

Intelligent Control and Systems

DOI: <https://doi.org/10.15407/kvt204.02.049>

УДК 519.688

ШЕПЕТУХА Ю.М., канд. техн. наук, старш. наук. співроб.,
провідн. наук. співроб. відд. інтелектуального управління,
ORCID: 0000-0002-6256-5248

e-mail: ysherp@meta.ua

ВОЛКОВ О.Є., канд. техн. наук,
зав. відд. інтелектуального управління

ORCID: 0000-0002-5418-6723

e-mail: alexvolk@ukr.net

КОМАР М.М., канд. техн. наук,
старш. наук. співроб. відд. інтелектуального управління

ORCID: 0000-0002-0119-0964

e-mail: nickkomar08@gmail.com

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

ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В АВТОНОМНИХ СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ

Вступ. У сучасному світі науково-технічний рівень держави значною мірою визначається поточним станом та темпами розвитку інформаційних технологій. Водночас магістральним шляхом вдосконалення інформаційних технологій є їх інтелектуалізація. За рахунок інтелектуалізації стала можливою побудова перспективних систем з принципово новими функційними можливостями, зокрема, високошвидкісних комп'ютерних комплексів, здатних до автономних дій у складному та динамічному середовищі. Важливу роль у роботі автономних комплексів відіграють системи керування складними об'єктами та процесами. У зв'язку з цим дослідження теоретичних та прикладних питань побудови таких систем є актуальною науково-технічною проблемою.

Мета статті — проаналізувати поточний стан та перспективи розвитку нового напрямку у сфері інтелектуалізації інформаційних технологій — побудови систем автономного керування складними об'єктами та процесами у динамічному середовищі; сформулювати обґрунтований підхід до підвищення рівня інтелектуалізації процесів прийняття рішень у таких системах.

Методи. Створення автономних систем керування та підвищення рівня інтелектуалізації процесів прийняття рішень у таких системах базується на використанні таких концептуальних, теоретичних та методологічних інструментів: теорія інтелектуалізації інформаційних технологій, інтелектуального керування, теоретичні засади побудови

© ШЕПЕТУХА Ю.М., ВОЛКОВ О.Є., КОМАР М.М., 2021

ISSN 2663-2586 (Online), ISSN 2663-2578 (Print). *Cyb. and Comp. Eng.* 2021. № 2 (204)

49

систем штучного інтелекту, методи прийняття рішень, методологія образного мислення, методи моделювання образного сприйняття зовнішнього середовища.

Результати. Розглянуто підхід до взаємоузгодженого використання методів штучного інтелекту, прийняття рішень та інтелектуального керування для створення автономних засобів керування складними об'єктами та процесами. Обґрунтовано доцільність побудови систем, профільованих для роботи у визначених предметних областях. Визначено специфічні особливості та складники механізмів прийняття рішень у системах інтелектуального керування. Підкреслено необхідність створення інтелектуального середовища та важливу роль сенсорних мереж у розв'язанні цього завдання. Запропоновано методологію побудови інформаційних образів, які відображають найважливіші компоненти поточної ситуації. Розглянуто приклади застосування сформованих образів для здійснення як динамічного, так і еволюційного перепланування.

Висновки. Доцільним шляхом побудови інтелектуалізованих систем керування є такий, що передбачає взаємоузгоджене застосування різних типів моделей. Образне подання істотних взаємозв'язків поточної ситуації є ефективним засобом інтелектуалізації на різних етапах процесу прийняття рішень – генерування альтернатив, розуміння невідповідності між різними джерелами даних, здійснення процедури вибору, оцінювання результатів. Застосування елементів штучного інтелекту в автономних системах є особливо обґрунтованим у випадках дефіциту часу та наявності великої кількості альтернативних варіантів дій.

Ключові слова: інтелектуалізація інформаційних технологій, інтелектуальне керування, прийняття рішень, автономність, штучний інтелект, образ, невизначеність, адаптація.

ВСТУП

У сучасному світі науково-технічний рівень держави значною мірою визначається поточним станом та темпами розвитку інформаційних технологій. Водночас магістральним шляхом вдосконалення інформаційних технологій є їх інтелектуалізація. За рахунок інтелектуалізації стала можливою побудова перспективних систем з принципово новими функційними можливостями, зокрема, високошвидкісних комп'ютерних комплексів, здатних до автономних дій у складному та змінному середовищі. Важливу роль у роботі автономних комплексів відіграють системи керування динамічними об'єктами та процесами. Властивість автономності є ключовою для багатьох систем керування — вона дає можливість замкнути контур зворотного зв'язку між спостереженням, осмисленням поточної ситуації, плануванням та виконанням необхідних дій [1]. Відзначають велику кількість різноманітних проблем, що виникають у спробах створення автономних систем керування та суттєво обмежують можливості для їхнього ефективного функціонування [2, 3]. Тому дослідження теоретичних та прикладних питань побудови таких систем є актуальною науково-технічною проблемою.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Концепція інтелектуалізації привертає все більшу увагу дослідників як у розгляді теоретичних проблем керування цілеспрямованою поведінкою, так і у вирішенні практичних питань побудови систем керування складними динамічними об'єктами та процесами для забезпечення необхідних показників якості, швидкодії та стійкості. Аналіз літературних джерел дає змогу відзначити сталу тенденцію до застосування у процесі керування все більшої кількості інтелектуальних функцій, безпосередньо або опосередковано пов'язаних з прийняттям рішень — таких як розпізнавання образів,

аналіз поточної ситуації, планування та корегування потрібних дій. Так, у роботі [4] інтелектуальне керування взагалі визначається як процес автономного прийняття рішень у структурованому або неструктурованому середовищі, який ґрунтується на спільному використанні таких наукових напрямів: комп'ютерні науки, штучний інтелект, дослідження операцій, теорія автоматичного керування. Для автономних систем, що, як правило, повинні виконувати свої функції без безпосереднього втручання людини, методи та засоби штучного інтелекту мають особливо великі перспективи успішного застосування. Слід зазначити, що термін «штучний інтелект» звичайно використовується у тих випадках, коли за допомогою апаратно-програмних засобів імітують певні інтелектуальні дії людини. Так, за Оксфордським словником, системи штучного інтелекту визначаються як «комп'ютерні системи, що мають здатність виконувати завдання, які звичайно потребують використання інтелекту людини — такі як візуальне сприйняття інформації, розпізнавання усної мови, прийняття рішень та переклад» [5]. Також відзначається, що штучний інтелект — це здатність комп'ютеризованих технічних засобів відтворювати ті або інші аспекти розумної поведінки людини [6]. На думку авторів, ключовими елементами штучного інтелекту є процеси міркування, планування та навчання, тобто саме ті процеси, що є головними складниками у прийнятті рішень. Наразі невирішеними є багато питань стосовно концептуальних аспектів взаємозв'язку методів прийняття рішень та методів штучного інтелекту [7]. У цьому контексті необхідно також враховувати, що до певного часу практично не перетиналися між собою наукові напрями, пов'язані з розробленням методів штучного інтелекту та побудовою систем керування складними динамічними об'єктами та процесами. У межах кожного з цих напрямів створювався свій науковий інструментарій, пристосований до аналізу та розв'язання специфічних завдань своєї предметної галузі. Але останнім часом помітною стала тенденція до посилення взаємного зв'язку, суттєвого зближення та навіть об'єднання вказаних напрямів досліджень. Одним з витоків такої тенденції є підвищення інтересу до теоретичних і практичних питань створення автономних систем інтелектуального керування, зокрема, засобів автономного керування динамічними об'єктами та процесами.

Мета статті — проаналізувати поточний стан та перспективи розвитку нового напрямку у сфері інтелектуалізації інформаційних технологій — побудови систем автономного керування складними об'єктами та процесами у динамічному середовищі, та сформулювати обґрунтований підхід до підвищення рівня інтелектуалізації процесів прийняття рішень у таких системах

НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ ТА АВТОНОМНІСТЬ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

Автономні системи повинні бути здатними виконувати функції керування в автономному режимі, тобто за комунікаційних обмежень та відсутності людини-оператора. Тому дослідження різних аспектів побудови та функціонування цих систем мають великий інтерес з точки зору можливої синергії методів штучного інтелекту, прийняття рішень та інтелектуального керування. Це дасть можливість переходу від автоматичних систем, що діють у відповідності із заздалегідь заданими алгоритмами та процедурами, до нового класу систем,

здатних у процесі своєї автономної роботи здійснювати певний набір інтелектуальних функцій. У цьому контексті необхідно звернути увагу на важливу відмінність між традиційними та інтелектуалізованими системами керування. Поведінка традиційних систем керування, як правило, повністю визначається сукупністю заданих диференціальних рівнянь, що у векторній формі може бути записано таким чином:

$$Y = F(X, Y) + D(t),$$

де F — деяка векторна функція; $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ — вектор вихідних змінних, що можуть бути виміряні; $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ — вектор вихідних змінних, що не можуть бути виміряні; $D(t)$ — змінний у часі збурювальний вплив на систему. До того ж цільова функція системи вважається заздалегідь заданою, а невизначеність ситуації зумовлюється відсутністю повної інформації щодо вектору фазового стану та неточністю вимірювання поточних параметрів. Ще одним важливим фактором, який необхідно враховувати у побудові складних систем, є нелінійність. Слід зазначити, що наявність нелінійних елементів навіть у порівняно простих рівняннях призводить до неможливості їхнього розв'язання у квадратурах. Інакше кажучи, немає можливості подати загальне рішення набору нелінійних диференціальних рівнянь у вигляді аналітичних співвідношень та невизначених інтегралів. Тому основним практичним засобом вирішення таких проблем є евристичний метод послідовного перебору можливих варіантів. Принципова відмінність інтелектуальних систем полягає у можливості їхньої цілеспрямованої поведінки навіть у разі інформаційних обмежень, наприклад, за відсутності повної інформації про вид функції $F(X, Y)$ чи в ситуаціях, коли неможливе точне вимірювання вектору $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$. Навіть більше, невизначеність у таких системах може включати не лише неточно визначені параметри, але й не повністю сформульовану мету. У зв'язку з цим допускається можливість уточнення величин параметрів та корегування цілей безпосередньо під час функціонування системи.

Отже, інтелектуальні системи повинні імітувати осмислену поведінку людини — зокрема за умов відсутності повної інформації. Інакше кажучи, вони повинні бути здатними «усвідомлювати» характерні особливості поточної ситуації та зовнішнього середовища, складати плани дій, формувати та ухвалювати рішення, реалізовувати прийняті рішення та оцінювати отримані результати. Важливою умовою побудови інтелектуальних систем є забезпечення достатнього ступеню автономності їхньої поведінки. Водночас доцільно вирізняти два принципово відмінних рівня автономності. На першому з них забезпечується автономність дій з досягнення певного набору цілей $G = \{g_1, g_2, \dots, g_r\}$, які є заздалегідь визначеними та, як правило, сформованими за межами системи. У такому випадку головна увага розробника зосереджується на створенні автономних засобів забезпечення «найкращого» (у якомусь визначеному сенсі) шляху досягнення поставлених цілей. Питання же про те, на підставі яких міркувань та за допомогою яких процедур здійснюється формування цих цілей, звичайно зовсім не розглядається. Другий рівень автономності передбачає значне посилення інтелектуальних можливостей системи за рахунок її здатності до автономного

формулювання або усіх своїх цілей, або їх деякої підмножини $G_2 \subset G$. Процес автономного формулювання цілей складається з двох етапів — етапу генерування множини можливих цілей $G_1 = \{g_1, g_2, \dots, g_s\}$ та етапу вибору підмножини цілей $G_2 = \{g_1, g_2, \dots, g_v\}, v \leq s$. Основними рисами цілеспрямованої поведінки інтелектуальних систем, що зумовлюють спектр їхніх функційних можливостей, є такі. По перше, ці системи здатні імітувати виконання людиною таких завдань, які можна назвати інтелектуальними. До них слід віднести, зокрема, образне сприйняття окремих компонентів поточної ситуації або ситуації в цілому; усвідомлення причин виникнення тієї чи іншої поточної ситуації; генерування можливих варіантів дій; попереднє планування шляхів реагування на можливі наслідки дій; прийняття рішення щодо найдоцільнішого варіанту дій. Другим складником функційних можливостей таких систем є їхня здатність до автономної роботи. Взагалі кажучи, інтелектуальні системи можуть функціонувати або як інтерактивні, або як повністю автономні. До того ж автономність системи може проявлятися як у реактивних, так і у проактивних стратегіях цілеспрямованої поведінки. Наприклад, у випадку автономного керування групою взаємодією рухомих об'єктів у конфліктних ситуаціях, на базі реактивних стратегій можна адекватно реагувати на виникнення тимчасових комунікаційних обмежень, які перешкоджають інформаційному обміну з іншими учасниками групи. Використання проактивних стратегій спрямоване на забезпечення ефективного функціонування навіть за умов повної відсутності зв'язку між сторонами чи з наземним диспетчерським пунктом. Отже, застосування проактивного підходу може забезпечити автономну роботу систем без необхідності безпосереднього втручання оператора, усуваючи тим самим можливість негативного впливу людського фактору на якість функціонування. Ще одним важливим чинником успішного функціонування інтелектуальних систем є можливість ефективної адаптації як до зміни зовнішніх умов, так і до зміни внутрішнього стану системи.

Аналіз сучасного стану проблеми показує, що наразі одним з найперспективніших напрямів інтелектуалізації є застосування елементів штучного інтелекту для побудови автономних систем, профільованих для роботи у порівняно вузьких предметних областях. Однією з суттєвих переваг спрямованості таких систем на вирішення спеціалізованих завдань є можливість забезпечення їхньої якісної адаптації як до змін у зовнішньому середовищі, так і до змін у структурній організації та значеннях кількісних параметрів самої системи. Системи з елементами штучного інтелекту можуть діяти як автономно, так і входити до складу інтегрованих людино-машинних комплексів та працювати в інтерактивному режимі. Але і в цьому випадку їхньою принциповою відмінністю від традиційних систем підтримки прийняття рішень є те, що вони допомагають людині в аналізі інтелектуальних проблем не лише за рахунок сприяння кращому усвідомленню особливостей та взаємозв'язків поточної ситуації, а й шляхом автономного, без безпосередньої участі людини, виконання деяких фрагментів загального завдання. Наприклад, якщо метою системи є диспетчеризація руху транспортних засобів, то за допомогою елементів штучного інтелекту можна здійснювати автономну навігацію деяких з цих засобів та інформувати диспетчера щодо динаміки їхніх основних маршрутних параметрів.

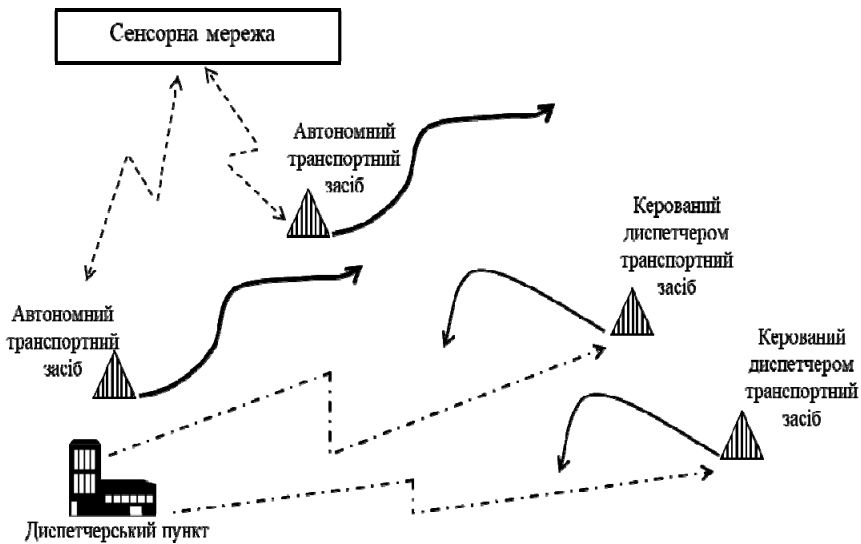


Рис. 1. Приклад застосування штучного інтелекту та автономної навігації для диспетчеризації руху транспортних засобів у складному середовищі

На основі одержаної інформації диспетчер може керувати траєкторіями руху решти транспортних засобів та здійснювати керування розвитком ситуації в цілому (див. рис. 1).

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ ТА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У ЗАВДАННЯХ КЕРУВАННЯ

Аналіз ранніх робіт у галузі штучного інтелекту показує, що дослідники, які започаткували цей науковий напрям, розраховували на можливість швидкого застосування загальних концептуальних та методологічних положень для створення комп'ютеризованих технічних засобів, спроможних вирішувати широкий спектр теоретичних та прикладних проблем. Однією з таких проблем є забезпечення прийняття обґрунтованих та своєчасних рішень у складних ситуаціях, що виникають у різних предметних галузях. Передбачалося, що вбудовані у відповідні технічні засоби елементи універсального штучного інтелекту будуть об'єднувати у єдине ціле такі складники процесу ухвалення рішень, як сприйняття наявної інформації, усвідомлення головних складнощів та пошук доцільних шляхів їх подолання, формування можливих альтернатив та вибір найприйнятнішого варіанту дій. Але ці оптимістичні очікування щодо перспектив застосування універсального штучного інтелекту у більшості випадків не справдилися. Більш продуктивним підходом виявився такий, коли окремі складники інтелектуальної поведінки у прийнятті рішень досліджувалися значною мірою незалежно одна від одної, використовуючи для цього різні методи штучного інтелекту. Огляд літературних джерел свідчить про те, що наразі найбільше застосування мають такі напрями штучного інтелекту: нейронні мережі; нечітка логіка; генетичні та еволюційні методи; інтелектуальні агенти і мультиагентські системи; експертні і базовані на знаннях системи; машинні алгоритми навчання. У роботі [8] наведений огляд використання методів

штучного інтелекту для вирішення низки прикладних завдань у різноманітних галузях.

Аналіз наведених відомостей дає змогу зробити висновок, що значний відсоток зазначених прикладних завдань є безпосередньо або опосередковано пов'язаним з процесами прийняття рішень, зокрема, з такими їхніми складниками, як моніторинг, діагностування, планування, вибір. Ці складники також є етапами функціонування систем інтелектуального керування, зокрема, такого їхнього важливого різновиду, як системи автономного керування складними об'єктами та процесами у динамічному середовищі. Тому інтелектуалізація прийняття рішень має великі можливості щодо підвищення ефективності керування зазначеними об'єктами та процесами. Але для реалізації цих можливостей необхідно, перш за все, усвідомити специфічні особливості прийняття рішень у подібних системах. Головними з цих особливостей, на думку авторів, є такі: ситуації, що виникають під час функціонування систем інтелектуального керування, звичайно є складними для аналізу; складність аналізу поточних ситуацій часто доповнюється необхідністю швидких дій; навіть поодинокі випадки помилкових рішень можуть призвести до непередбачуваних наслідків.

Наявний досвід розв'язання реальних завдань керування складними динамічними об'єктами та процесами показує, що, навіть за використання сучасних потужних комп'ютерів часто неможливо у реальному часі прийняти рішення про найдоцільнішу структуру та параметри керування шляхом безпосереднього перебору усіх можливих альтернативних варіантів. Тому штучний інтелект є потенційно дуже потужним засобом, що може забезпечити належну швидкість прийняття необхідних рішень навіть у виключно складних умовах. Але водночас необхідно враховувати, що процеси та механізми прийняття рішень з використанням елементів штучного інтелекту можуть суттєво відрізняються від процесів та механізмів прийняття рішень людиною. Для усвідомлення цих відмінностей потрібно, зокрема, зрозуміти, яким чином за допомогою штучного інтелекту оцінюються ситуації, формуються альтернативи та вибирається найдоцільніший варіант дій. У випадках прийняття групових рішень є необхідним також розуміння того, як відбувається узгодження рішень між різними учасниками та сприйняття ними наслідків цих рішень.

Аналіз складників процесу прийняття рішень у системах керування складними об'єктами та процесами дає змогу виокремити його основні етапи (рис.2):

1) отримання від сенсорів та сенсорних мереж даних, що характеризують як стан зовнішнього середовища, так і стан внутрішніх ресурсів системи керування;

2) оброблення даних, отриманих від сенсорів та сенсорних мереж;

3) усвідомлення характерних особливостей поточної ситуації та формування її інформаційного образу;

4) генерування можливих альтернативних варіантів дій (перший етап планування необхідних дій);

5) апіорне оцінювання альтернативних варіантів дій (другий етап планування необхідних дій);

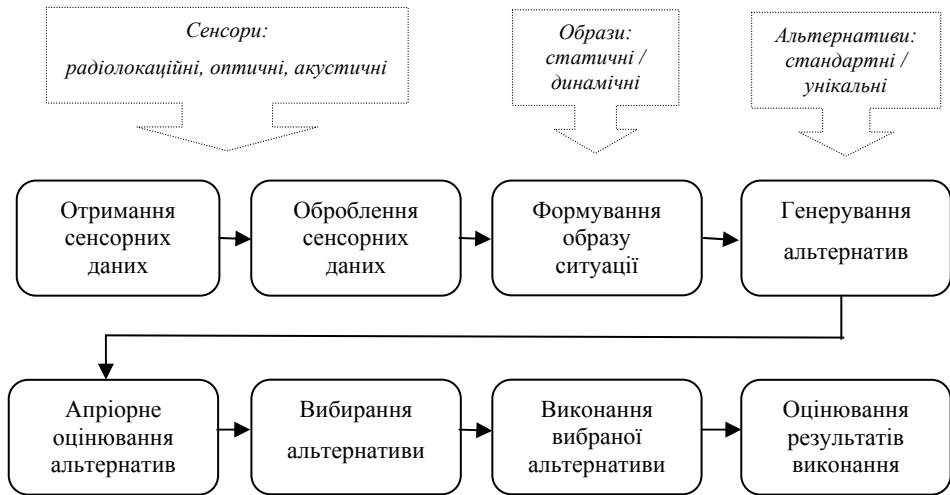


Рис. 2. Основні етапи процесу прийняття рішень в інтелектуалізованих системах керування

- 6) вибирання найдоцільнішого альтернативного варіанту дій;
- 7) виконання вибраного варіанту дій;
- 8) апостеріорне оцінювання результатів виконання вибраного варіанту дій.

Для визначення того, яким чином штучний інтелект може допомогти на тому або іншому етапі прийняття рішень, необхідно створити та дослідити підходи до використання елементів штучного інтелекту на цих етапах.

СЕНСОРНІ МЕРЕЖІ В СИСТЕМАХ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ

Основним джерелом інформації у сучасних системах є оброблення даних, отриманих від різних типів давачів (радіолокаційних, оптичних, акустичних та ін.). Удосконалення технології виробництва таких пристроїв привело до суттєвого поліпшення їхніх експлуатаційних характеристик за одночасним зменшенням ваги та габаритів. Розроблення ефективних методів поєднання окремих давачів у сенсорні мережі дало змогу отримувати великі обсяги різноманітних даних щодо стану та особливостей зовнішнього середовища. Це має особливе значення для побудови систем інтелектуального керування, які повинні не лише ефективно функціонувати у складному та змінному середовищі, а й мати здатність певним чином впливати на стан цього середовища. Зазначимо, що наразі створення інтелектуального середовища стає одним з перспективних напрямів удосконалення сучасних систем. Так, у роботі [9] робиться висновок щодо значного потенціалу використання сенсорних мереж для створення нових типів систем, які будуть здатні не лише виявляти певні події та належним чином реагувати на них, але й активно впливати на зовнішнє середовище. Подібний вплив спрямовано на інтелектуалізацію тих або інших компонентів цього середовища, підвищуючи загальний рівень інтелектуальності системи. Отже, однією з принципових відмінностей процесу прийняття рішень у автономному керуванні від традиційного процесу прийняття рішень є особлива важливість наявності потужних сенсорів та сенсорних мереж, що забезпечують отримання

мання інформації як про зовнішнє середовище, так і про стан внутрішніх ресурсів системи. Саме наявність необхідних даних, а також можливість їх вчасного оброблення для усвідомлення характерних особливостей поточної ситуації, є критичними факторами для побудови ефективних систем автономного керування складними об'єктами та процесами.

Сенсорні мережі є потужним засобом отримання великих обсягів складно структурованих даних, особливо необхідних на таких етапах інтелектуальної поведінки, як усвідомлення стану зовнішнього середовища та аналіз результатів. Під час цих етапів відбувається трансформація даних та інформації у знання щодо різних аспектів поточної ситуації. Методи штучного інтелекту можуть стати в нагоді як для формування, так і для комбінування та відображення тих або інших компонентів знань. Ще ширше застосування штучний інтелект може знайти на етапах формування альтернативних варіантів дій та прийняття рішення про найдоцільніший варіант. Використання елементів штучного інтелекту на цих етапах має на меті вироблення ефективних засобів генерування та ухвалення рішень. Для досягнення цього необхідно проаналізувати суттєві взаємозв'язки методології штучного інтелекту та сучасних теорій прийняття рішень, а також створити механізми їх взаємоузгодженого використання та можливої інтеграції. Слід також зазначити, що нелінійна динаміка об'єктів та процесів керування зумовлює складність аналізу їх функціональної поведінки. Іноді навіть застосування нелінійних моделей не дає змогу з достатньою повнотою описувати такі об'єкти та процеси. Один з можливих засобів подолання вказаних перешкод базується на набутому досвіді успішних дій у подібних складних середовищах. Цей напрям формування та використання знань знайшов відображення у побудові експертних систем.

ВИКОРИСТАННЯ ОБРАЗІВ ПОТОЧНОЇ СИТУАЦІЇ ДЛЯ ПЛАНУВАННЯ ДІЙ

Перспективним підходом до побудови інтерактивних систем керування складними динамічними об'єктами та процесами є формування образів, що відображають інформацію щодо суттєвих складників зовнішнього середовища та їхніх найважливіших взаємозв'язків. За рахунок цього можливе створення структури процесу прийняття рішень, яка базується на усвідомленні та використанні таких інформаційних образів поточної ситуації. Ці образи, що підкреслюють її найхарактерніші властивості, можуть мати вигляд аналітичних або структурних моделей, чи навіть подаватися у вербальній формі. У такому випадку основною функцією цілісної інтелектуальної системи є інтеграція суб'єктивних суджень (наприклад, щодо обмежень на застосування наявних моделей) і результатів оперування цими моделями. Образи поточної ситуації можуть застосовуватися на різних етапах процесу прийняття рішень — для знаходження невідповідності між складниками отриманої інформації, для здійснення генерації альтернатив, для підтримки процесу вибору найприйнятнішої альтернативи, для здійснення апріорного та апостеріорного аналізу результатів впровадження вибраної альтернативи, для планування необхідних корегувальних дій.

Планування в інтерактивних системах здійснюється в процесі відповідним чином організованої людино-машинної взаємодії. На противагу цьо-

му, формування планів дій в системах штучного інтелекту повинно відбуватися в автономному режимі. Зазначимо, що автономне планування є перспективною науковою галуззю, у якій може бути розроблено низка передових технологій та систем. Одним з найважливіших напрямів досліджень у галузі автономного планування є інтеграція процесів формування та виконання дій. Для забезпечення подібної інтеграції є необхідним адекватне оцінювання динаміки поточної ситуації, що можливо лише за рахунок розуміння структурних особливостей процесів міркування та їх застосування для побудови автономної системи. Під час планування в інтерактивних системах підтримку цього процесу здійснюють за рахунок генерування інформаційних образів поточної ситуації та їхнього відображення у формі, що є найприйнятнішою для людини, яка ухвалює рішення. У цьому випадку слід вирізняти застосування образів для підтримки процесу швидкого внесення коректив у вибрані плани (динамічне перепланування) від застосування образів для підтримки процесу поступового внесення коректив у вибрані плани (еволюційне перепланування). На рис. 3 та 4 наведено приклади використання образу поточної ситуації для, відповідно, динамічного та еволюційного перепланування траєкторії руху транспортного засобу.

Отже, системи інтелектуального керування можуть функціонувати як у режимі людино-машинної взаємодії, так і в автономному режимі. Кожен із зазначених режимів має свої особливості, що визначає доцільність використання того чи іншого інформаційного образу у тих чи інших ситуаціях. Водночас в обох випадках цілі керування визначаються або безпосередньо людиною чи групою людей, або в процесі взаємодії комп'ютерних засобів з людиною чи групою людей.

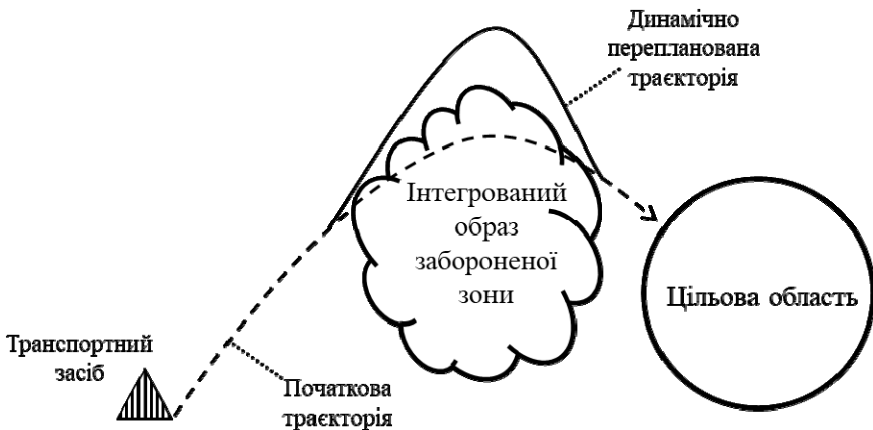


Рис. 3. Приклад використання образу поточної ситуації для динамічного перепланування траєкторії руху транспортного засобу

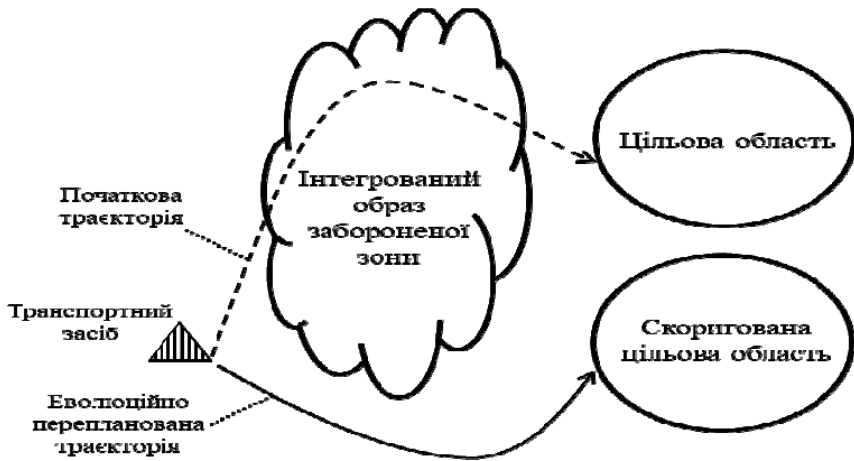


Рис. 4. Приклад використання образу поточної ситуації для еволюційного перепланування траєкторії руху транспортного засобу

Досягнення же поставлених цілей можливо як за допомогою інтерактивних, так і за допомогою автономних інтелектуальних систем. Під час здійснення інтелектуальної діяльності людиною деякі з етапів узагальненого процесу прийняття рішень (такі, наприклад, як усвідомлення поточної ситуації чи формування альтернатив) можуть виконуватися підсвідомо, використовуючи набуті раніше знання та досвід поведінки у подібних обставинах. Але і в цьому випадку формування та використання деяких узагальнених формалізованих образів поточної ситуації (наприклад, застосування інтегрованих областей безпечних маневрів для вирішення проблем попередження зіткнень та інших навігаційних завдань) можуть суттєво допомогти в аналізі складних конфліктних ситуацій у режимі реального часу. Для автономних систем з елементами штучного інтелекту формалізовані образи поточної ситуації є невід’ємним компонентом підготовки та виконання дій, які можуть трактуватися стороннім спостерігачем як інтелектуальні. До того ж конкретні механізми здійснення інтелектуальної поведінки людиною та системами з елементами штучного інтелекту можуть суттєвим чином відрізнятися. Однак отримані результати і в тому, і в іншому випадку можуть бути певною мірою ідентичними — тобто такими, що дають змогу успішно вирішувати проблеми, які за своєю сутністю є інтелектуальними.

Формування образів поточної ситуації є першим кроком на шляху побудови методів та моделей автономного образного мислення та їхнього використання для розв’язання завдань інтелектуального керування. Здатність до власного образного мислення уможливує надання інтелектуалізованій системі таких властивостей: можливість ефективно діяти у непередбачуваних та швидкоплинних ситуаціях, достатню надійність роботи у шкідливих та агресивних середовищах, належний рівень адаптації як до змін зовнішньої обстановки, так і до змін у структурі та параметрах самої системи. Ґрунтуючись на використанні вищенаведених властивостей, можливо забезпечити якість та стійкість керування навіть у найнесприятливіших ситуаціях, наприклад, за умов обмеженості матеріальних ресурсів, дефіциту часу, а також неповноти наявної інформації.

Важливим фактором образного мислення є цілісне сприйняття явищ і процесів на основі побудови, подання та усвідомлення їх інтегральних інформаційних образів. Тому моделі образного мислення можуть бути основою врахування істотних взаємозв'язків між цільовими настановами, об'єктом та середовищем з метою створення ефективних систем інтелектуального керування.

ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕДУРИ ВИБОРУ В АВТОНОМНИХ СИСТЕМАХ

Важливою передумовою вирішення проблеми інтелектуалізації процесу прийняття рішень в автономних системах є вироблення шляхів інтелектуалізації процедури вибору найприйнятнішої альтернативи. На відміну від інтерактивних систем, де вибір здійснюється у ході належним чином організованої процедури людино-машинного діалогу, автономні системи повинні здійснювати вибір автоматично. Для цього необхідним є розроблення моделей штучного інтелекту для оцінювання та вибирання альтернатив у різних можливих ситуаціях та за різних рівнів інформаційних обмежень. У тому випадку, якщо такі моделі ґрунтуються на створенні та використанні інформаційних образів, можна сформулювати деякі додаткові вимоги до їхніх структури та властивостей. Такі інформаційні образи повинні не лише адекватно відображати істотні, часто замасковані та складні для розуміння аспекти поточної ситуації, а й забезпечувати можливість для порівняно легкого оперування різними компонентами образів. Це завдання виконують алгоритми фільтрації інформації, які визначають, які аспекти поточної ситуації доцільно включити до складу інформаційних образів та яка форма подання тих або інших компонентів образів є найприйнятнішою. Необхідно також виконувати аналіз чутливості компонентів інформаційних образів до можливих змін характеристик поточної ситуації.

Процедуру вибирання в автономних системах доцільно розглядати як таку, що складається з трьох послідовних етапів. На першому з них початкова множина альтернатив A_I розбивається на дві множини A_1 та A_2 , для яких мають місце такі співвідношення:

$$A_1 \cup A_2 = A_I; A_1 \cap A_2 = \emptyset,$$

де A_1 — множина альтернатив, які за будь-яких обставин нездатні забезпечити досягнення вищевказаних наборів цілей $G_1 = \{g_1, g_2, \dots, g_r\}$ чи $G_2 = \{g_1, g_2, \dots, g_v\}$; A_2 — множина альтернатив, які потенційно зможуть забезпечити досягнення визначених цілей.

На другому етапі множина альтернатив A_2 звужується спочатку до множини припустимих альтернатив $A_R \subset A_2$, які задовольняють наявному набору поданих у формалізованому вигляді обмежень. Після цього здійснюється подальше звуження до множини альтернатив $A_E \subset A_R$, які не домінуються за Парето. У ході третього етапу здійснюється вибирання найприйнятнішої у поточній ситуації альтернативи $a \in A_R$.

Підсумовуючи вищевикладене, можна стверджувати, що інтелектуалізована автономна система повинна мати здатність ефективно діяти за умов інформаційних обмежень та у не повністю визначеному зовнішньому сере-

довищі, що до того ж постійно змінюється. Засоби адаптації до зміни умов функціонування ґрунтуються на досвіді вирішення інших, але подібних за деякими ознаками, проблем. Адаптаційні механізми спрямовано на врахування як динаміки зовнішнього середовища, так і зміни параметрів і/або структури самої системи. Для цього необхідно прогнозувати вірогідні зміни середовища, а також оцінювати вплив цілеспрямованих дій на майбутній стан системи керування.

ВИСНОВКИ

Взаємоузгоджене застосування моделей штучного інтелекту та інформаційних образів поточної ситуації є ефективним засобом інтелектуалізації процесів прийняття рішень у системах керування.

Образне сприйняття суттєвих взаємозв'язків може використовуватися на різних етапах процесу прийняття рішень – для автоматичної генерації альтернатив, розуміння невідповідності між різними джерелами даних, здійснення процедури вибору, оцінювання результатів застосування тієї або іншої альтернативи.

Важливим моментом застосування штучного інтелекту в інтерактивних системах є можливість надавати пояснення користувачу щодо обґрунтованості прийняття тих або інших рішень.

Необхідною умовою забезпечення автономного функціонування у випадках дефіциту часу та наявності великої кількості альтернативних варіантів дій є швидка адаптація до змін у зовнішньому середовищі, а також до можливої модифікації короткострокових та довгострокових цілей.

ЛІТЕРАТУРА

1. Mertoguno J.S. Human decision making model for autonomic cyber systems. *International Journal on Artificial Intelligence Tools*. 2014. Vol. 23. № 6. URL: <https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S0218213014600239>.
2. Gonzales D., Harting S. Designing unmanned systems with greater autonomy. *RAND Corporation Research Report*, Santa Monica, CA, USA. 2014. URL: https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_reports/RR626/RAND_RR626.pdf.
3. Bradshaw J.M., Hoffman R.R., Johnson M., Woods D.D. The seven deadly myths of "autonomous systems". *IEEE Intelligent Systems*. 2013. Vol. 28. №3. P. 54–61.
4. Groumpos P.P. Complex systems and intelligent control: issues and challenges. *IFAC Proceedings Volumes*. 2001. Vol. 34. №8 P. 29–36. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667017407907>.
5. Artificial Intelligence (AI): What is it and how does it work? URL: <https://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=5424a424-c590-45f0-9e2a-ab05daff032d>.
6. Schubert J., Brynielsson J., Nilsson M., Svenmarck Artificial intelligence for decision support in command and control systems. *Proceedings of the 23rd International Command and Control Research & Technology Symposium "Multi-Domain C2"*, Pensacola, FL, USA. 2018. URL: https://www.researchgate.net/publication/330638139_Artificial_Intelligence_for_Decision_Support_in_Command_and_Control_Systems.
7. Cunneen M., Mullins M., Murphy F. Autonomous vehicles and embedded artificial intelligence: the challenges of framing machine driving decisions. *Applied Artificial Intelligence*. 2019. Vol. 33. №8. P. 706–731.

8. Phillips-Wren G. AI tools in decision making support systems: a review. *International Journal on Artificial Intelligence Tools*. 2012. Vol. 21. № 2. URL: https://www.researchgate.net/publication/235705583_Ai_Tools_in_Decision_Making_Support_Systems_a_Review.
9. Petitti A., Di Paola D. A network of stationary sensors and mobile robots for distributed ambient intelligence. *IEEE Intelligent Systems*. 2016. Vol. 31. №6. P. 28–34.

Отримано 04.042021

REFERENCES

1. Mertoguno J.S. Human decision making model for autonomic cyber systems. *International Journal on Artificial Intelligence Tools*. 2014, Vol. 23, № 6. URL: <https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S0218213014600239>. – Title from the screen.
2. Gonzales D., Harting S. Designing unmanned systems with greater autonomy. *RAND Corporation Research Report*, Santa Monica, CA, USA, 2014. URL: https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_reports/RR600/RR626/RAND_RR626.pdf. – Title from the screen.
3. Bradshaw J.M., Hoffman R.R., Johnson M., Woods D.D. The seven deadly myths of "autonomous systems". *IEEE Intelligent Systems*. 2013, Vol. 28, № 3, pp. 54–61.
4. Groumpos P.P. Complex systems and intelligent control: issues and challenges. *IFAC Proceedings Volumes*. 2001, Vol. 34, №8, pp. 29–36. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667017407907>. – Title from the screen.
5. Artificial Intelligence (AI): What is it and how does it work? URL: <https://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=5424a424-c590-45f0-9e2a-ab05daff032d>. – Title from the screen.
6. Schubert J., Brynielsson J., Nilsson M., Svenmarck P. Artificial intelligence for decision support in command and control systems. *Proceedings of the 23rd International Command and Control Research & Technology Symposium "Multi-Domain C2"*, Pensacola, FL, USA, 2018. URL: https://www.researchgate.net/publication/330638139_Artificial_Intelligence_for_Decision_Support_in_Command_and_Control_Systems. – Title from the screen.
7. Cunneen M., Mullins M., Murphy F. Autonomous vehicles and embedded artificial intelligence: the challenges of framing machine driving decisions. *Applied Artificial Intelligence*. 2019, Vol. 33, №8, pp. 706–731.
8. Phillips-Wren G. AI tools in decision making support systems: a review. *International Journal on Artificial Intelligence Tools*. 2012, Vol. 21, №2. URL: https://www.researchgate.net/publication/235705583_Ai_Tools_in_Decision_Making_Support_Systems_a_Review. – Title from the screen.
9. Petitti A., Di Paola D. A network of stationary sensors and mobile robots for distributed ambient intelligence. *IEEE Intelligent Systems*. 2016, Vol. 31. №6, pp. 28–34.

Received 04.04.2021

Shepetukha Yu.M., PhD (Engineering), Senior Researcher,
Leading Researcher of the Intelligent Control Department
ORCID: 0000-0002-6256-5248

e-mail: yshep@meta.ua

Volkov O.Ye., PhD (Engineering),
Head of the Intelligent Control Department

ORCID: 0000-0002-5418-6723

email: alexvolk@ukr.net

Komar M.M., PhD (Engineering)
Senior Researcher of the Intelligent Control Department

ORCID: 0000-0002-0119-0964

e-mail: nickkomar08@gmail.com

INTELLECTUALIZATION OF DECISION MAKING PROCESSES IN AUTONOMOUS CONTROL SYSTEMS

Introduction. Scientific-technical level of any country in a modern world is mainly determined by a current state and development rate of informational technologies. At the same time, the main avenue of information technologies' improvement is their intellectualization. Due to intellectualization, it became possible to create advanced systems with principally novel functional capabilities, in particular, high-speed computer systems able to autonomous actions in a complex and dynamic environment. Control means for complex objects and processes play an important role in the operation of autonomous systems. Therefore, the study of theoretical as well as applied issues of such systems' construction is an important scientific and engineering problem.

The purpose of the paper is to examine both current state and development prospects of a new direction in the area of intelligent information technologies – the elaboration of autonomous control systems for complex objects and processes in a dynamic environment; to formulate a well-grounded approach for the increase in intellectualization level of decision processes in such systems.

Methods. The development of autonomous control systems, as well as the increase in decision making processes' intellectualization level in such systems, is based on the usage of the following conceptual, theoretical and methodological instruments: the theory of informational technologies' intellectualization, the methodology of intelligent control, the theoretical fundamentals of artificial intelligence systems' construction, decision making methods, the methodology of image-based reasoning, methods for simulation of image-based comprehension of environment.

Results. An approach for the consistent usage of methods of artificial intelligence, decision making and intelligent control aimed at the development of autonomous means for the control of complex objects and processes has been examined. Appropriateness of creation of the systems profiled for operations in designated problem domains has been grounded. Both specific features and components of the framework for decision making in intelligent control systems have been determined. Both necessity of the creation of intelligent environment and important role of sensor networks have been stressed. Methodology for the construction of informational images, which represent the most important components of a current situation, has been proposed. Examples of the usage of informational images for performing both dynamic and evolutionary re-planning have been considered.

Conclusions. A reasonable way for the development of intelligent control systems is the one that provides a consistent usage of different types of models. Image-based representation of a current situation's essential interconnections is an efficient instrument for the intellectualization at different stages of decision making processes — alternative generation, understanding of inconsistencies among different data sources, execution of choice procedure, evaluation of results. The application of artificial intelligence elements for decision making in autonomous systems is especially well-grounded in cases of time shortage as well as availability of a great number of existing alternatives.

Keywords: *intellectualization of information technologies, intelligent control, decision making, autonomy, artificial intelligence, image, uncertainty, adaptation.*