина вихідної напруги змінюється. Її величина залежить від опору фоторезистора і визначається за допомогою закону Ома з виразу:

$$V_{\text{вих}} = I \cdot R_2 = \frac{R_2 \cdot V_{\text{вх}}}{R_1 + R_2}, \quad (1)$$

де I – величина сили струму, що проходить через фоторезистор R_2 і резистор R_1 .

Величина сили струму, що проходить через фоторезистор R_2 і резистор R_1 визначається з виразу (1) за формулою:

$$I = \frac{V_{\text{вх}}}{R_1 + R_2}. \quad (2)$$

З виразу (1) витікає, що із збільшенням опору R_2 по відношенню до опору R_1 падіння напруги на фоторезисторі збільшуються.

Серед можливостей контролера Arduino є здатність вимірювання напруги, яка визначається аналоговими давачами. З цією метою використовується `analogRead` функція. У випадку, коли давач під'єднується до виводу Arduino A0, для перетворення величини сигналу, отриманого за допомогою давача, у змінну необхідне використання команди `int value=analogRead(A0)`.

Отримані дані можна представити візуально на моніторі. Для цього монітор з'єднується з послідовним портом шляхом використання команди `Serial.begin(rate)`. При цьому здійснюється відкриття послідовного порту і встановлюється швидкість, з якою передаються дані.

З метою відображення даних, які надходять з контролера Arduino на персональний комп'ютер за допомогою послідовного інтерфейсу USB, використано програму Монітор.

Таким чином, дані, які зчитуються, виводяться на екран монітора за допомогою команди `Serial.begin(rate)` шляхом передачі даних через послідовний порт. При цьому відбувається автоматичне повернення каретки і перехід до нового рядка.

Для читання даних необхідно після завантаження програми в контролер Arduino натиснути на кнопку Монітор порту, яка знаходиться в правій верхній частині вікна програми. З метою моделювання зміни інтенсивності світлового потоку природнього освітлення у лабораторній установці здійснюється зміна яскравості випромінювання світлодіода, яка при проведенні дослідів збільшується в межах 0 %...100 % поступово.

З метою збереження даних з мікроконтролера Arduino для подальшого аналізу отриманих результатів, запропоновано використати базу даних (БД) MySQL. Скетч містить набір команд, який надсилає зчитані дані на комп'ютер через послідовний порт. В базі даних створена таблиця для зберігання даних, яка містить три колонки: 1) `id`: Унікальний ідентифікатор кожного запису; 2) `sensor_value`: Ціле число для збереження даних з фоторезистора; 3) `timestamp`: Дата і час запису, яка заповнюється автоматично. Скрипт написаний мовою Python зчитує дані

з послідовного порту і вставляє в таблицю БД. Принцип роботи збереження отриманих експериментальних даних у БД наступний: 1) Скрипт спочатку намагається підключитися до послідовного порту та бази даних MySQL. 2) У нескінченному циклі він постійно перевіряє, чи є нові дані в послідовному буфері. 3) Якщо дані є, він зчитує рядок, декодує його, перетворює на ціле число. 4) Сформований SQL-запит вставляє отримане значення в базу даних. 5) Команда `mydb.commit()` підтверджує зміни і зберігає їх у таблиці. 6) Скрипт продовжує працювати, доки його не зупинить користувач.



Рис. 5. Представлення вихідної напруги фоторезистора

Оскільки вхідна напруга контролера Arduino може коливатися в діапазоні $0 \dots 5$ В, то програмою здійснюється перетворення цих даних у цілочисельні значення в діапазоні $0 \dots 1023$. Крім того, спостерігається коливання виведених значень навколо одного числа, а саме 150, під час випромінювання світлодіодом світла, яке складає 20 % від максимальної яскравості `led_in brightness20%`. У зв'язку з цим, при кожному рівні яскравості зчитуються 6 виведених значень з подальшим визначенням середньоарифметичного для кожного рівня яскравості, яке буде являти собою вхідну напругу у вигляді:

$$\bar{V}_{out(цифр.)} = \frac{\sum_{i=0}^n V_{out(i)}}{n}, \quad (3)$$

де $V_{out(i)}$ – значення вхідної напруги для даного рівня яскравості; $n = 6$ – кількість значень, виведених для даного рівня яскравості.

Переведення отриманих даних у цифровому форматі до аналогових значень вихідної з фоторезистора напруги здійснювалось за формулою:

$$\bar{V}_{out(аналог.)} = \frac{\bar{V}_{out(цифр.)} \cdot 5}{1024}. \quad (4)$$

За описаною методологією були проведені експериментальні дослідження, в результаті яких отримана графічна залежність вихідної з фоторезистора напруги від яскравості внутрішнього світлодіода наведена на рис. 5.

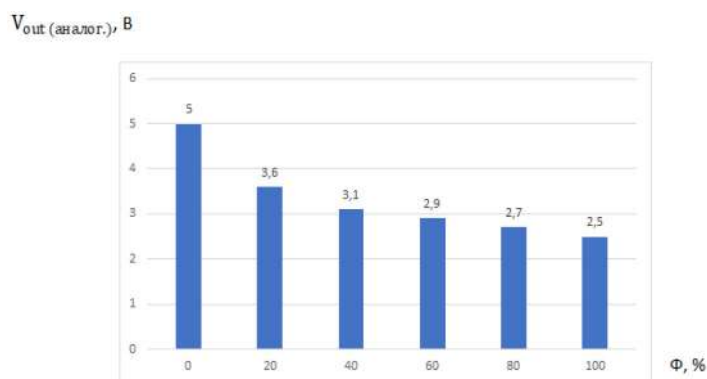


Рис. 6. Представлення вихідної напруги фоторезистора

Як видно з рис. 6, при відсутності світлового потоку від внутрішнього світлодіода до фоторезистора величина вихідної з фоторезистора напруги приймає максимальне значення 5 В. При поступовому збільшенні яскравості внутрішнього світлодіода з 0 % до 40 % світлового потоку величина вихідної з фоторезистора напруги

зменшується. Подальше збільшення яскравості внутрішнього світлодіода вихідна з фоторезистора напруга монотонно зменшується, хоча з меншою інтенсивністю. Найбільший 100 % яскравості світлодіода відповідає найменше значення вихідної напруги фоторезистора 2,5 В.

Отримані в ході виконання результати експериментального дослідження можуть бути представлені при публікації наукової статті, під час виступу на науковій конференції або семінарі, а також в процесі презентації кваліфікаційної роботи.

Висновки

Встановлено, що при проведенні досліджень в різних галузях науки і техніки доцільно використовувати наявні програмні і апаратні засоби, архітектура яких дозволяє інтегрувати їх до складу експериментального устаткування. Це відкриває перед здобувачами освіти широкі можливості для створення матеріальної бази досліджень в рамках виконання кваліфікаційної роботи і оприлюднення отриманих результатів.

Розроблено комп'ютерно-інтегровану схему керування освітленням розумного будинку з оптимальною структурою, яка дозволяє використовувати її в якості лабораторної установки. Лабораторна установка дозволяє проводити дослідження режимів роботи системи в режимі імітації змін світлого та темного періодів доби. При цьому протягом світлої доби використовується природне освітлення за рахунок автоматичного відкриття жалюзі, а протягом темного періоду вмикається автоматично штучне освітлення і жалюзі закриваються.

В результаті проведеного експериментального дослідження підтверджено працездатність розробленої комп'ютерно-інтегрованої системи освітлення розумного будинку. Отримана експериментальна залежність вихідної з фоторезистора напруги від яскравості внутрішнього світлодіода підтверджує достовірність прийнятих вихідних положень в процесі створення програмного забезпечення розробленої системи освітлення.

Встановлено, що для забезпечення функціонування комп'ютерно-інтегрованої системи керування освітленням розумного будинку потрібно вибрати її основний компонент – керуючий мікроконтролер. Однією з найбільш доступних сучасних керуючих платформ, до складу яких входить мікроконтролер, є платформа Arduino. Проте, навіть одна ця платформа має багато модифікацій, які використовують різні типи мікроконтролерів, що призводить до їх різної функціональності, зовнішніх інтерфейсів, об'єму пам'яті та габаритних розмірів.

Список використаної літератури

1. Monk S. Programming Arduino next steps: going further with sketches. 2nd ed. McGraw-Hill Education: Columbus, OH 43218, USA. 2019. 320 p. <https://agsci.colostate.edu/wp-content/uploads/sites/95/2020/03/Programming-Arduino.pdf>
2. Geddes M. Arduino project handbook: 25 practical projects to get you started: San Francisco: No Starch Press, 2016. 275 p. <https://ss-valpovo.hr/wp-content/uploads/2020/01/arduino-project-handbook.pdf>
3. Subekti S, Pranoto H, Rukasah Salmon B, Qomarudin Yusuf S, Suyadiyanto S, et al. (2020) Preventive maintenance of taper bearing using Arduino in the application of industry 4.0. International Research Journal of Engineering, IT & Scientific Research 6(4): 1–14. <https://sloap.org/journals/index.php/irjeis/article/view/953/1466>
4. Gheorghe AC, Stoica CI (2021) Wireless Weather Station Using Arduino Mega and Arduino Nano. Scientific Bulletin of Electrical Engineering Faculty 21(1): 35–38. <file:///C:/Users/Admin/Downloads/Wireless-Weather-Station-Using-Arduino-Mega-and-Arduino-Nano.pdf>
5. Ibraheem R, Ahmad F. The Versatile World of Arduino Boards: A Comprehensive Review. JOJ Material Sci. 2024; 9(1): 555753. DOI: 10.19080/JOJMS.2024.09.555753
6. Margolis M. Arduino Cookbook. Published by O'Reilly Media, 2011. – 632 p. <https://juniorfall.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/11/arduino-cookbook.pdf>
7. Ivković J, Radulović B. The Advantages of Using Raspberry Pi 3 Compared to Raspberry Pi 2 SoC Computers for Sensor System Support. International Conference on Applied Internet and Information Technologies, 2016. 88–94. https://www.researchgate.net/publication/304918737_The_Advantages_of_Using_Raspberry_Pi_3_Compared_to_Raspberry_Pi_2_SoC_Computers_for_Sensor_System_Support

References

1. Monk S. Programming Arduino next steps: going further with sketches. 2nd ed. McGraw-Hill Education: Columbus, OH 43218, USA. 2019. 320 p. <https://agsci.colostate.edu/wp-content/uploads/sites/95/2020/03/Programming-Arduino.pdf>
2. Geddes M. Arduino project handbook: 25 practical projects to get you started: San Francisco: No Starch Press, 2016. 275 p. <https://ss-valpovo.hr/wp-content/uploads/2020/01/arduino-project-handbook.pdf>
3. Subekti S, Pranoto H, Rukasah Salmon B, Qomarudin Yusuf S, Suyadiyanto S, et al. (2020) Preventive maintenance of taper bearing using Arduino in the application of industry 4.0. International Research Journal of Engineering, IT & Scientific Research 6(4): 1-14. <https://sloap.org/journals/index.php/irjeis/article/view/953/1466>
4. Gheorghe AC, Stoica CI (2021) Wireless Weather Station Using Arduino Mega and Arduino Nano. Scientific Bulletin of Electrical Engineering Faculty 21(1): 35–38. <file:///C:/Users/Admin/Downloads/Wireless-Weather-Station-Using-Arduino-Mega-and-Arduino-Nano.pdf>

5. Ibraheem R, Ahmad F. The Versatile World of Arduino Boards: A Comprehensive Review. JOJ Material Sci. 2024; 9(1): 555753. DOI: 10.19080/JOJMS.2024.09.555753
6. Margolis M. Arduino Cookbook. Published by O'Reilly Media, 2011. – 632 p. <https://juniorfall.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/11/arduino-cookbook.pdf>
7. Ivković J, Radulović B. The Advantages of Using Raspberry Pi 3 Compared to Raspberry Pi 2 SoC Computers for Sensor System Support. International Conference on Applied Internet and Information Technologies, 2016. 88–94. https://www.researchgate.net/publication/304918737_The_Advantages_of_Using_Raspberry_Pi_3_Compared_to_Raspberry_Pi_2_SoC_Computers_for_Sensor_System_Support

Дата першого надходження рукопису до видання: 24.09.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 20.10.2025

Дата публікації: 28.11.2025