
DOI: <https://doi.org/10.15407/kvt215.01.067>

CC BY-NC

ШЕПЕТУХА Ю.М., канд. техн. наук, старш. наук. співроб.,
провідн. наук. співроб. відд. інтелектуального управління
<https://orcid.org/0000-0002-6256-5248>, e-mail: yshep@meta.ua

СЕМЕНОГ Р.В., аспірант,
заст. зав. наук.-досл. лаб. безпілотних комплексів і систем,
<https://orcid.org/0000-0002-6714-0644>, e-mail: ruslansemenog20@icloud.com

Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій
та систем НАН України та МОН України,
просп. Акад. Глушкова, 40, Київ, 03187, Україна

МЕТОД ПОСЛІДОВНОЇ СТРУКТУРИЗАЦІЇ ДЛЯ ПОБУДОВИ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО КЕРУВАННЯ ДИНАМІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ

***Вступ.** Зростання ролі інформаційних технологій робить їх важливою частиною сучасних систем керування об'єктами та сприяє підвищенню їх ефективності, безпеки та здатності адаптуватися до змін. Зараз з'являється новий різновид інформаційних систем, які використовують передові технології для автоматизації та оптимізації процесів керування, зокрема штучний інтелект та інші — Інтелектуальні системи керування (ІСК).*

Наступним кроком у цьому напрямку стають комплексні системи, які дають змогу динамічним об'єктам здійснювати незалежне від зовнішнього втручання керування — системи автономного керування (САК). САК використовують різноманітні сенсори, алгоритми оброблення даних та прийняття рішень і широко застосовуються в автомобільній промисловості (наприклад, автомобілі з автопілотом), у безпілотних літальних апаратах (дронах), та багатьох інших галузях, де необхідне незалежне та ефективне керування об'єктами.

***Мета статті.** Дослідити сучасні концепції побудови автономних систем керування динамічними об'єктами та описати методи інтелектуалізації таких систем.*

***Методи.** Використані такі концептуальні, теоретичні та методологічні інструменти: концепції інтелектуалізації інформаційних технологій, теорія інтелектуального керування, методологія побудови автономних систем на основі образного сприйняття інформації, теорія прийняття рішень.*

***Результати.** Досліджено сучасний підхід до побудови систем автономного керування динамічними об'єктами, що базується на послідовній структуризації. Висвітлено методи створення систем спрямованих на оптимізацію автоматичного керування динамічними об'єктами.*

***Висновки.** Перспективним напрямком досліджень є розроблення нового покоління інтелектуальних інформаційних технологій, що використовують механізми оброблення інформації, які базуються на методі послідовної структуризації при побудові систем автоматичного керування.*

© ВД «Академперіодика» НАН України, 2024

ISSN 2663-2586 (Online), ISSN 2663-2578 (Print). *Cyb. and Comp. Eng.* 2024. № 1 (215)

67

Концепції побудови систем автоматичного керування мають забезпечувати застосування методів змістовного оброблення даних та використовувати компоненти синергетичної взаємодії людино-машинних систем керування. Застосування методології послідовного структурування мало формалізованих компонентів інтелектуальних задач у системах образного керування дає змогу досягти деякої уніфікації у вирішенні певного класу задач інтелектуального керування.

Подальший напрямок досліджень полягає в розробленні нового покоління інформаційних технологій та відповідного інструментарію автоматичного керування, що застосовуватимуть методи змістовного оброблення даних, зокрема, метод послідовної структурування для інтелектуалізації систем автоматичного керування.

Ключові слова: інтелектуальна інформаційна технологія, штучний інтелект, інтелектуальне керування, динамічний об'єкт, образне мислення, автономність.

ВСТУП

В наш час інформаційні технології застосовуються в різних сферах життя суспільства, а задачі, що їх вирішують з використанням інформаційних систем, дедалі ускладнюються. З багатьох різних причин інформаційні технології сьогодні відіграють ключову роль у системах керування. Вони дозволяють збирати дані з різних джерел і зберігати їх у структурованому форматі, що надає можливість системі керування отримувати актуальну інформацію про стан об'єктів у реальному часі. Неможливо уявити моніторинг та аналітику без застосування інформаційних технологій. Їх використання дає змогу системам керування відстежувати та аналізувати дані, передбачати проблеми, а також допомагають приймати рішення на основі отриманих даних.

Застосування інформаційних технологій уможливорює автоматизацію процесів керування об'єктами, забезпечує ефективну комунікацію між внутрішніми підсистемами та з іншими системами і користувачами. Розвиток інформаційних технологій впливає на рівень захисту даних та критичних систем від несанкціонованого доступу та кібератак.

Таким чином, зростання ролі інформаційних технологій робить їх важливою частиною сучасних систем керування об'єктами та сприяє підвищенню їх ефективності, безпеки та здатності адаптуватися до змін. Зараз з'являється новий різновид інформаційних систем, які використовують передові технології для автоматизації процесів керування, зокрема штучний інтелект та інші. Інтелектуальні системи керування (ІСК) загалом характеризуються здатністю аналізувати великі обсяги даних для виявлення закономірностей та трендів, вдосконалювати процеси керування та автоматизувати рутинні і повторювані завдання, а також, застосовувати алгоритми машинного навчання та інші методи для прийняття рішень у реальному часі.

ІСК, у деякому розумінні, можуть прогнозувати майбутні стани та події на основі аналізу отриманих даних, а також адаптуватися до змін у середовищі. В окремих випадках можна говорити, що подібні системи можуть навчатися з досвіду та вдосконалювати свої алгоритми на ходу, що дає їм змогу ставати ефективнішими з часом. Інтелектуальні системи керування стають невід'ємним технологічним рішенням в різних галузях, включно з виробництвом, транспортом, охороною здоров'я, фінансами та багатьма іншими та довели свою спроможність і ефективність.

Окремим напрямком розвитку інтелектуального керування стають комплекси, які дають змогу динамічним об'єктам здійснювати незалежне від зовнішнього втручання керування — системи автономного керування (САК). САК використовують різноманітні сенсори, алгоритми оброблення даних та прийняття рішень і все більше використовуються в автомобільній промисловості (наприклад, автомобілі з автопілотом), у безпілотних літальних апаратах (дронах), в промислових роботах, в роботах на складах та багатьох інших галузях, де необхідне незалежне та ефективне керування об'єктами.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Автономне та неавтономне керування являють дві відмінні концепції керування, де саме автономна система може приймати рішення та діяти самостійно без прямого втручання людини. Оператор може встановлювати загальні цілі або параметри, але сам процес керування відбувається автономно. Система сама приймає рішення на основі зібраної інформації та внутрішніх алгоритмів, може адаптуватися до змін в середовищі чи обставині та виконувати завдання без зовнішнього керівництва.

Цей тип керування застосовується там, де є потреба у значній автономності та швидкодії, а вимоги до контролю, вміння вирішувати складні проблеми або дотримання правил та вказівок менш жорсткі і не потребують постійного залучення людини до контуру керування. Подібна система може виконувати певні завдання без втручання людини, але може також потребувати підтримки чи нагляду у складних або непередбачуваних ситуаціях.

Таким чином, автономне керування виходить з того, що система або пристрій може функціонувати незалежно від зовнішнього керівництва, і її дії не контролює, або обмежено контролює та керує ними людина.

САК можна використовувати для керування динамічними об'єктами, які характеризуються змінним станом в часі. Зокрема, це може охоплювати керування рухом транспортних засобів, безпілотних літальних апаратів, тощо. Керування динамічними об'єктами потребує застосування різних методів та технологій залежно від конкретної задачі та контексту.

Хоча автономне керування має безліч переваг, воно також має свої недоліки. Так, при розробленні автономної системи виникає складність реалізації, пов'язана з складними вибором та інтеграцією потрібних технологій, розробленням відповідних алгоритмів та тестування.

Може бути складною формалізація завдань для автономного керування, особливо, коли вони охоплюють велику кількість непередбачуваних факторів або нечіткі умови. Моделі систем, які використовуються для автономного керування, часто мають обмеження точності або враховують лише обмежені аспекти реальності, що може призвести до неточностей у прогнозуванні та прийнятті рішень. Ефективне автономне керування може вимагати використання складних алгоритмів та методів штучного інтелекту, що може ускладнити розроблення та реалізацію системи. Також у при побудові автономних системи існує ризик непередбачуваних наслідків, оскільки такі системи можуть реагувати на внутрішні та зовнішні збурення способами, не передбаченими розробниками.

Важливо, що зі зростанням складності системи, збільшується складність керування та координації її складників, що може спричинити складнощі розроблення та підтримання системи. Тому для забезпечення ефективності та розширюваності автономних систем необхідно використовувати методи, що дають змогу структурувати компоненти та забезпечити модульність цих систем.

При побудові системи автономного керування слід пам'ятати, що застосовані підходи мають забезпечувати використання отриманої інформації для планування оптимального маршруту, уникнення перешкод, визначення правильних дій та прийняття рішень у реальному часі. Забезпечувати ефективне керування виконавчими механізмами та постійно моніторити стан системи, запобігаючи аварійним ситуаціям та підтримуючи безпечну експлуатацію.

Серед іншого для усунення наведених недоліків систем керування можливо використати саму інтелектуалізацію процесу побудови систем керування на основі методів формалізації компонентів. Їх застосування для систем керування допомагає створити чітку структуру і забезпечує зрозумілість та ефективність керування.

Різні компоненти систем керування можуть отримати свої формалізовані описи для вихідної та вхідної інформації. Як то: для вихідної збір інформації сенсорами з навколишнього середовища, оброблення вхідної інформації PID-регуляторами, алгоритмами керування, штучними нейронними мережами, а для вхідної інформації — формалізація дій, виконавчих механізмів, як то формалізація отримання зворотного зв'язку про результати виконаних дій для корекції та вдосконалення стратегій керування, або формалізація інтерфейсів користувача, які забезпечують зручний спосіб взаємодії з системою для налаштування параметрів та моніторингу стану тощо. Метою формалізації компонентів є допомога в створенні ясної архітектури системи керування.

Процеси інтелектуального керування вимагають складніших моделей і зазвичай містять більше етапів, які охоплюють аналіз поточної ситуації, визначення потреби у додатковій інформації щодо зовнішнього середовища, отримання цієї інформації за допомогою сенсорів, планування та оцінювання альтернативних варіантів, прийняття рішення, корегування дій та аналіз результатів. Дефіцит часу, неповнота інформації та невизначеність вимагають швидкої та ефективної адаптації до динаміки зовнішнього середовища та обмежень системи.

Серед концепцій побудови систем керування важливим, але недостатньо дослідженим етапом інтелектуалізації вирішування реальних задач побудови, є етап формалізації, який складається з отримання, кодифікації та усвідомлення експертних знань. Сама наявність експертних знань є недостатньою умовою для ефективного функціонування системи, якщо інформація, як вхідна так і вихідна, буде неформалізованою або недостатньо формалізованою.

Задачі цього етапу не мають рішення без достатнього рівня формалізації структури, тому потрібно знайти підхожий для побудови систем автономного керування динамічними об'єктами метод інтелектуалізації, здатний забезпечити кодифікацію експертних знань.

Забезпечення якісного виконання етапу формалізації роботи надасть можливість образного подання знань та збереження суттєвих інформаційних компонентів відповідних образів, що дасть змогу використовувати отримані знання при вирішенні аналогічних задач.

Мета статті — дослідити сучасні концепції побудови систем керування динамічними об'єктами та описати методи інтелектуалізації таких систем.

ОГЛЯД СУЧАСНИХ КОНЦЕПЦІЙ ПОБУДОВИ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

У традиційних системах можна чітко відокремити об'єкти керування та технічні засоби, за допомогою яких це керування здійснюється [1]. Але для інтелектуального керування часто непросто повністю відокремити об'єкти від засобів виконання процесу інтелектуального керування. Під час цього процесу зазвичай відбувається складноорганізована інформаційна взаємодія з об'єктом. У деяких випадках навіть частково модифікуються характерні риси такого об'єкта. Системи інтелектуального керування повинні успішно виконувати свої функції навіть у високодинамічному зовнішньому середовищі. У цьому сенсі важливою є здатність до автономного функціонування. Високий ступінь автономності при реагуванні на зміни у зовнішньому середовищі є необхідною умовою інтелектуальності [1].

Застосування штучного інтелекту в системах керування рухомими об'єктами дає змогу вирішити низку задач, які є складовими зазначеної проблеми. Ці задачі, серед інших, охоплюють: змістовний аналіз наявних даних — зокрема, виявлення та ідентифікацію різних типів об'єктів; вироблення належної стратегії та тактики взаємодії з людиною (оператором, диспетчером та ін.); формування підходів до організації групової поведінки (моделювання дій рою та ін.); автономну навігацію, включно з попередженням зіткнень із рухомими та нерухомими перешкодами. Так, у роботі [2] розглянутий сучасний стан таких галузей інтелектуалізації, як аналіз даних та видобування знань. Безперервне розширення доступності даних у сучасних великомасштабних, складних та з'єднаних у мережу системах створюють можливості для побудови інтелектуальних комплексів з ефективним використанням великих обсягів необроблених даних. Саме такі комплекси здатні ефективно підтримувати інтелектуальні дії людини та повинні призвести до розуміння фундаментальних механізмів аналізу даних та видобування знань. У публікації [3] автор вказує на взаємозв'язок відомої концепції «обчислювального мислення» та нової концепції «мислення на основі штучного інтелекту». Зокрема, багато складових «обчислювального мислення» — такі, як потужні засоби аналізу, абстрагування та узагальнення, використання евристичних підходів до вирішення складних проблем, статистичне навчання — мають безпосереднє відношення до концепції «мислення на основі штучного інтелекту». Але, в той же час, «мислення на основі штучного інтелекту» повинно вийти за рамки парадигми «обчислювального мислення» та, на відміну від нього, робити основний акцент ось на чому: використовувати при вирішенні проблем бази знань та бази типових сценаріїв; враховувати в процесах мислення здоровий глузд; обробляти різні семантики і контексти; мати змогу

аналізувати неструктуровані дані. Необхідно також використовувати ідеї глибокого навчання і когнітивних обчислень.

І, зрештою, «мислення на основі штучного інтелекту» повинно не лише мати потужні теоретичні підвалини, а й давати змогу практичного вирішення проблем. Для цього потрібно, зокрема, спиратися на відповідні ефективні засоби подання даних та логічного виведення.

Аналіз сучасної світової наукової періодики показує існування декількох головних наукових напрямів досліджень у цій сфері. Так, слід відзначити напрямок, пов'язаний із використанням елементів штучного інтелекту для вирішення задачі керування роботами. Зокрема розглянуто питання розроблення інтелектуальних мобільних роботів, здатних планувати та здійснювати маневри попередження зіткнень з можливими перешкодами [4]. Ще одною перспективною сферою досліджень є керування на основі методів нечіткої логіки. Пропонується застосувати нечітку логіку для отримання надійних даних, що сприяють підтримці прийняття управлінських рішень щодо проведення військових операцій [5]. Окремим напрямком досліджень є керування на основі різних видів генетичних та еволюційних алгоритмів, наприклад, пропонується застосувати методологію еволюційного навчання для автоматизації проєктування засобів групової робототехніки [6]. З'являються розробки у галузі створення систем на основі інтелектуальних агентів. Зокрема є описи використанн централізованої архітектури для побудови засобів керування на основі механізму розподілення інформації між взаємодіючими сторонами [7]. Привертають увагу також побудовані на знаннях системи, наприклад, методика створення рекомендаційних систем з використанням баз знань декількох предметних областей [8]. Застосовуються алгоритми машинного навчання у різних модифікаціях.

Визначають, що автономні роботи повинні діяти у різноманітних середовищах, виконувати різні завдання та успішно адаптуватися до багатьох видів взаємодії [9]. Тому для успішного виконання поставлених цілей такі роботи повинні мати здатність до міркування. Наявність функції міркування надасть автономній робототехнічній системі розширені функційні можливості, зробить її адаптованішою та надійнішою у роботі, а також зменшить витрати на її впровадження. У статті наведено загальний огляд застосування функції міркування в робототехніці, а також окреслено сучасний стан досліджень у цій сфері. Виділено і проаналізовано види реалізації таких функцій міркування: спостереження за розвитком ситуації, планування та виконання дій, моніторинг отриманих результатів виконання дій, навчання тощо. Розглянуто глобальні перспективи застосування цих функцій міркування, їх головні характеристики, нинішні можливості та обмеження використання функцій міркування при побудові систем. Особливу увагу приділено аналізу можливості інтеграції та спільного використання декількох функцій міркування.

Відзначається складність створення автономних систем, які здатні успішно функціонувати в динамічному середовищі [10]. Для зменшення цієї складності запропоновано концепцію «регульованої автономності», яка надає системі можливість діяти за різних автономних умов, а також забезпечує можливість передавати функції керування системою різним операторам. У статті, зокрема, розглянуто питання ідентифікації підходів до регульованої автономності і оцінювання їх доцільності; конкретизації вимог до

формулювання проблеми автономності; подання методів оцінювання регульованої автономності; систематизації існуючих прогалин у дослідженні зазначеної проблеми. Також детально проаналізовано випадки застосування регульованої автономності у багатоагентних системах. Важливим напрямком інтелектуалізації систем керування є удосконалення існуючих методів планування необхідних дій. Так, зазначають, що автоматичне планування є перспективною науковою галуззю, у якій розроблено низку передових технологій та систем [11]. Автори також підкреслюють, що деякі напрямки у цій галузі є ретельно вивченими, а деякі потребують подальших досліджень. Одним з подібних напрямків, особливо важливим для вирішення практичних проблем, є інтеграція процесів планування дій та їх виконання. Більшість наявних робіт з автоматичного планування недостатньо враховують особливості процесів міркування та оцінювання ситуації, які є необхідною передумовою ефективних дій. Ці дослідження зазвичай базуються на використанні стандартних методів пошуку оптимальних маршрутів на графі переходів від одного стану системи до іншого.

Також підкреслюють, що властивість автономності є ключовою для системи, яка замикає контур зворотного зв'язку між спостереженням, осмисленням поточної ситуації, плануванням та виконанням необхідних дій [12]. Побудовані на цьому принципі пристрої застосовують у різних типах безпілотних транспортних засобів, робототехніці, технологіях використання «розумних транспортних засобів», а також при виконанні автономних обчислень та автоматизації виробничих процесів. Автономна кібернетична система, яка працює в реальному часі, потребує прийняття своєчасних і точних рішень, а також адаптивного планування. При цьому автономне прийняття рішень повинно базуватися на усвідомленні системою як свого стану, так і стану навколишнього середовища. Система повинна передбачати можливі зміни зовнішнього середовища, а також оцінювати вплив цілеспрямованих дій на майбутній стан системи. Для досягнення цих властивостей пропонується гібридний підхід, який має забезпечити властивість автономності у реальному часі.

Описано методи кластеризації атрибутів та їх можливі застосування для вирішення завдань прийняття рішень [13]. При цьому автори зосереджуються на аналізі наборів даних великої розмірності. В такому разі використання традиційних методів скорочення обсягів даних приводить або до надзвичайно великої кількості обчислювальних операцій, або до незадовільного результату (тобто до недостатнього зменшення розмірності даних). Автори пропонують два евристичні підходи, спрямовані на зменшення обсягу обчислень, необхідного для виконання завдання. Ці підходи комбінують так званий «жадібний алгоритм пошуку» з вибором можливих альтернативних атрибутів.

МЕТОД ПОСЛІДОВНОЇ СТРУКТУРИЗАЦІЇ

Аналіз інтелектуальних задач доцільно виконувати на основі методології послідовного структурування їх малоформалізованих компонентів. Особливістю побудови систем образного керування є те, що в цьому разі структурування ґрунтується на процедурі аналізу шляхів перетворення великих обсягів формалізованих та / або малоформалізованих даних на

структуровані інформаційні образи. При цьому елементи знань можуть бути включені до складу моделей і використані для побудови засобів вирішення певного класу інтелектуальних задач. Основна складність при застосуванні цього підходу полягає в тому, що лише певна частина знань, сформованих в ході аналізу і вирішення інтелектуальних задач побудови систем керування, може бути кодифікована. Перший тип включає знання, що допускають природне структурування і кодифікацію, і, отже, забезпечується легкість їх зберігання, а також подальшого поширення та використання. Яскравим прикладом отримання таких знань є аналіз апробованих кількісних моделей, які описують суттєві взаємозв'язки між компонентами задачі таким чином, що забезпечується однаковість їх розуміння різними суб'єктами. В результаті застосування цих моделей досягається певний рівень уніфікації підходів до вирішення певного класу задач. До другого типу належать знання, які важко кодифікувати. Це, зазвичай, експертні знання, які допускають застосування лише у рамках специфічного класу задач та часто містять приховану і складно структуровану інформацію. Для того, щоб такі неявно виражені знання могли бути засвоєні і використані також в іншому контексті та в інших ситуаціях, принаймні окремі елементи цих знань мають бути перетворені в кодифіковану форму, що надає можливості для їх розповсюдження та застосування при побудові систем керування. Залежно від рівня формалізації задачі побудови систем керування, їх інтелектуалізація може бути пов'язана з переважанням тих чи інших видів явно виражених знань — вербального опису, візуального зображення, графічного подання, структурної схеми, теоретико-множинного опису, логічної моделі, аналітичних формул тощо.

Зазвичай при інтелектуалізації реальних задач побудови систем керування використовують широкий спектр елементів знань. При цьому в процесі набуття знань здійснюється як оцінювання наявних даних, так і їх змістовне оброблення з урахуванням, яким саме чином ці дані можуть використовуватися для досягнення і / або корекції наявних цілей. В процесі структурування інформаційних компонентів поточної ситуації знання поступово перетворюють із форми з переважанням неявних компонентів у форму з переважанням явно виражених знань. Однією з важливих переваг такої форми подання знань є зручність її передавання наявними каналами зв'язку. Отже, використання комунікаційних технологій дає змогу сформувати спільний мережний простір, який інтегрує у єдине ціле розподілені в часі та просторі компоненти знань. На основі такої інтеграції можливе вирішення різних задач аналізу ситуації, планування і виконання ефективних дій з побудови систем керування динамічними об'єктами та процесами. Позитивною рисою заміни вертикально організованих ієрархічних систем з гнучкими мережними структурами є забезпечення своєчасного доступу до необхідних даних для їх змістовного оброблення, а також можливість швидкої адаптації до змін зовнішнього середовища.

Одним з важливих етапів інтелектуалізації побудови систем керування є етап структурування, що охоплює отримання, кодифікацію та усвідомлення експертних знань. Успішне виконання цього етапу роботи забезпечує можливість образного подання знань та збереження суттєвих інформаційних компонентів відповідних образів, що дає змогу використовувати отримані знання при вирішенні аналогічних задач.

Можна зробити висновок, що перетворення знань з неявного виду на явний дає можливість використати ці знання для вирішення інтелектуальних задач, які виникають, і застосовувати отримані знання для цілей навчання, що дозволить успішно вирішувати подібні задачі надалі. Під час виконання цього етапу виконується робота з двома основними типами знань: раніше отримані знання з різними рівнями кодифікації — від вербальних правил, настанов та інструкцій до математичних моделей, та нові знання, компоненти яких були отримані під час розвитку поточної ситуації та перетворені на множину взаємозв'язків.

В результаті комбінації цих двох типів знань забезпечується отримання деякого відношення порядку на фактор-множині F_I , що характеризує якісно різні допустимі стратегії вирішення задачі побудови високоточних систем керування. Це може бути або відношення, яке має властивості рефлексивності, антисиметричності і транзитивності (у разі нестрогої впорядкованості), або відношення, що має властивості антирефлексивності і транзитивності (у разі строгої впорядкованості). На основі цього відношення порядку може бути зроблений вибір деякого елемента f з фактор-множини F_I , тим самим звужуючи початкову множину альтернатив A_Σ до множини A_f прообразів елемента f фактор-множини F_I . Очевидно, що множина A_f є класом еквівалентності множини A_Σ за деяким відношенням еквівалентності E_I . В разі, якщо наявні знання не дають змогу вибрати єдиний елемент f із фактор-множини F_I , часто може бути зроблене звуження фактор-множини F_I до деякої множини $F_r \subset F_I$. При цьому початкова множина альтернатив A_Σ буде звужена до деякого об'єднання множин $A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_k$, що є відповідно прообразами елементів f_1, f_2, \dots, f_k фактор-множини F_I . Слід зауважити, що навіть в такому разі оперувати на отриманій в результаті першого етапу підмножині допустимих альтернатив значно легше, ніж на первинній початковій множині альтернатив A_Σ [14].

На другому етапі відбувається «кількісна модифікація» підмножини допустимих стратегій побудови систем керування, сформованої під час виконання першого етапу. На цьому етапі використовуються інші, ніж на першому етапі, елементи знань. Тут основний акцент робиться на ті знання, основою яких є опис добре формалізованих елементів задачі за допомогою стандартних математичних моделей. Такі кількісні моделі часто доцільно застосовувати для визначення нераціональних або неприпустимих стратегій поведінки. При цьому подання цих елементів знань у вигляді графічних образів дає можливість отримання інформації стосовно множини ефективних дій. Ці візуальні образи визначають деякі моделі раціональної поведінки у ситуації, яка склалася в ході рішення певної задачі. При цьому, сукупність допустимих дій визначається на основі механізму, який інтегрує різні елементи явних знань, кодифікованих як графічні образи, або ж як кількісні моделі. Варто підкреслити, що набір фактор-множин, сформований на першому і звужений під час другого етапу, характеризує сукупність можливих якісно різних альтернативних стратегій рішення інтелектуальної задачі побудови системи керування. Тому запропонований підхід дає можливість формування, візуального подання і аналізу допустимих

альтернативних варіантів. Вибір же конкретної альтернативи здійснюється за допомогою відповідних процедур, в ході яких відбувається отримання нових знань і, на їх основі, поглиблений аналіз сформованої множини допустимих варіантів. Такий вибір, залежно від конкретної ситуації, можна здійснювати на основі максимізації певного критерію або виходячи з принципу отримання прийнятного рішення.

ПОБУДОВА ВИСОКОТОЧНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

Аналіз сучасних методів свідчить, що їх основою є збирання, оброблення та використання різноманітних даних — як накопичених протягом тривалих досліджень, так і отриманих у реальному часі. Але значна частина цих даних є малоформалізованими та складноструктурованими, що перешкоджає їх ефективному використанню в під час розроблення. Тому перспективним шляхом подолання цих складнощів є заміна дослідження реальних процесів на аналіз їх спрощених моделей, які можуть бути проаналізовані за прийнятний інтервал часу, та створення ефективних механізмів оперування образами об'єктів. При використанні цього підходу з'являється можливість планувати та виконувати цілеспрямовані дії зі створення засобів, потрібних для проведення досліджень. Необхідно також зазначити, що застосування методів змістовного оброблення даних для видобування знань передбачає послідовність двох процесів — аналітичного оброблення наявних даних та їх структурування у відповідні інформаційні компоненти. Ці процеси є початковою ланкою циклу роботи зі знаннями при вирішенні задач побудови інтелектуальних систем керування та їх компонентів.

Варто підкреслити, що ключову роль в процесах змістовного оброблення відіграє фільтрація та інтерпретація отриманих даних щодо поточної ситуації. Особливо цікавою для аналізу є ситуація, коли наявні дані застосовуються для вирішення малоформалізованих задач, для яких складно побудувати стандартні математичні моделі. У цьому разі першим етапом змістовного оброблення даних має бути усвідомлення шляхів формалізації окремих складових інтелектуальної задачі. Таку формалізацію доцільно розпочинати з критичного аналізу наявного набору цілей. Після цього необхідно визначити, які інформаційні компоненти сприяють досягненню поставлених цілей та якої кількісною чи якісною мірою може бути оцінено таке сприяння. Запропоноване послідовне структурування дасть змогу сформувавши певну ієрархію, яка відображає як ступінь важливості різних цілей, так і внесок різних інформаційних компонентів в їх досягнення. Наведена формалізація є першим етапом рішення малообумовленої інтелектуальної задачі. Далі, на основі визначеної ієрархічної структури цілей системи, можна почати поетапне структурування істотних елементів вирішуваної задачі побудови високоточних систем керування, у тому числі тих, які спочатку могли бути описані лише вербально. При здійсненні такого структурування виконується поетапне вирішування інтелектуальної задачі побудови високоточних систем керування (Рис. 1).

Моделі не завжди можуть достатньо повно описувати усі аспекти процесів, які виникають при побудові систем керування. Доцільно використати досвід,

набутий під час створення компонентів подібних систем. Цей напрям досліджень має особливе значення при побудові так званих «базованих на знаннях» засобів керування. Одним із важливих типів подібних засобів є рекомендаційні системи, завданням яких є підтримка вирішування складних інтелектуальних задач шляхом надання людині, відповідальній за прийняття рішень, своєчасних та обґрунтованих рекомендацій щодо дій у тій чи іншій ситуації. Таким чином, розуміння динаміки перетворення компонентів різних типів знань на основі змістовного оброблення даних стає важливим чинником інтелектуалізації людино-машинних систем керування. Ці системи повинні забезпечувати синергію трьох компонентів (Рис. 2).

Основою зазначеної функційної діяльності може бути використання синергетичної концепції керування багатовимірними та багатозв'язковими динамічними об'єктами за допомогою інтелектуалізованого людино-машинного інтерфейсу. Для синтезу такого інтерфейсу застосовується введення у простір станів людино-машинної системи спеціальних інваріантних атракторів. Ці атрактори формують внутрішньосистемні динамічні зв'язки, які дають змогу синтезувати простий для людини-оператора інтерфейс та керувати структурними та параметричними змінами.

Інтелектуальні компоненти, розроблені на основі вивчення процесів перетворення знань, поєднуюватимуть формалізовані знання, відображені за допомогою відповідних математичних моделей, із усвідомленням важливих неформалізованих аспектів поточної ситуації. Таким чином можуть бути, зокрема, побудовані алгоритми раціональних дій з досягнення сформульованих цілей, які, залежно від поточних значень суттєвих параметрів, враховують основні особливості побудови правил раціональної поведінки в конкретних умовах зовнішнього середовища.

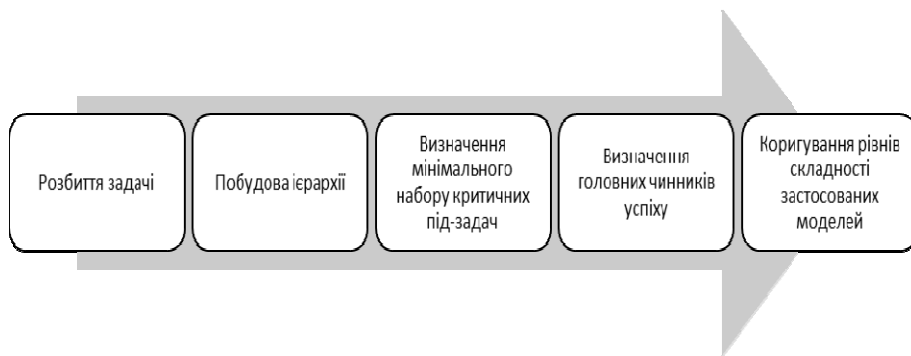


Рис. 1. Етапи побудови високоточних систем автономного керування в реальному часі

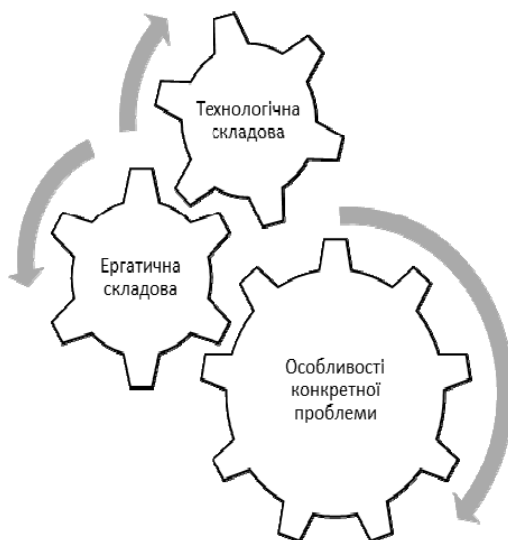


Рис. 2. Компоненти синергетичної взаємодії людино-машинних систем керування



Рис. 3. Етапи структуризації процесу інтелектуалізації керування динамічними об'єктами

Процес прийняття рішень охоплює етапи: отримання даних від сенсорів, що характеризують як стан зовнішнього середовища, так і стан внутрішніх ресурсів системи; змістовного оброблення отриманих даних; сприйняття поточної ситуації та усвідомлення її найхарактерніших особливостей; планування необхідних дій — генерацію можливих альтернативних варіантів побудови системи керування, її апріорне оцінювання альтернативних варіантів побудови системи керування; вибір найдоцільнішого варіанту дій; апостеріорне оцінювання результатів виконання вибраного варіанту дій (Рис. 3).

Наразі не вирішеними є багато питань щодо концептуальних аспектів взаємозв'язку методів прийняття рішень і методів штучного інтелекту. Врегулювання цих питань, з'ясування того, яким саме чином елементи штучного інтелекту можуть використовуватися на різних етапах процесу прийняття рішень, створює великі потенційні можливості підвищення ефективності при побудові систем керування динамічними об'єктами. Але для реалізації цих потенційних можливостей необхідно, перш за все,

усвідомити специфічні особливості прийняття рішень в інтелектуальних системах. Головні з них такі:

1. ситуації, які виникають під час функціонування інтелектуальних систем керування, часто є доволі складними для аналізу;
2. складність аналізу поточних ситуацій часто доповнюється необхідністю швидких дій у цих ситуаціях;
3. навіть поодинокі випадки помилкових рішень можуть призвести до непередбачуваних тяжких наслідків.

ВИСНОВКИ

Перспективним напрямом досліджень є розроблення інтелектуальних інформаційних технологій нового покоління, які використовують механізми оброблення інформації, засновані на методі послідовної структуризації при побудові систем керування.

Сучасні концепції побудови систем керування мають забезпечувати застосування методів змістовного оброблення даних та використовувати компоненти синергетичної взаємодії людино-машинних систем керування. Окремо, важливим складником побудови сучасних інформаційних технологій керування є створення компонентів інфраструктури для автономного образного мислення та розроблення інтелектуальної платформи для високоточних систем керування динамічними об'єктами.

Багато питань щодо концептуальних аспектів взаємозв'язку методів прийняття рішень і методів штучного інтелекту потребують подальшого врегулювання. Але застосування методології послідовного структурування малоформалізованих компонентів інтелектуальних задач у системах образного керування дає змогу досягти деякої уніфікації у вирішенні певного класу задач інтелектуального керування.

Напрямок подальших досліджень полягає в розробленні інформаційних технологій нового покоління та відповідного інструментарію керування, які застосовуватимуть методи змістовного оброблення даних, зокрема, метод послідовної структуризації для інтелектуалізації систем керування, що відкриє нові можливості розвитку штучного інтелекту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Imam I. F., Kondratoff Y. Intelligent adaptive agents: a highlight of the AAAI-96 workshop. *AI Mag.* 1997. Vol. 18. No. 3. P. 75–80. DOI: 10.1609/aimag.v18i3.1307.
2. Pigozzi G., Tsoukias A., Viappiani P. Preferences in artificial intelligence. *Annals Math. and Artif. Intell.* 2016. Vol. 77. No. 3/4. P. 361–401.
3. He H., Li P., Wang H. Advances in knowledge discovery and data analysis for artificial intelligence. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence.* 2011. Vol. 23. №1. P.1–3.
4. Revesz P.Z. Artificial intelligence basic research directions at the U.S. Air Force. *International Journal on Artificial Intelligence Tools.* 2014. Vol. 23. №6. Режим доступу: <http://cse.unl.edu/~revesz/papers/IJAIT14.pdf>. – Назва з екрану.
5. V.L. Deepak, S. Nayak, S. Patra. Development of obstacle-avoiding robots using RF technology. *Intern. J. Intell. Unmanned Syst.* 2016. Vol. 4. No. 4. P. 214–225. DOI: 10.1108/IJUS-08-2016-0007.
6. Hanratty T.P., Newcomb E.A., Hammell R.J. A fuzzy-based approach to support

- decision making in complex military environments. *Intern. J. Intell. Inform. Technol.* 2016. Vol. 12. No. 1. P. 1–30. DOI: 10.4018/IJIT.2016010101.
7. Mukhlis F., Page J., Bain M. Evolutionary-learning framework: improving automatic swarm robotics design. *Intern. J. Intell. Unmanned Syst.* 2018. Vol. 6. No. 4. P. 197–215. DOI: 10.1108/IJUS-06-2018-0016.
 8. Walczak S. Society of agents: a framework for multi-agent collaborative problem solving. *Intern. J. Intell. Inform. Technol.* 2018. Vol. 14. No. 4. P. 1–23. DOI: 10.4018/IJIT.2018100101.
 9. Groumpos P. P. Complex systems and intelligent control: Issues and challenges. Large Scale Systems: Theory and Applications 2001 : 9th IFAC symp. : 18–20 July, 2001, Bucharest, Romania. P. 29–36. DOI: 10.1016/S1474-6670(17)40790-7.
 10. Gonzales D., Harting S. Designing unmanned systems with greater autonomy. RAND Corporation, Santa Monica, CA, USA. 2014. Режим доступа: https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_reports/RR600/RR626/RAND_RR626.pdf
 11. Mostafa S.A., Ahmad M.S., Mustapha A. Adjustable autonomy: a systematic literature review. *Artificial Intelligence Review.* 2019. Vol. 51. №3. P. 149–186.
 12. Ghallaba M., Nau D., Traverso P. The actor's view of automated planning and acting: a position paper. *Artificial Intelligence.* 2014. Vol. 208. P. 1–17.
 13. Mertoguno J.S. Human decision making model for autonomic cyber systems. *International Journal on Artificial Intelligence Tools.* 2014. Vol. 23. № 6. Режим доступа: <https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S0218213014600239>.
 14. Шелетуха Ю.М., Волков О.Е., Комар М.М. Інтелектуалізація процесів прийняття рішень в автономних системах керування. *Cybernetics and computer engineering.* 2020. Вип. № 2 (2021). С. 49-63 <http://jnas.nbu.gov.ua/article/UJRN-0001262408>

Отримано 04.01.2024

REFERENCES.

1. Imam I. F., Kondratoff Y. Intelligent adaptive agents: a highlight of the AAAI-96 workshop. *AI Mag.* 1997, Vol. 18, No. 3, pp. 75–80. DOI: 10.1609/aimag.v18i3.1307.
2. Pigozzi G., Tsoukias A., Viappiani P. Preferences in artificial intelligence. *Annals Math. and Artif. Intell.* 2016, Vol. 77, No. 3/4, pp. 361–401.
3. He H., Li P., Wang H. Advances in knowledge discovery and data analysis for artificial intelligence. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence.* 2011, Vol. 23, №1, pp.1–3.
4. Revesz P.Z. Artificial intelligence basic research directions at the U.S. Air Force. *International Journal on Artificial Intelligence Tools.* 2014, Vol. 23, №6. Access mode: <http://cse.unl.edu/~revesz/papers/IJAIT14.pdf>. – name from the screen.
5. V.L. Deepak, S. Nayak, S. Patra. Development of obstacle-avoiding robots using RF technology. *Intern. J. Intell. Unmanned Syst.* 2016, Vol. 4, No. 4, pp. 214–225. DOI: 10.1108/IJUS-08-2016-0007.
6. Hanratty T.P., Newcomb E.A., Hammell R.J. A fuzzy-based approach to support decision making in complex military environments. *Intern. J. Intell. Inform. Technol.* 2016, Vol. 12, No. 1, pp. 1–30. DOI: 10.4018/IJIT.2016010101.
7. Mukhlis F., Page J., Bain M. Evolutionary-learning framework: improving automatic swarm robotics design. *Intern. J. Intell. Unmanned Syst.* 2018, Vol. 6, No. 4, pp. 197–215. DOI: 10.1108/IJUS-06-2018-0016.
8. Walczak S. Society of agents: a framework for multi-agent collaborative problem solving. *Intern. J. Intell. Inform. Technol.* 2018, Vol. 14, No. 4, pp. 1–23. DOI: 10.4018/IJIT.2018100101.
9. Groumpos P. P. Complex systems and intelligent control: Issues and challenges. Large Scale Systems: Theory and Applications 2001 : 9th IFAC symp. : 18–20 July, 2001, Bucharest, Romania, pp. 29–36. DOI: 10.1016/S1474-6670(17)40790-7.

10. Gonzales D., Harting S. Designing unmanned systems with greater autonomy. RAND Corporation, Santa Monica, CA, USA. 2014. Access mode: https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_reports/RR600/RR626/RAND_RR626.pdf
11. Mostafa S.A., Ahmad M.S., Mustapha A. Adjustable autonomy: a systematic literature review. *Artificial Intelligence Review*. 2019, Vol. 51, №3, pp. 149–186.
12. Ghallaba M., Nau D., Traverso P. The actor's view of automated planning and acting: a position paper. *Artificial Intelligence*. 2014, Vol. 208, pp. 1–17.
13. Mertoguno J.S. Human decision making model for autonomic cyber systems. *International Journal on Artificial Intelligence Tools*. 2014, Vol. 23, № 6. Access mode: <https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S0218213014600239>.
14. Shepetukha Yu.M., Volkov O.Ye., Komar M.M. Intellectualization of decision making processes in autonomous control systems. *Cybernetics and computer engineering*. 2021, № 2 (204), pp. 49-63 <http://jnas.nbuiv.gov.ua/article/UJRN-0001262408>

Received 04.01.2024

Shepetukha Yu.M., PhD (Engineering), Senior Researcher,
Leading Researcher of the Intelligent Control Department
<https://orcid.org/0000-0002-6256-5248> e-mail: yshep@meta.ua

Semenog R.V., PhD Student,
Deputy Head of the Research Laboratory of Unmanned Complexes and Systems
<https://orcid.org/0000-0002-6714-0644> e-mail: ruslansemenog20@icloud.com

*International Research and Training Center for Information
Technologies and Systems of the National Academy of Sciences
of Ukraine and the Ministry of Education and Science of Ukraine,
40, Akad. Glushkov av., Kyiv, 03187, Ukraine*

SEQUENTIAL STRUCTURING METHOD FOR BUILDING DYNAMIC OBJECTS MANAGEMENT SYSTEMS

Introduction. *The growing role of information technologies makes them an important part of modern facilities management systems and contributes to increasing their efficiency, security and their ability to adapt to changes. A new type of information systems is emerging that uses advanced technologies to automate and optimize management processes, including artificial intelligence and others — Intelligent Management Systems(IMS), is emerging now.*

The next step in this direction is complex systems that allow dynamic objects to be controlled independently of external intervention — autonomous control systems (ACS). SACs use a variety of sensors, data processing and decision-making algorithms and are widely used in the automotive industry (for example, self-driving cars), in unmanned aerial vehicles (drones), and many other industries where independent and efficient control of objects is required.

The purpose of the article is to investigate modern concepts of building autonomous control systems for dynamic objects and to describe methods of intellectualization of such systems.

The results. *A modern approach to the construction of systems of autonomous control of dynamic objects, based on sequential structuring, was studied. Methods of creating systems aimed at optimizing automatic management of dynamic objects are highlighted.*

Conclusions. *A promising direction of research is the development of a new generation of intelligent information technologies that use information processing mechanisms that are based on the method of sequential structuring in the construction of automatic control systems.*

Concepts for building automatic control systems should ensure the application of meaningful data processing methods and use components of synergistic interaction of human-machine control systems. The application of the methodology of sequential structuring of weakly formalized

components of intellectual problems in visual management systems allows achieving some unification in solving a certain class of intellectual management problems.

The further direction of research consists in the development of a new generation of information technologies and the corresponding toolkit of automatic control, which will apply methods of meaningful data processing, in particular, the method of sequential structuring for the intellectualization of automatic control systems.

Keywords: *intelligent information technology, artificial intelligence, intelligent control, dynamic object, imaginative thinking, autonomy.*