

**ОСОБЛИВОСТІ АГЕНТНО-ОРІЄНТОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ СУЧАСНИМИ
ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ****Д.О. Коротаєв, І.О. Андриухін**

Харківський національний університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

E-mail: denys.korotaiev@nure.ua, illia.andriukhin@nure.ua

Анотація: У статті розглянуто особливості агентно-орієнтованих систем управління в умовах цифровізації промисловості та переходу до концепції Індустрія 4.0. Визначено переваги використання агентного підходу для управління складними технологічними об'єктами, зокрема адаптивність, масштабованість, децентралізація та здатність до самостійного прийняття рішень.

Ключові слова: агентно-орієнтовані системи, технологічний об'єкт, багатоагентні системи, управління, автономні системи, сталий розвиток.

**FEATURES OF AGENT-ORIENTED CONTROL SYSTEMS FOR MODERN
TECHNOLOGICAL OBJECTS****D. Korotaiev, I. Andriukhin**

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky ave., 14

E-mail: denys.korotaiev@nure.ua, illia.andriukhin@nure.ua

Annotation: The article explores the features of agent-oriented control systems in the context of industrial digitalization and the transition to the Industry 4.0 concept. The advantages of using the agent-based approach for controlling complex technological objects are identified, including adaptability, scalability, decentralization, and autonomous decision-making capability.

Key words: agent-oriented systems, technological object, multi-agent systems, control, autonomous systems, sustainable development.

В умовах стрімкого розвитку цифрових технологій, концепція Індустрії 4.0 змінює традиційний підхід до проектування систем управління складними технічними та виробничими об'єктами. Сьогодні більшої актуальності набувають агентно-орієнтовані системи управління, які забезпечують високий рівень автономності, адаптивності та гнучкості у керуванні розподіленими технологічними процесами. Особливо важливим стає це для об'єктів з динамічно змінними параметрами та розподіленою структурою, наприклад, у системах автоматизованого виробництва, інтелектуальної робототехніки, гнучких виробничих ліній.

Агентно-орієнтовані системи управління базуються на концепції багатоагентних систем, де кожен агент виступає як самостійний функціональний блок, здатний до сприйняття навколишнього середовища, прийняття рішень, обміну інформацією з іншими агентами та адаптації до змін. Агент може бути реалізований у вигляді програмного або апаратно-програмного модуля з визначеною логікою поведінки, що дозволяє масштабувати систему за кількістю агентів без зміни її базової архітектури. Кожен агент виконує певну роль, наприклад, управління окремим елементом технологічного процесу, контроль стану обладнання або прийняття рішень на основі локальної або глобальної інформації.

Особливістю таких систем є розподілений характер обробки даних та прийняття рішень: замість централізованого управління процесом, кожен агент функціонує автономно,

взаємодіючи з іншими через стандартизовані інтерфейси та протоколи комунікації. Це дозволяє реалізувати систему, яка здатна ефективно функціонувати навіть при відмові окремих елементів, оскільки інші агенти можуть перебрати функції пошкодженого модуля або перебудувати алгоритм взаємодії. Такий підхід значно підвищує живучість та надійність системи в умовах реального виробництва, де відмови, коливання параметрів та зміна конфігурації є звичним явищем. На відміну від централізованих систем, де збої в центральному контролері можуть призвести до виходу з ладу всієї системи, агентна архітектура демонструє стійкість до збоїв і здатність до самовідновлення.

В радіоелектронному приладобудуванні або робототехніці, агенти можуть відповідати за різні підсистеми: сенсорний контроль, керування приводами, логіку взаємодії з користувачем або оптимізацію маршрутів обробки. Наприклад, у виробничій лінії з високим ступенем автоматизації окремі агенти можуть бути відповідальними за контроль температурного режиму паяння, обробку візуальних даних з камер або координацію роботизованих маніпуляторів. Завдяки гнучкості та автономності таких елементів, система легко адаптується до нових виробничих задач без необхідності глибокої модернізації загальної інфраструктури.

Крім того, агентна модель сприяє реалізації принципів гнучкого виробництва, що є однією з ключових вимог сучасної Індустрії 4.0. Гнучкість забезпечується завдяки здатності кожного агента адаптувати свою поведінку до змін у зовнішньому середовищі або у виробничому завданні, не порушуючи функціонування всієї системи. Це дозволяє швидко реагувати на зміну конфігурації устаткування, варіативність сировини або необхідність переналаштування параметрів процесу без тривалих простоїв.

Наприклад, при зміні технологічного завдання або переході на інший тип продукції, агенти можуть оперативно переналаштовувати власну логіку без втручання у глобальну структуру управління. Завдяки локалізації функціоналу і наявності власних механізмів прийняття рішень, кожен агент здатен адаптуватися до нових умов роботи або нової ролі в системі. Це суттєво скорочує час адаптації виробництва, підвищує рівень автоматизації та знижує витрати на переналаштування.

Такий підхід є особливо ефективним для підприємств, які працюють у режимі малосерійного або індивідуального виробництва, де часто змінюється асортимент продукції, а гнучкість та адаптивність систем управління є критично важливими для збереження конкурентоспроможності. У таких умовах агентно-орієнтовані системи не лише забезпечують ефективне управління технічними процесами, а й створюють передумови для впровадження самонавчальних інтелектуальних систем, що оптимізують виробничі цикли на основі зібраних даних та аналітики.

Особливу увагу в сучасних дослідженнях агентно-орієнтованих систем управління приділено питанням взаємодії між агентами. У складних мультиагентних системах важливо забезпечити ефективний механізм комунікації та координації дій. Для цього використовуються як централізовані координатори, так і розподілені протоколи узгодження, наприклад, методи голосування, флокінгу, імітаційного навчання або алгоритми досягнення консенсусу. Це дозволяє досягати цілей не лише окремими агентами, а й усією системою в цілому.

З технічної точки зору агент може включати блоки сенсорної обробки, прийняття рішень, планування дій, виконавчий механізм та інтерфейс комунікації. Сенсорна обробка забезпечує агенту здатність сприймати інформацію з навколишнього середовища або від суміжних систем, що дозволяє оперативно реагувати на зміни зовнішніх умов. Блок прийняття рішень реалізує логіку вибору дій на основі вхідних даних, поточного стану та внутрішньої мети агента, а планувальник формує послідовність дій для досягнення поставленої задачі в оптимальний спосіб. Виконавчий механізм відповідає за фізичну реалізацію рішень,

наприклад, управління приводами або генерацію команд. Комунікаційний інтерфейс забезпечує передачу інформації між агентами або з глобальною мережею, що дозволяє підтримувати синхронізацію та обмін знаннями. Наприклад, у системі автономної мобільної робототехніки один агент може відповідати за навігацію, включаючи побудову карти та орієнтацію в просторі за допомогою сенсорів, GPS або візуальної одометрії; інший агент - за уникнення перешкод у реальному часі, використовуючи алгоритми розпізнавання об'єктів і передбачення траєкторії; третій - за логістичну оптимізацію маршруту на основі глобальної інформації про завантаження зон, пріоритети доставок, стан енергоживлення тощо.

Взаємодія таких агентів дозволяє реалізувати комплексну поведінку без потреби централізованого контролю, що підвищує надійність системи в цілому. Більше того, така модульна й децентралізована архітектура значно полегшує обслуговування та модернізацію: заміна або оновлення одного агента не потребує втручання у загальну структуру системи. У результаті створюється система, здатна до адаптації, самодіагностики та динамічної конфігурації, що повністю відповідає вимогам до сучасних промислових автономних об'єктів.

У приладобудуванні агентний підхід застосовується, зокрема, при проектуванні комплексів автоматизованого тестування, моніторингу та калібрування радіоелектронних виробів. Тут агенти можуть відповідати за окремі функціональні блоки: зчитування показників, аналіз відхилень, формування керуючих дій, тощо. Така структура дозволяє легко адаптувати систему до нових вимог без суттєвої реконфігурації апаратного забезпечення.

Застосування агентних систем тісно пов'язане із впровадженням кіберфізичних систем, які є ядром Індустрії 4.0. Кіберфізичні систем поєднують в собі фізичні об'єкти (виробниче обладнання, робототехнічні комплекси) з вбудованими обчислювальними модулями, мережевими інтерфейсами та механізмами зворотного зв'язку. Агент у такій системі виступає в ролі інтелектуального вузла, який виконує одночасно функції контролю, аналізу та оптимізації процесів.

Інтеграція таких систем управління з інформаційними системами вищого рівня, зокрема MES, ERP та SCADA, дозволяє реалізовувати наскрізне управління: від цільових показників підприємства до конкретних дій виконавчих механізмів. Така інтеграція вимагає уніфікованих інтерфейсів та стандартизованих протоколів обміну даними. Прикладами впровадження агентно-орієнтованих систем управління можна вважати робототехнічні платформи типу ROS, в яких реалізовано розподілене середовище агентів, кожен з яких виконує специфічну задачу. У промисловості — це системи гнучкого виробництва, де виробничі одиниці можуть самостійно визначати послідовність обробки на основі параметрів замовлення та доступності ресурсів.

Важливо також відзначити роль агентних систем у досягненні цілей сталого розвитку. Наприклад, завдяки здатності до адаптивного планування та оптимального розподілу ресурсів, агентно-орієнтовані системи управління можуть забезпечити зменшення енергоспоживання, зниження втрат матеріалів та підвищення ефективності утилізації. Це має суттєве значення для підприємств, орієнтованих на ресурсозберігаючі технології.

Побудова агентних систем управління пов'язана з питаннями безпеки, масштабування та синхронізації. Для забезпечення кібербезпеки агентів необхідно впроваджувати механізми автентифікації, шифрування та моніторингу поведінки, для масштабування потрібні ефективні алгоритми динамічного балансування навантаження та управління конфліктами між агентами.

Таким чином, агентно-орієнтовані системи управління є перспективними у контексті побудови інтелектуального, адаптивного та сталого виробництва. Завдяки здатності до самостійного прийняття рішень, гнучкого реагування на зміни, масштабованості та сумісності з іншими цифровими технологіями, агентні системи стають невід'ємним елементом сучасної кіберфізичної інфраструктури.

ЛІТЕРАТУРА

1. Rehberger, S., Spreiter, L., Vogel-Heuser, B.: An agent-based approach for dependable planning of production sequences in automated production systems. *At-Automatisierungstechnik* 65(11), 766–778 (2017). DOI 10.1515/auto-2017-0040.
2. Kovalenko, I., Balta, E.C., Tilbury, D., Barton, K.: Direct, Cooperative Product Agents to Improve Manufacturing System Flexibility: A Model-Based Decision Framework, January 2022 *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering* PP(99):1-18 DOI:10.1109/TASE.2022.3156384.
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., Alkhalaileh, 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.

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