

ЗАСТОСУВАННЯ МОДУЛЬНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ В РАДІОЕЛЕКТРОННОМУ ПРИБАДОБУДУВАННІ

Б.В. Івченко, О.А. Коваленко

Харківський національний університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

E-mail: bohdan.ivchenko@nure.ua, oleg.kovalenko@nure.ua

Анотація: У статті розглянуто технічні та функціональні особливості модульних систем управління, що використовуються у радіоелектронному приладобудуванні. Проаналізовано переваги модульного підходу для створення гнучких, масштабованих та адаптивних систем управління сучасними приладами. Розглянуто питання взаємодії між модулями, їх сумісності, стандартизації інтерфейсів, а також інтеграції з інформаційними системами в рамках концепції Індустрії 4.0.

Ключові слова: модульна система управління, радіоелектронне приладобудування, адаптивне управління, масштабованість, гнучкість.

APPLICATION OF MODULAR CONTROL SYSTEMS IN RADIOELECTRONIC INSTRUMENT ENGINEERING

B. Ivchenko, O. Kovalenko

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky ave., 14

E-mail: bohdan.ivchenko@nure.ua, oleg.kovalenko@nure.ua

Annotation: The article examines the technical and functional features of modular control systems used in radioelectronic instrument engineering. The advantages of the modular approach for building flexible, scalable, and adaptive control systems for modern devices are analyzed. Issues of interaction between modules, their compatibility, interface standardization, and integration with information systems within the Industry 4.0 framework are also considered.

Key words: modular control system, radioelectronic instrument engineering, adaptive control, scalability, flexibility.

Сучасне радіоелектронне приладобудування характеризується стрімким розвитком систем автоматизованого управління, який обумовлений необхідністю підвищення продуктивності, надійності та адаптивності технологічних процесів. В умовах постійно зростаючих вимог до точності, швидкодії, енергетичної ефективності та масштабованості одним із провідних напрямів є використання модульних систем управління, які дають змогу створювати гнучкі та масштабовані інженерні рішення, що відповідають вимогам цифровізації виробництва та концепції Індустрії 4.0.

Модульні системи управління представляють собою гнучку архітектуру, яка складається з незалежних функціональних блоків (модулів). Кожен модуль може розроблятися, тестуватися та модифікуватися окремо, забезпечуючи легкість заміни або оновлення без необхідності переробки всієї системи. Такий підхід дозволяє значно скоротити терміни розробки та технічного супроводу систем, знизити витрати на інтеграцію, а також забезпечити високий рівень уніфікації рішень. У радіоелектронному приладобудуванні це особливо актуально, оскільки продукція часто вимагає гнучкого налаштування під специфічні вимоги замовника або адаптації під нові технологічні стандарти.

Ключовою перевагою модульних систем є їх масштабованість. Наприклад, у випадку розширення функціоналу приладу або зміни технічного завдання, достатньо додати нові функціональні модулі, які безпосередньо інтегруються у вже наявну систему. Це дозволяє швидко адаптуватися до нових умов експлуатації або оновлення нормативної бази без суттєвої реконструкції всієї архітектури системи управління. Масштабованість також проявляється у можливості побудови систем різної складності: від простих приладів до багатофункціональних комплексів.

Масштабована архітектура модульних систем спрощує процес модернізації обладнання, що особливо актуально в умовах швидкого технологічного прогресу. Під час інтеграції нових модулів користувач може обрати оптимальний рівень оновлення – від додавання одного вузла до повної реконфігурації функціонального ядра системи. Таке рішення дозволяє уникнути простоїв обладнання та значного зниження продуктивності під час модернізаційних робіт.

Крім того, модульна масштабованість є важливою в контексті проєктування систем для перспективного застосування. Прилади, спроектовані із закладеною модульною структурою, мають здатність до подальшого розвитку, що забезпечує тривалий життєвий цикл продукту. Це відповідає принципам сталого розвитку, оскільки зменшується потреба у повній заміні систем і, відповідно, знижуються витрати на матеріали та утилізацію електроніки. Такий підхід дозволяє підтримувати актуальність функціоналу обладнання в умовах динамічного розвитку галузевих стандартів, вимог до енергоефективності, безпеки та кіберстійкості.

Однією з найважливіших технічних умов ефективної реалізації модульного підходу є забезпечення сумісності між модулями, що включає не лише електричну і логічну сумісність, а й стандартизацію програмних інтерфейсів, протоколів зв'язку та систем діагностики. Сучасні підходи до стандартизації активно застосовуються у розробці модульних систем управління. Забезпечення взаємодії між модулями дозволяє створювати гетерогенні системи, які легко адаптуються до різноманітних типів обладнання та технологічних процесів.

Особливу увагу в контексті модульності слід приділяти питанням діагностики, тестування та надійності. Завдяки розділенню функцій між модулями, полегшується локалізація несправностей і відбувається прискорене технічне обслуговування. У практиці приладобудування часто використовуються методи автоматичної самодіагностики, коли кожен модуль контролює власні параметри та стан, передаючи інформацію в центральний вузол або систему моніторингу. Такий підхід значно підвищує загальну надійність і ремонтпридатність комплексної системи.

Прикладами ефективного застосування модульних систем у радіоелектронному приладобудуванні можуть слугувати автоматизовані вимірювальні стенди, лабораторні установки для дослідження електромагнітної сумісності, системи управління випробувальним обладнанням тощо. Наприклад, у складі вимірювального комплексу можуть бути модулі збору аналогових сигналів, перетворення в цифрову форму, аналізу спектру, управління генераторами сигналів і реєстрації результатів - усі вони взаємодіють через єдиний інтерфейс управління, що забезпечує швидке налаштування під будь-яке випробування.

Ще одним важливим аспектом є програмне забезпечення модульних систем. Сучасні розробки орієнтуються на відкриту архітектуру, багатоплатформеність і підтримку стандартів промислового програмування. Зокрема, активно застосовуються середовища на основі SCADA, LabVIEW, MATLAB/Simulink тощо, що дозволяють створювати візуалізовані інтерфейси управління, автоматизувати процеси збору даних та реалізувати складні алгоритми оптимізації. У галузі робототехніки модульні підходи дають змогу швидко адаптувати системи управління для мобільних роботів, безпілотних платформ або маніпуляторів з великою кількістю ступенів свободи.

В технічному аспекті важливою характеристикою модульних систем є можливість децентралізації управління. Замість одного центрального контролера кожен модуль може мати локальний процесор, здатний обробляти сигнали та приймати рішення незалежно. Така архітектура підвищує стійкість до збоїв, знижує навантаження на мережеву інфраструктуру і дозволяє реалізовувати принципи розподіленого інтелекту. Це особливо актуально для систем, що працюють у режимі реального часу, де критичною є мінімізація затримок при обробці даних і прийнятті рішень. Завдяки локальній обробці інформації в межах кожного модуля, забезпечується висока швидкодія та надійність системи в цілому. У разі відмови одного з модулів загальна працездатність системи не порушується, оскільки інші компоненти можуть продовжувати функціонувати автономно або перебрати на себе частину задач.

Децентралізована архітектура сприяє масштабуванню та модернізації без необхідності повної перебудови системи. Нові функціональні блоки можна інтегрувати без істотного впливу на вже діючі елементи, зберігаючи загальну узгодженість роботи. Це відповідає сучасним тенденціям у розробці інтелектуальних виробничих систем у межах концепцій Індустрії 4.0 та 5.0, де автономність, гнучкість і відмовостійкість виступають базовими вимогами до інженерних рішень.

Інтеграція модульних систем управління в концепцію Індустрії 4.0 передбачає їх поєднання цифровими технологіями, зокрема з інформаційними системами (MES, ERP), платформами хмарних обчислень, засобами інтернету речей, технологіями машинного навчання та штучного інтелекту. Така взаємодія спрямована на забезпечення наскрізної цифрової трансформації виробничих процесів: від рівня окремих пристроїв до рівня підприємства.

Завдяки такому підходу реалізуються ключові функції інтелектуального виробництва: самоналаштування, самодіагностика, віддалений моніторинг, а також прогнозно-орієнтоване технічне обслуговування. Наприклад, при виявленні нестабільної роботи окремого вузла система здатна автоматично зменшити його навантаження, змінити маршрутизацію потоків або сформувати сервісне повідомлення з рекомендацією для технічного персоналу. Це дозволяє мінімізувати простої, запобігати відмовам та забезпечувати високу ефективність експлуатації обладнання навіть за умов високої динаміки змін у виробничому процесі.

Крім того, об'єднання модулів у цифрову екосистему відкриває можливості для впровадження технологій штучного інтелекту, які можуть аналізувати великі обсяги даних для оптимізації технологічних параметрів, прогнозування відмов або покращення якості продукції. Це сприяє створенню високодинамічних, гнучких і сталих виробничих середовищ, де управління є не лише автоматизованим, а й розумним, із мінімальною участю людини в рутинних операціях.

Сучасні тенденції розвитку радіоелектронного приладобудування вимагають дотримання принципів сталого розвитку, які включають зменшення споживання енергії, ресурсоефективність, мінімізацію шкідливого впливу на довкілля та підвищення безпеки експлуатації обладнання. Модульні системи управління відповідають цим вимогам завдяки можливості енергозберігаючої конфігурації окремих модулів, використання екологічно безпечних матеріалів, а також швидкій заміні або модернізації без потреби утилізації всього обладнання.

Таким чином, модульні системи управління відіграють важливу роль у підвищенні ефективності, надійності та адаптивності радіоелектронних приладів. Їх застосування дозволяє скоротити терміни розробки, забезпечити підтримку концепцій цифрового виробництва, реалізувати гнучке масштабування та відповідність принципам сталого розвитку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Control Systems Engineering /I.J Nagrath, M. Gopal. - New Academic Science, 2020. – 912 p.

2. Automatic Control Systems. 11th Edition / F.Golnaraghi, B.Kuo. – McGraw-Hill Education, 2019. – 864 p.

3. Невлюдов, І.Ш. Автоматичне управління технологічними об'єктами [Текст]: підручник / І.Ш. Невлюдов, О.В.Токарєва. – Харків: ХНУРЕ, 2018.–190 с.

4. Chala, O., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Abu-Jassar, A. (2025). MATHEMATICAL MODEL BASED ON MULTI-AGENT REINFORCEMENT LEARNING (MARL) AND PARTIALLY OBSERVABLE MARKOV DECISION PROCESS (POMDP) FOR MODELING CARGO MOVEMENT FOR A MOBILE ROBOTS GROUP. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 5(4), 480-489.

5. Attar, H., Abu-Jassar, A. T., Yevsieiev, V., Lyashenko, V., Nevliudov, I., & Luhach, A. K. (2022). Zoomorphic mobile robot development for vertical movement based on the geometrical family caterpillar. *Computational intelligence and neuroscience*, 2022(1), 3046116.

6. Attar, H., Abu-Jassar, A. T., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Khosravi, M. R. (2022). Control system development and implementation of a CNC laser engraver for environmental use with remote imaging. *Computational intelligence and neuroscience*, 2022(1), 9140156.

7. Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Yevsieiev, V., Amer, A., Demska, N., Luhach, A. K., & Lyashenko, V. (2022). Electronic user authentication key for access to HMI/SCADA via unsecured internet networks. *Computational intelligence and neuroscience*, 2022(1), 5866922.

8. Chala, O., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Abu-Jassar, A. (2025). USING THE HUMAN FACE RECOGNITION METHOD BASED ON THE MOBILENETV2 NEURAL NETWORK IN AUTHENTICATION SYSTEMS. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 5(3), 882-895.

9. Невлюдов, І. Ш., Євсєєв, В. В., & Гурін, Д. В. (2025). MODEL DEVELOPMENT OF DYNAMIC REPRESENTATION A MODEL DESCRIPTION PARAMETERS FOR THE ENVIRONMENT OF A COLLABORATIVE ROBOT MANIPULATOR WITHIN THE INDUSTRY 5.0 FRAMEWORK. *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць*, 1(79), 42-48.

10. Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2025). Development and Investigation of Vision System for a Small-Sized Mobile Humanoid Robot in a Smart Environment. *International Journal of Crowd Science*, 9(1), 29-43.

11. Yevsieiev, V., Maksymova, S., Alkhalailah, A., & Gurin, D. (2025). Development of a program for processing 3d models of objects in a collaborative robot workspace using an HD camera. *ACUMEN: International journal of multidisciplinary research*, 2(1), 194-210.

12. Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., Maksymova, S., & Demska, N. (2025). Development of a model for recognizing various objects and tools in a collaborative robot workspace. *ACUMEN: International journal of multidisciplinary research*, 2(1), 224-239.

13. Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., & Maksymova, S. (2024). Calculation of the Distance to Objects in Collaborative Robots Workspace Using Computer Vision. *Journal of universal science research*, 2(11), 240-255.

14. Yevsieiev, V. V., & Bronnikov, A. I. (2020). Development of databases interconnection “essences” information model for cyber-physical production systems additive cyber design creation automation. *Збірник Наукових Праць НУК*, №3. С.56-62. DOI [https://doi.org/10.15589/znp2020.3\(481\).7](https://doi.org/10.15589/znp2020.3(481).7)

Науковий керівник: Овчаренко Віталій Євгенович, проф., д.т.н., професор кафедри КІТАР Харківського національного університету радіоелектроніки.