

МОДЕЛЬ ВИБОРУ МІКРОКОНТРОЛЕРА ДЛЯ МОДУЛЯ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

Філь Н. Ю., Коломієць І. О., Бардаков В. Р.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. У роботі розглянуто основні вимоги системи екологічного моніторингу. Для підвищення ефективності системи екологічного моніторингу необхідно приймати рішення на основі інформації, отриманої у режимі реального часу. Мікроконтролер передає показники в єдину систему, використовуючи технології Wi-Fi і Bluetooth. Розроблено модель вибору мікроконтролера для модуля системи екологічного моніторингу, застосування якої дасть змогу, зважаючи на єдині системні позиції, приймати рішення щодо створення модуля екологічного моніторингу в умовах багатокритеріальності та невизначеності вихідної інформації.

Ключові слова: екологічний моніторинг, мікроконтролер, критерії, вибір, функція корисності.

Вступ

Стрімкий розвиток технологій цифрового приладобудування викликав революцію у сфері екологічного моніторингу.

Метою екологічного моніторингу є не тільки спостереження за станом атмосферного повітря, поверхневих вод суші, морських вод, ґрунтово-земельного покриву та інших важливих компонентів навколишнього середовища, а також інформаційне забезпечення управління природоохоронною діяльністю та екологічною безпекою. Отже, основними завданнями екологічного моніторингу є:

- організація систематичних спостережень за зміною біосфери;
- оцінювання змін, що спостерігаються, виявлення антропогенних ефектів;
- прогноз і визначення тенденцій у зміні біосфери.

Розроблення та застосування сучасних цифрових технологій для екологічного моніторингу є надзвичайно актуальним питанням [1]. Сучасні цифрові контрольовимірювальні технології значно підвищують точність екологічного моніторингу завдяки впровадженню новітніх датчиків і методів вимірювання та передачі екологічних показників. Такі системи екологічного моніторингу дають змогу в динаміці контролювати поточний стан досліджуваних територій з метою подальшого аналізу змін і прийняття рішень щодо їх збереження та розвитку [2]. Високоточні цифрові датчики дозволяють відстежувати важливі параметри в режимі реального часу, забезпечуючи точність і достовірність показників унаслідок екологічного моніторингу [3].

Розроблення системи екологічного моніторингу передбачає вирішення таких завдань: вибір місць і параметрів спостереження; визначення та розміщення контрольовимірювальної апаратури та засобів прийому й передачі екологічних показників [4].

Аналіз публікацій

Проблемі екологічного моніторингу присвячено чимало робіт українських та зарубіжних науковців.

У статті [5] зазначено, що прийняття 20 березня 2023 р. № 2973-IX Закону України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо державної системи моніторингу довкілля, інформації про стан довкілля (екологічної інформації) та інформаційного забезпечення управління у сфері довкілля» є вагомим і визначальним кроком щодо створення ефективної, прозорої та відкритої системи моніторингу навколишнього середовища. Система екологічного моніторингу має забезпечувати гнучкі та зручні можливості для фахівців із різних предметних галузей з метою забезпечення їм доступу до розподілених алгоритмів, моделей, інформації та датчиків для оброблення екологічних показників.

У праці [6] проаналізовано проблеми функціонування системи моніторингу довкілля.

Загальна модель організації та планування екологічного моніторингу з використанням бездротової мережі стаціонарних датчиків розроблена в дослідженні [4].

Для поліпшення екологічної ситуації необхідне постійне вдосконалення систем екологічного моніторингу з допомогою створення локальних систем екологічного моніторингу, що працюють у режимі реального

часу. Такі показники можна використовувати для прийняття ефективних рішень щодо зменшення забруднення на місцевому рівні за нетривалий час.

Мета та постановка завдання

Метою дослідження є розроблення моделі вибору мікроконтролера для модуля екологічного моніторингу за багатьма функціональними та вартісним критеріями, що дасть змогу скоротити час збору інформації для системи регіонального екологічного моніторингу.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- 1) проаналізувати характеристики мікроконтролерів, що можуть використовуватися для модуля екологічного моніторингу;
- 2) розробити модель вибору мікроконтролера для модуля екологічного моніторингу за багатьма функціональними й вартісним критеріями;
- 3) навести приклад використання розробленої моделі вибору мікроконтролера для модуля екологічного моніторингу.

Виклад основного матеріалу

Блок системи екологічного моніторингу має містити чутливі датчики та мікроконтролер, автономне джерело живлення та перетворювач напруги. Крім цього, необхідно, щоб користувач мав змогу переглядати отримані показники, що зберігаються на хмарному сервісі (рис. 1).

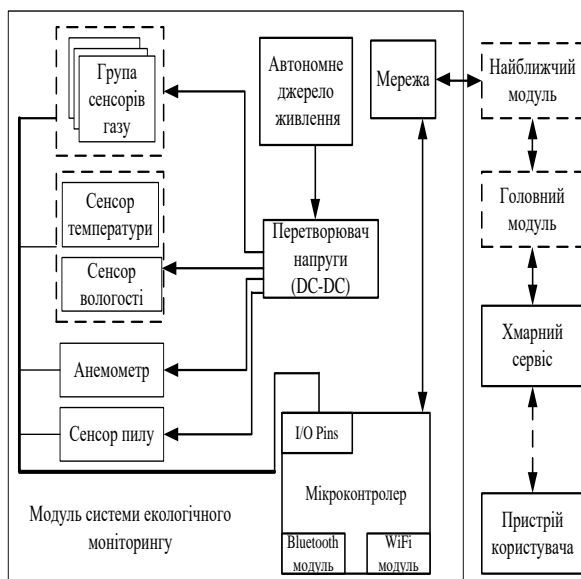


Рис. 1. Структурна схема модуля системи екологічного моніторингу [4]

Модуль системи має зв'язок між структурними елементами. Мікроконтролер є сполучним елементом, що передає мережею отримані від сенсорів показники до найближчого пристрою через вузол бездротової передачі інформації. Вузол бездротового зв'язку передає їх далі по ланцюжку, поки показники не надійдуть до основного пристрою, що має зв'язок із хмарним сервісом.

Для налаштування та перегляду стану передачі інформації використовується модуль конфігурації пристрою *Smart*. Далі отримані показники подаються у вигляді графіків у модулі інтерфейсу користувача. Для визначення рівня заряду акумулятора, що забезпечує роботу всього пристрою, використовується модуль оцінювання енергозабезпечення, а для перевірки функціонування модуля екологічного моніторингу та виявлення несправностей – модуль самотестування. Завдяки модулю віддаленого доступу можна управляти модулем екологічного моніторингу на відстані.

Розглянемо завдання вибору мікроконтролера для модуля системи екологічного моніторингу.

Модуль системи екологічного моніторингу містить мікроконтролер, датчик температури та вологості повітря, датчик пилу, датчик оксиду вуглецю, датчики швидкості та напрямку вітру, елемент бездротової передачі інформації.

Модель вибору мікроконтролера для системи екологічного моніторингу

Відома множина мікроконтролерів $K = \{K_i\}$, $(i = \overline{1, i^*})$, які можна використовувати для під'єднання сенсорів, де i^* – кількість можливих мікроконтролерів.

Кожен мікроконтролер характеризується такими параметрами:

– розміром ОЗП –
 $K^{OЗП} = \{K_i^{OЗП}\}$, $(i = \overline{1, i^*})$;

– тактовою частотою –
 $K^{TЧ} = \{K_i^{TЧ}\}$, $(i = \overline{1, i^*})$;

– кількістю портів –
 $K^П = \{K_i^П\}$, $(i = \overline{1, i^*})$;

– наявністю модулів *Wi-Fi* та *Bluetooth* –
 $K^{БЗ} = \{K_i^{БЗ}\}$, $(i = \overline{1, i^*})$;

– інтерфейсами під'єднання –
 $K^{ІІ} = \{K_i^{ІІ}\}$, $(i = \overline{1, i^*})$;

– розмірами мікроконтролера (довжина та ширина) – $K^{LW} = \{K_i^L, K_i^W\}$, $(i = \overline{1, i^*})$;

– вартістю – $K^{BAP} = \{K_i^{BAP}\}$, $(i = \overline{1, i^*})$.

Введемо змінну $x_i^K = 1$, якщо обрано i -мікроконтролер, та $x_i^K = 0$ у протилежному разі.

Основні вимоги для вибору мікроконтролера системи екологічного моніторингу:

– мінімальна вартість мікроконтролера для модуля системи екологічного моніторингу

$$K = \sum_{i=1}^{i^*} x_i^K K_i^{BAP} \rightarrow \min ; \quad (1)$$

– мінімальні довжина та ширина мікроконтролера для модуля системи екологічного моніторингу

$$R = \sum_{i=1}^{i^*} x_i^K K_i^L + \sum_{i=1}^{i^*} x_i^K K_i^W \rightarrow \min ; \quad (2)$$

– наявність модулів *Wi-Fi* та *Bluetooth*

$$Z = \sum_{i=1}^{i^*} x_i^K K_i^{B3} = 1. \quad (3)$$

Область допустимих рішень визначається обмеженнями:

– витрати на контролер не мають бути більші, ніж задані $K_{зад}^{BAP}$

$$\sum_{i=1}^{i^*} x_i^K K_i^{BAP} \leq K_{зад}^{BAP} ; \quad (4)$$

– об'єм ОЗП має бути не менший, ніж заданий $K_{зад}^{O3П}$

$$\sum_{i=1}^{i^*} x_i^K K_i^{O3П} \geq K_{зад}^{O3П} ; \quad (5)$$

– тактова частота має бути не менша, ніж задана $K_{зад}^{TЧ}$

$$\sum_{i=1}^{i^*} x_i^K K_i^{TЧ} \geq K_{зад}^{TЧ} ; \quad (6)$$

– кількість портів має бути не менша, ніж задана $K_{зад}^П$

$$\sum_{i=1}^{i^*} x_i^K K_i^П \geq K_{зад}^П ; \quad (7)$$

– розміри мікроконтролера мають бути не більші, ніж задані $K_{зад}^L$ і $K_{зад}^W$

$$\sum_{i=1}^{i^*} x_i^K K_i^L \leq K_{зад}^L ; \quad \sum_{i=1}^{i^*} x_i^K K_i^W \leq K_{зад}^W ; \quad (8)$$

– необхідно обрати тільки один мікроконтролер

$$\sum_{i=1}^{i^*} x_i^K = 1. \quad (9)$$

Розроблена модель (1)–(9) належить до задач дискретного програмування з булевыми змінними.

Для забезпечення якості прийнятих рішень необхідно обрати та обґрунтувати методи їх багатокритеріального оцінювання та оптимізації [7].

Зведення багатокритеріальної задачі до однокритеріальної є найпоширенішим способом її розв'язання [8]. Основою такого підходу є теорія корисності.

Для розв'язання задачі використовується функція корисності часткових критеріїв $R_f(k_f)$, $f = \overline{1, F}$, що є універсальною та відтворює особливості конкретних систем, їх цілей і критеріїв [8–10].

$$R_f(k_f) = \frac{k_f - k_f^{HK}}{k_f^{HK} - k_f^{HT}}, f = \overline{1, F}, \quad (10)$$

де k_f, k_f^{HT}, k_f^{HK} – поточне, найгірше (гранично допустиме) і найкраще значення f -го часткового критерію, що відповідають межах області його зміни (наближеній області компромісів).

Функція корисності часткових критеріїв (10) має такі властивості: має єдиний інтервал змін $[0; 1]$; є безрозмірною; інваріантною до виду екстремуму часткового критерію (*min* і *max*), тобто найкращому значенню відповідає 1, а найгіршому – 0.

Якщо часткові критерії мають різну важливість (значущість), то експерти або особа, що приймає рішення (ОПР), задають безрозмірні коефіцієнти λ_f , для яких виконується умова:

$$\sum_{f=1}^F \lambda_f = 1, \text{ де } \lambda_f \in [0,1] \text{ (} j = \overline{1, F} \text{)}. \quad (11)$$

У цьому разі ОПП покладається на свій досвід прийняття рішень.

Велика група схем компромісу основана на принципі максимальної адитивної корисності часткових критеріїв, тобто на можливості компенсації значень одних часткових критеріїв значеннями інших. Деякі функції корисності часткових критеріїв можуть набувати навіть нульових значень. У цьому разі за відомих значень вагових коефіцієнтів λ_f ($j = \overline{1, F}$), часткових критеріїв та їх функцій корисності $R_f(x)$ оцінювання проектних рішень $x \in X$ і вибір найкращого x^0 проводиться за узагальненим критерієм вигляду [10]:

$$W'(x^0) = \max_{x \in X} \sum_{f=1}^F \lambda_f R_f(x) \quad \left| \quad \sum_{f=1}^F \lambda_f = 1. \quad (12)$$

Метод багатокритеріальної оптимізації має переваги. По-перше, він є більш стійкий, якщо порівнювати з методом аналізу ієрархій. По-друге, метод багатокритеріальної оптимізації є менш трудомісткий, оскільки не вимагає визначення кількісних оцінок шуканих параметрів. По-третє, метод багатокритеріальної оптимізації дає змогу зважати на приховану інформацію [10].

Отже, для розв'язання слабоформалізованих багатокритеріальних задач ефективним є метод багатокритеріальної оптимізації.

Розглянемо приклад вибору мікроконтролера для модуля системи екологічного моніторингу.

Приклад

Мікроконтролер є основним елементом модуля системи екологічного моніторингу, адже до нього мають під'єднуватися всі необхідні датчики екологічного контролю. Крім того, мікроконтролер повинен мати засоби бездротового зв'язку для передачі інформації в режимі онлайн. Нині на ринку запропоновано чимало мікроконтролерів різних виробників, але через війну не всі моделі наявні. Розглянемо як альтернативи мікроконтролери, що є в продажу: *NodeMCU-ESP32*, *Arduino Nano 33 IoT* та *Raspberry Pi Zero W*.

Технічні характеристики альтернатив подано в табл. 1 [11–13].

Таблиця 1 – Технічні характеристики альтернатив

Найменування	NodeMCU-ESP32	Arduino Nano 33 IoT	Raspberry Pi
Серія	Tensilica Xtensa LX6	SAMD21 Cortex-M0	Zero W
ПЗУ	512	32	512
Тактова частота	240	48	1000
Бездротовий зв'язок	Так	Так	Так
Розміри	5,1x2,8	4,5x1,8	6,6x3,2
Ціна	265	1490	900

Розрахунки функцій корисності наведені в табл. 2.

Усі альтернати підтримують *WiFi* та *Bluetooth*, у побудові узагальненого критерію цей критерій не береться до уваги. Проте критерій «Розміри» було розбито на два окремих: довжина та ширина.

Таблиця 2 – Розрахунки функцій корисності

Найменування	NodeMCU-ESP32	Arduino Nano 33 IoT	Raspberry Pi	Ваговий коефіцієнт
ПЗУ	1,00	0,00	1,00	0,3
Тактова частота	0,202	0,00	1,00	0,3
Довжина	0,714	1,00	0,00	0,05
Ширина	0,286	1,00	0,00	0,05
Ціна	1,00	0,00	0,269	0,3
Загальний пріоритет	0,711	0,1	0,676	

За розрахунками обрано *NodeMCU-ESP32 Tensilica Xtensa LX6*, що має максимальне значення загального критерію (12).

Висновки

У роботі запропоновано модель вибору мікроконтролера для модуля системи екологічного моніторингу. Ця модель дає змогу обирати ефективний комутатор за багатьма функціональними та вартісними критеріями та обмеженнями.

Модель вибору мікроконтролера для модуля системи екологічного моніторингу належить до задач багатокритеріального дискретного програмування з булевими змінними.

Метод багатокритеріальної оптимізації дає змогу обирати мікроконтролер для модуля системи екологічного моніторингу способом розрахунку функції корисності.

Наведено приклад застосування розробленої моделі вибору мікроконтролера для модуля системи екологічного моніторингу.

Література

1. Шевченко Р.Ю. Інструментарій моніторингу довкілля м. Києва. Монографія. Київ. 2020. 324 с.
2. Paul P., Aithal P.S., Bhuimali A. et al. Geo information systems and remote sensing: Applications in environmental systems and management // *Int. Journ. Manag. Technol. Soc. Sci.* 2020. 5, N 2. P. 11–18.
3. Zhang M., Jiang L., Zhao J. et al. Coupling OGC WPS and W3C PROV for provenance-aware geoprocessing work ows // *Comput. Geosci.* 2020. 138. P. 104419.
4. Nefedov L, Fil, N. The model of the regional environmental monitoring system organization // 2023 13th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Athens 13 October 2023 до 15 October 2023. P. 1–6.
5. Шарапова С.В. Реформування державної системи моніторингу довкілля в Україні // *Електронне наукове видання «Аналітично-порівняльне правознавство»*. 2023. № 4 С. 246–249 URL: <http://journal-app.uzhnu.edu.ua/article/view/287246/281160> (дата звернення 10.05.2024).
6. Zhang, Jing & Zhang, Jia & Du, Xiangyang & Kang, Hou & Qiao, Minjuan. An overview of ecological monitoring based on geographic information system (GIS) and remote sensing (RS) technology in China. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017. 94.
7. Нікітіна Л.О., Яценко І. Моделі та методи прийняття рішень: навч. посіб. – Харків: НТУ «ХПІ», 2023. – 179 с.
8. Petrov, K.E., Deineko, A.O., Chala, O.V., Panforova, I.Y. The method of alternative ranking for a collective expert estimation procedure. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2020. 2. 84–94.
9. Ovezgeldyev, A.O., Petrov, K.E. Fuzzy-Interval Choice of Alternatives in Collective Expert Evaluation. *Cybernetics and Systems Analysis*, 2016. 52 (2), 269–276.
10. Петров Е.Г., Новожилова М.В., Гребеннік І.В. Методи і засоби прийняття рішень в соціально-економічних системах / за ред. Е.Г. Петрова. К.: Техніка, 2004. 256 с.
11. ESP8266, ESP32. URL: https://arduino.ua/ru/cat122-esp8266?categoryID=122&show_all=yes (дата звернення 14.05.2024).
12. Arduino Nano 33 IoT ABX00032 URL: <https://arduino.ua/ru/prod6292-arduino-nano-33-iot-with-headers> (дата звернення 14.05.2024).
13. Мікрокомп'ютери Raspberry Pi / URL: <https://evo.net.ua/raspberry-pi/> (дата звернення 14.05.2024).

References

1. Shevchenko R.Yu. *Instrumentarij monitoryngu dovkil'lja m. Kyjeva* [Kyiv environmental monitoring toolkit]. Kyiv. 2020. 324 p.
2. Paul P., Aithal P.S., Bhuimali A. et al. Geo information systems and remote sensing: Applications in environmental systems and management // *Int. Journ. Manag. Technol. Soc. Sci.* 2020. 5, N 2. P. 11–18.
3. Zhang M., Jiang L., Zhao J. et al. Coupling OGC WPS and W3C PROV for provenance-aware geoprocessing work ows // *Comput. Geosci.* 2020. 138. P. 104419.
4. Nefedov L, Fil, N. The model of the regional environmental monitoring system organization // 2023 13th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Athens 13 October 2023 до 15 October 2023. P. 1–6.
5. Sharapova S.V. (2023). Reforming the state environmental monitoring system in Ukraine. Electronic scientific publication Analytical and Comparative Jurisprudence № 4. P. 246–249. Retrived from: <http://journal-app.uzhnu.edu.ua/article/view/287246/281160> (accessed 10.05.2024).
6. Zhang, Jing & Zhang, Jia & Du, Xiangyang & Kang, Hou & Qiao, Minjuan. (2017). An overview of ecological monitoring based on geographic information system (GIS) and remote sensing (RS) technology in China. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 94.
7. Nikitina L.O, Jacenko I. *Modeli ta metody pryjnjattja rishen': navchal'nyj posibnyk* [Decision-making models and methods: a study guide]. Kharkiv, HTU «KhPI». 2023 179 p. [in Ukrainian].
8. Petrov, K.E., Deineko, A.O., Chala, O.V., Panforova, I.Y. (2020). The method of alternative ranking for a collective expert estimation procedure. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2, 84–94.
9. Ovezgeldyev, A.O., Petrov, K.E. (2016). Fuzzy-Interval Choice of Alternatives in Collective Expert Evaluation. *Cybernetics and Systems Analysis*, 52 (2), 269–276.
10. Petrov E.G., Novozhilova M.V., Grebennik I.V. *Metody i zasoby pryjnjattja rishen' v social'no-ekonomichnyh systemah* [Methods and means of decision-making in socio-economic systems] / edited by E.G. Petrova. Kyiv: Technika, 2004. 256 p. [in Ukrainian].
11. ESP8266, ESP32. Retrived from: <https://arduino.ua/ru/cat122->

esp8266?categoryID=122&show_all=yes
(accessed: 14.05.2024).

12. Arduino Nano 33 IoT ABX00032. Retrived from: <https://arduino.ua/ru/prod6292-arduino-nano-33-iot-with-headers>. (accessed: 14.05.2024).
13. Microcomputers Raspberry Pi. Retrived from: <https://evo.net.ua/raspberry-pi/> (accessed: 14.05.2024).

Філь Наталія Юрїївна, к.т.н., доц. каф. автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, fnu@khadi.kharkov.ua, тел. +38 068-617-76-94,
Коломієць Іван Олександрович, студент, ma120kio@stud.khadi.kharkov.ua,
Бардаков Валерій Романович, студент, ma120bvr@stud.khadi.kharkov.ua,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

The model of choosing a microcontroller for the environmental monitoring system module

Abstract. Problem. The development and application of modern digital technologies for environmental monitoring is an extremely relevant issue. Such environmental monitoring systems allow for dynamic monitoring of the current state of the studied territories in order to further analyze changes and make decisions on their conservation and development. To improve the environmental situation, it is necessary to constantly improve environmental monitoring systems by creating local environmental monitoring systems operating in real time. **Goal.** The aim of the study is to develop a model for selecting a microcontroller for an environmental monitoring module based on many functional and cost criteria, which will reduce the time of information collection for a regional environmental monitoring system. **Methodology.** To achieve this goal, we analyzed the char-

acteristics of microcontrollers. A model for selecting a microcontroller for an environmental monitoring module has been developed based on many functional and cost criteria. An example of using the microcontroller selection model for the environmental monitoring module is given. The method of multicriteria optimization allows the selection of a microcontroller for the module of the environmental monitoring system by calculating the utility function. **Results.** The paper considers the main tasks of the environmental monitoring system. A mathematical model for selecting a microcontroller for the module of an environmental monitoring system has been developed. It belongs to the class of multicriteria discrete programming models and, unlike the known ones, takes into account the system requirements for the module of the environmental monitoring system as a whole. **Originality.** The developed model allows us to make a microcontroller according to many functional and cost criteria under conditions of fuzzy input information. **Practical value.** The use of the proposed model for selecting a microcontroller for the module of the environmental monitoring system will reduce the time of collecting information for the regional environmental monitoring system.

Keywords: environmental monitoring, microcontroller, criteria, selection, utility function

Fil Nataliia, Ph.D., Assoc. Prof Department of automation and computer-integrated technologies, tel. 38 068-617-76-94, fnu@khadi.kharkov.ua,
Kolomiets Ivan, student, ma120kio@stud.khadi.kharkov.ua,
Bardakov Valerii, student, ma120bvr@stud.khadi.kharkov.ua,

Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.