

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ КООПЕРАТИВНИХ РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Т. О. Говорущенко, М. В. Красовський, В. В. Шамрелюк

Хмельницький національний університет

Анотація. Кооперативна робототехніка стає провідною галуззю застосування, яка дає можливість спільного виробництва людиною та роботом. Проте складність аналізу інформації, якою обмінюються людина та кобот(и) в спільному середовищі, є основним бар'єром, що перешкоджає більш широкому використанню кооперативних робототехнічних систем. Для забезпечення розумілості інформації коботу варто використовувати онтології. Відтак актуальною задачею є розроблення багатофункціональної кооперативної робототехнічної системи на основі онтологій.

Ключові слова: кооперативна робототехніка, багатофункціональна кооперативна робототехнічна система, кооперативний робот (кобот), кооперативне спільне виробниче середовище, онтологія.

Вступ

Швидкий розвиток технології робототехніки різко змінив модель взаємодії між роботом і людиною. Перше покоління роботів – це роботи з програмним і дистанційним керуванням, здатні функціонувати тільки в організованому середовищі. Друге покоління роботів – це роботи адаптивного типу з «органами чуття», спроможні функціонувати в заздалегідь непередбачуваних умовах, пристосовуватись до змін обстановки. Третє покоління роботів – це «інтелектуальні» роботи, обладнані системами управління з елементами штучного інтелекту, які є повністю автономними і не потребують втручання оператора. Еволюція промислових роботів представлена на рис.1 [1].

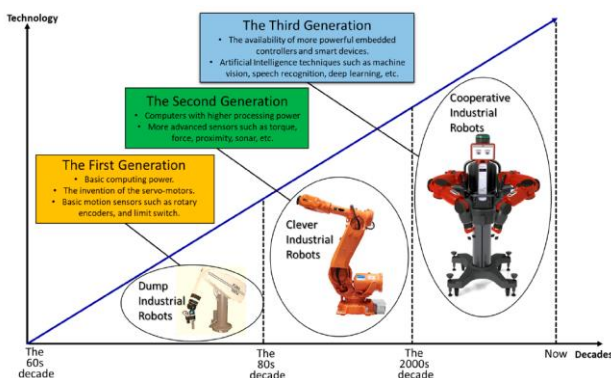


Рис. 1. Еволюція промислових роботів [1]

Наразі промисловий робот – це універсальна автоматизована машина, запрограмована на виконання у виробничому процесі багатьох послідовних команд для здійснення рухових функцій, аналогічних функціям людини, без участі людини. Застосування автономних промислових роботів є ключовим питанням для Industry 4.0 [2].

© Говорущенко Т. О., Красовський М. В., Шамрелюк В. В., 2019

Для відтворення рухових і розумових функцій людини під час виконання промисловим роботом основних і допоміжних виробничих операцій, його наділяють деякими властивостями: зором, дотиком, пам'яттю, а також здатністю до самоорганізації, самонавчання та адаптації до зовнішнього середовища [3].

Кооперативна робототехніка – це нова галузь промислової робототехніки, яка дає можливість спільного виробництва. Кооперативне виробництво значною мірою залежить від наявності кооперативного (колективного, колаборативного) робота (кобота). Кобот – це варіант промислового робота, оснащеного системою сенсорів та комп'ютерного зору, що дозволяє з високим ступенем ймовірності попереджати зіткнення пристрою з людиною та перешкодами, включаючи ситуацію збою вбудованого програмного забезпечення. Такі роботи призначені для використання не в спеціальних відгороджених зонах, а в тісній кооперації з людьми, поруч з ними. Кооперативний робот повинен мати наступні якості: відсутність необхідності в інтеграції (вся система повинна бути роботоздатною одразу); відсутність необхідності в програмуванні або навчанні (робот повинен бути готовим до роботи за лічені хвилини); наявність широких функційних можливостей; наявність розвинутої логіки для роботи з врахуванням оточуючої обстановки, включаючи автоматичне відновлення після збоїв; забезпечення безпеки при експлуатації (навіть при зіткненні з оператором на повному ході) [4]. Основна задача коботів – допомогти розв'язати складні задачі, які неможливо автоматизувати.

Кобот, як правило, є роботом, який здатний безпечно працювати з людиною у спільному робочому середовищі, в той час як звичайний промисловий робот може працювати лише в ізоляції від робочого простору, оскільки маніпулює важ-

кими об'єктами і є небезпечним для роботи в безпосередньому контакті з людиною [1, 5]. Кобот змінює поняття автоматизації від повністю автоматизованих операцій до напівавтономних операцій, де рішення працівника впливатимуть на дії кобота і навпаки [6]. Коботи дуже прості в програмуванні, деякі моделі коботів навіть самостійно навчаються, крім цього, їх легко пересувати та використовувати в інших точках [5].

Очікується, що ринок коботів досягне 12303 млн. дол. США до 2025 р. з 710 млн. дол. США у 2018 р., тобто на 50,31% протягом 2018-2025 років – рис.2, 3 [7]. Це зумовлено високими показниками рентабельності інвестицій (від 6 до 12 місяців), відносно низькою ціною коботів (близько 20000 дол. США), мінімальним часом від моменту доставки до впровадження у виробничий процес, легкістю програмування та безпекою (лінійна швидкість кобота – 2 м/с, інтелектуальні рішення, які автоматично зупиняють кобота при контакті з людиною).



Рис. 2. Очікуваний розвиток ринку коботів [7]

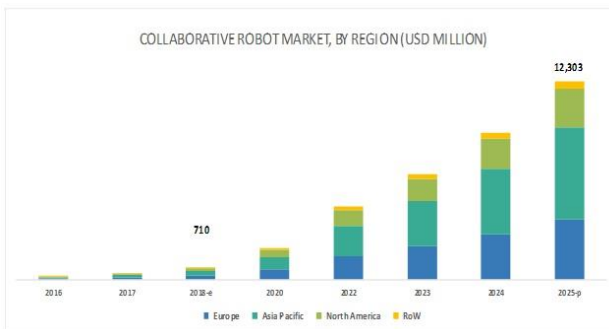


Рис. 3. Розвиток ринку коботів по регіонах [7]

Найбільшу частку ринку займатимуть коботи ванатажопідйомністю до 5 кг завдяки їх високій простоті розгортання, високій адаптивності, доступності та характеристикам підключення і відтворення. На сьогодні коботи вже успішно використовуються в харчовій промисловості (наприклад, на заводі з виготовлення молочних продуктів Mjolkursamsalan Ayrureyri (Ісландія)), у виробництві електроніки (наприклад, на Paradigm Electronics (Канада)), в автомобілебудуванні (наприклад, при збиранні автомобілів на SEW-Eurodrive в Baden-Württemberg (Німеччина)), в швейному виробництві для автоматизованого пошиття одягу (стар-

тап Sewbo), в машинобудуванні, в металообробній промисловості, для пакування та палетування, погрузки та переміщення, для перевірки якості продукції, в зв'язку (стартап Creating Revolutions), навіть для роботизації масажу [8]. Популярними є також перспективні стартапи, в яких роборука виконує супутню роль (робот-бариста і т.і.). Однак потенційна галузь їх застосування є значно ширшою – всі види виробництва (в т.ч. легка і харчова промисловість), офісна робота, соціальна сфера [7].

Враховуючи актуальність використання кооперативної робототехніки, інтенсивний розвиток ринку коботів, метою даного дослідження є аналіз сучасних проблем багатофункціональних кооперативних робототехнічних систем.

1. Аналіз відомих методів та рішень в галузі кооперативної робототехніки

Створення кооперативних роботів, які працюють в тісному контакті з людиною, – напрям, який інтенсивно розвивається. Актуальність розроблення таких роботів обумовлена необхідністю надання допомоги людям при виконанні важких робіт на промислових підприємствах і повсякденних робіт по дому, догляді за похилими людьми та інвалідами, медичному обслуговуванні в лікарнях та післяопераційній реабілітації, забезпеченні досугу та навчання. Кооперативне застосування, природне для подібних задач, передбачає абсолютну безпеку, високу функційну гнучкість та автономність використовуваних роботів. Для цього необхідне розроблення нових технологій в галузі управління, створення нових конструктивних рішень, розроблення алгоритмів планування та виконання рухів, які забезпечують безпеку фізичної взаємодії людини та робота [9].

Кооперативний робот повинен задовольняти вимогам Міжнародних стандартів, основним з яких є стандарт ISO/TS 15066:2016 [10], який є фактично технічною специфікацією, зокрема, вимог безпеки для коботів, для сумісної роботи промислових робототехнічних систем та робочого середовища. Цей стандарт є керівництвом для проведення оцінки ризиків при сумісній роботі людей та коботів. Згідно з [10], є 4 форми сумісної роботи: контрольована зупинка (Safety-rated monitored stop) – використовується, коли робот діє в основному самостійно, але іноді людина може увійти до його робочого простору; ручне введення (Hand guiding) – використовується для точних операцій з важкими об'єктами; контроль швидкості та розділення зон (Speed and separation monitoring) – використовується для одночасної роботи людини та робота; обмеження потужності та зусиль (Power and force limiting) – також вико-

ристовується для одночасної роботи людини та робота, при цьому сила та потужність робота контролюються так, що випадковий контакт між роботом та оператором не завдасть шкоди.

Автори [11] розглядають наступні класи задач офісних коботів: 1) задача призначення (destination task) – користувач відправляє робота в певну локацію (Go-To-Room task), щоб він доставив певне повідомлення (Deliver-Message task); 2) транспортна задача (transport task) – користувач направляє робота отримати об'єкт транспортування та перевезти його в іншу локацію; 3) задача супроводу людини до вказаної локації (escort task) – робот чекає людину і супроводжує її до певного місця розташування; 4) задача напівавтономної телеприсутності (telepresence task) – користувачі вимагають віддаленого представлення та уникнення перешкод для мобільного робота з автономною навігацією через веб-інтерфейс телеприсутності.

Розподілене кооперативне вирішення проблем являє собою мережу з напівавтономних обробних вузлів, що працюють разом для розв'язання проблем, як правило, в мультиагентній системі. Це стосується дослідження розподілення проблем, класифікації суб-проблем, синтезу результатів, оптимізації узгодження та координації вирішувача проблем. Це тісно пов'язано з програмуванням та оптимізацією розподілених обмежень [12].

У кооперативній робототехніці як людина, так і робот виконують завдання над тим самим продуктом у спільній робочій області, але не одночасно. Коботи – універсальні і можуть виконувати різні задачі. Їх можна швидко перенастроювати на розв'язання різноманітних задач. Вони не вимагають особливих умов до умов експлуатації – вони можуть встановлюватися як на повітряних судах, так і в звичайних квартирах. Роботи взаємодіють один з одним і безпечно працюють поруч з людьми та навчаються у них. Об'єднання працівника та коботу в одній виробничій комірці може забезпечити простий і дешевий спосіб гнучкого налаштування виробництва, а також спосіб адаптації до виробничих потреб у реальному часі без зупинки та змін виробничих операцій [1].

Автори [9] розглядають принципи побудови сучасних систем з керованою жорсткістю, а також загальні підходи до створення м'яких роботів, наводять приклади використання кооперативних роботів на виробництві, в медичних закладах та в побуті.

В роботі [13] доведено факт, що наразі збільшився науковий інтерес до систем, що складаються з декількох автономних мобільних роботів, які демонструють кооперативну поведінку, але при цьому теоретична підтримка такої кооперації певної кількості робототехнічних засобів все ще перебуває у стадії формування.

Автори [14] аналізують проблему багатьох простих роботів, які співпрацюють, щоб очистити брудну невиспуклу поверхню, використовуючи бруд на підлозі як основний засіб взаємодії між роботами.

Наявність декількох робототехнічних систем, здатних спільно працювати під контролем одного оператора, може спростити виконання складних завдань, які були би складними для однієї роботизованої системи. Система управління в реальному часі Sandia SMART (послідовна модульна архітектура для робототехніки та телеоперації) дозволила розробити такі системи. Системи здатні підтримувати знання про своє положення і положення інших систем, розташування об'єкта і спільну роботу для виконання складних завдань, покладених на них одним оператором [15].

Автори [16] впроваджують чотири примітивні поведінки (переміщення до мети, уникнення статичних перешкод, уникнення динамічних перешкод і уникнення поведінки роботів). При цьому роботи динамічно приймають і синхронно обмінюються ролями, щоб успішно виконати завдання і пристосуватися до несподіваних подій в середовищі. Цей метод може бути використаний для створення робототехнічної команди або навіть для координації декількох роботів при виконанні спільних завдань.

У [17] представлено результати проектування адаптивної синхронізації декількох роботів на основі розподіленого управління, проектування розподілених спостерігачів для отримання роздільної властивості, проведено розподілену оцінку бажаної кооперативної траєкторії та створено імітаційні моделі для багатокомпонентної нехолономної мобільної маніпуляторної системи.

Автори [18] показують, що запропоновано багато підходів до розробки командно-кооперативної співпраці між людьми та машинами, включаючи розподіл функцій, наглядний контроль, адаптивну автоматизацію, динамічний розподіл завдань, регульовану автономію, взаємодію з ініціативами, але всі ці підходи спираються на концепцію автономії як еталон для продуктивності машин і критерій прийняття рішень про розподіл завдань між людиною та машиною. Автори [18] доводять, що концепція рівнів автономії (рис. 4) є неповною і недостатньою для моделювання складних людино-машинних команд, в основному тому, що вона недостатньо враховує взаємозалежність їх членів. У статті введено поняття коактивного дизайну, запропоновано підхід до людино-машинної взаємодії, який приймає взаємозалежність як центральний принцип організації між людьми та агентами, які працюють разом як команда.

Level	Description
High	10. The computer decides everything, acts autonomously, ignoring the human.
	9. The computer informs the human only if it, the computer, decides to.
	8. The computer informs the human only if asked, or
	7. The computer executes automatically, then necessarily informs the human, and
	6. The computer allows the human a restricted time to veto before automatic execution, or
	5. The computer executes that suggestion if the human approves, or
	4. The computer suggests one alternative
	3. The computer narrows the selection down to a few, or
	2. The computer offers a complete set of decision/action alternatives, or
	1. The computer offers no assistance; the human must take all decisions and actions.
Low	

Рис. 4. Рівні автоматизації [18]

У [19] розроблено систему планування траєкторії, засновану на штучній нейронній мережній архітектурі. Доведено, що впроваджена нейронна стратегія управління була ефективною схемою для контролю взаємодії людини з роботом при генерації біологічно натхнених рухів у сценарії роботи з робототехнічною хірургією, коли робот-помічник поділяє виконання завдань або передає інструменти хірургу.

Автори [20] представляють дві різних методики для скоординованої мульти-роботової команди для пошуку та відстеження людей: один заснований на алгоритмі навчання армування (reinforcement learning algorithm), а інший – на фільтрі частинок (particle filter). Особа відстежується, якщо вона видима, інакше дослідження здійснюється шляхом створення балансу між переконанням, відстанню і тим фактом, чи будуть інші місця досліджені іншими роботами.

У [21] досліджено і вивчено проблему планування мульти-роботів, включаючи планування завдань і планування руху; визначено дві архітектури прийняття рішень, в тому числі централізовані та децентралізовані підходи; обговорено координацію між роботами в двох аспектах, включаючи статичну і динамічну, а також комунікацію як засіб координації.

На даний момент розвиток та масове поширення коботів значною мірою стримується такими *невирішеними проблемами*, як проблема постановки складних місій та проблема автономного навчання коботів цілеспрямованим діям з заданою якістю. Вирішення зазначених проблем пов'язане з вирішенням теоретичних питань формалізації семантики «здорового глузду», розробленням імітаційних моделей розуміння ситуацій та контекстів, синтезом субоптимального управління комплексною динамікою кобота, розробленням моделей самонавчання [22].

Формалізація семантики «здорового глузду» для коботів ефективно виконується за допомогою онтологій. Аналіз онтологій як основи багатофункціональної кооперативної робото-технічної системи проведено в наступних розділах статті.

У [22] пропонується вирішення проблеми постановки складних місій на основі такого формального підходу, як мультиагентні когнітивні архітектури, які самостійно організуються. Семантична система, побудована на основі даного формалізму, дозволяє в автономному режимі створювати поняття та категорії, використовуючи потоки вхідної інформації та інтерактивну взаємодію з користувачами та іншими системами, розширяти систему цих понять та категорій і уточнювати зв'язки між ними. Вирішення проблеми автономного навчання коботів цілеспрямованим діям з заданою якістю пов'язане з побудовою процесів мультиагентної динаміки, яка виникає за наявності неузгодженості між цільовими та фактичними значеннями контрольних параметрів, що визначають відповідність поведінки кобота заданому функціоналу.

У [23] для формалізації таких задач кобота, як вибір і розміщення, а також в якості способу структурування перемикання між різними задачами використовуються поведінкові дерева (Behavior Tree). Поведінкові дерева використовуються як основа ефективних і простих у використанні принципів розробки коботів, забезпечують такі важливі властивості, як безпека, стійкість і ефективність. Автори [23] описують також набір інструментів для формального аналізу за допомогою формування кооперативного простору (середовища) за допомогою поведінкових дерев.

Автори [24] для формалізації задач офісних роботів вводять сумісну ймовірнісну модель, яка складається з семантичного аналізатора (парсера) та бази знань для зберігання та повторного використання.

Аналіз задач, на вирішення яких орієнтовано розроблення коботів, показав, що є ряд задач, які піддаються формалізації та легкій автоматизації (переміщення предметів, слідування за траєкторією без зусиль або з постійним зусиллям), але є задачі, які є важкоформалізованими, а також такими, які важко автоматизуються (контроль зусиль) [25]. *Інтерес для подальших досліджень представляє другий клас задач*, які, внаслідок своєї важкоформалізованості, вимагають використання методів штучного інтелекту для їх розв'язання.

Існує багато потенційних додатків для коботів, які дозволяють їм ефективно працювати з людьми. Весь процес роботи програмується шляхом навчання або за допомогою відносно спрощених режимів програмування. При алгоритмізації та програмуванні коботів простою задачею є реалізація повторюваних рухів в одній послідовності (без умов та дерев), але важкими для автоматизації задачами є підключення та налаштування датчиків, програмна інтеграція з верстатами, реалізація складної логіки та множини умов в залежності від ін-

формації з датчиків [25], але знов-таки практичний інтерес представляє вирішення саме задач другого типу. При створенні програмного забезпечення коботів для вирішення складних задач може використовуватись розроблена у [26] математична модель прийняття рішень роботом в залежності від емоційного псевдовиховання та логічного досвіду. Робота [27] вивчає програмні рішення, які дають можливість зменшити зусилля програмування керування датчиками коботів. Рухи робота виражені з використанням обмежень і об'єднані в навички кобота, які зберігаються в базі знань разом з семантичним описом, що дозволяє повторне використання. У [27] розроблено інтерфейс користувача, що забезпечує просте програмування подвійних навичок для неспеціалістів та експертів, запрограмовано інтерфейс для опису задачі неструктурованою природною мовою із заданим користувачем словником, а також розроблено програмну реалізацію, в якій код низького рівня генерується з описів високого рівня та яка значно зменшує кількість показників, що передаються користувачу, і скорочує час програмування до 80%.

Проведений аналіз відомих методів та рішень в галузі кооперативної робототехніки свідчить про те, що було досягнуто значного прогресу в кооперативній робототехніці, але наразі все ж залишається ряд невирішених питань, зокрема: 1) як кооперативна робототехнічна система може обробляти більш складні завдання, які можуть вирішувати люди? – проста схема дворівневого планування завдань більше не підходить; важливою є багатопланова схема, що включає аналіз завдань, узгодження завдань, виконання завдань і нагляд за завданнями; 2) як забезпечити надійність руху фізичної кооперативної робототехнічної системи у реальному світі? – невирішеними залишаються проблеми зіткнення, перевантаження та заїзду в тупик; 3) як більш раціонально спланувати та проаналізувати інформацію, отриману кожним окремим роботом (а потім зробити їх рішення більш ефективними)? – існує вимога обміну інформацією, оскільки робот в команді може тільки сприймати місцеву інформацію; ефективно злиття даних може допомогти створити ефективний план, а потім провести координацію між роботами; 4) як організувати легке втручання людини до кооперативної робототехнічної системи відповідно до потреб? – наразі багато завдань все ще надто складні для роботів, і координація між людьми і роботами повинна бути вивчена, оскільки в сучасних умовах взаємодія людини з машиною є повсюдною.

Подальші дослідження авторів будуть спрямовані саме на вирішення питання, пов'язаного із підвищенням якості аналізу інформації, отриманої

кожним роботом та подальшим підвищенням ефективності прийнятих коботами рішень. Однією з найважливіших задач з цієї точки зору є представлення спільного виробничого середовища та компонентів, а також пришвидшення та підвищення якості опрацювання інформації.

2. Аналіз кооперативного спільного виробничого середовища

У кооперативній робототехніці як людина, так і робот виконують завдання над тим самим продуктом у спільній робочій області, але не одночасно. Кооперативний спільний робочий простір (середовище) – це середовище, де робот і людина можуть виконувати завдання одночасно під час автоматичної роботи. Кооперативне спільне виробниче середовище включає кобота, співробітників та інші компоненти виробництва (в т. ч. й продукт). Усі компоненти кооперативної системи виробництва повинні спілкуватися та обмінюватися своїми знаннями, обробляти загальну інформацію.

Автори [28] провели дослідження рішень для пошуку ефективної координації між автономними агентами для виконання поставленого завдання з метою досягнення високої якості загальної продуктивності, зокрема, детально дослідили багатоагентні робототехнічні системи (MARS – multi-agent robot systems), а також їх основні елементи – тип агентів, архітектури управління, комунікації. Для забезпечення високої продуктивності агентів, комунікації є найважливішим питанням.

Останнім часом все більше уваги приділяють розподіленим інтелектуальним системам, які обмінюються знаннями одна з одною, використовують спільні знання, реалізують можливості повторного використання знань. Сучасні робототехнічні системи складаються з множини досить самостійних модулів. Такий модуль, який часто є автономною частиною системи, можна розглядати як агента, що працює в межах цієї системи і який обмінюється знаннями з іншими її модулями за допомогою повідомлень [29].

Через виробниче середовище коботу надходять величезні обсяги даних щодня, при цьому є проблема опрацювання всіх цих даних, управління цими даними, забезпечення безпеки кобота та всіх даних спільного кооперативного середовища. Тоді необхідно розробити теоретичну основу для розумного виробничого середовища, в якому люди, коботи і комп'ютерні пристрої спілкуються і співпрацюють один з одним за допомогою хмарних обчислень та Інтернету речей [30].

Будь-які конструкції для використання коботів у спільному робочому середовищі повинні бути безпечними. Це пояснюється тим, що коботи функціонують у так званій системі «людина-кобот-

середовище». У цій системі коботи і люди працюють як команда в спільному робочому середовищі. Кожна з них має свої завдання і обов'язки, які вимагають взаємної координації та спілкування. Якщо існує занадто багато небезпек у навколишньому середовищі, ризик втрати інформації збільшує ризики для працівників. Ризики в навколишньому середовищі внаслідок падіння корисного навантаження, виступаючих предметів або перешкод вздовж маршруту можуть становити ризик для людей і для коботів. Навколишнє середовище повинно мати достатньо місця, щоб дозволити як коботам, так і людям уникати перешкод [31].

Форми співпраці людини та робота в кооперативному середовищі представлено на рис. 5 [32].

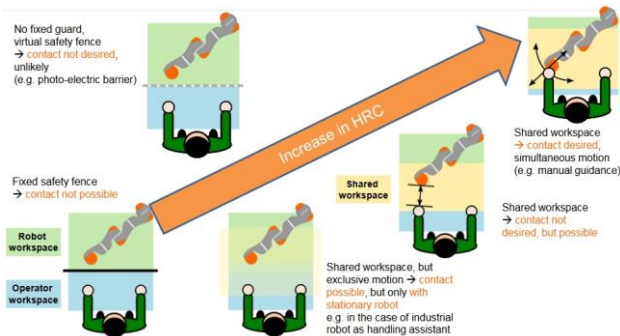


Рис. 5. Форми співпраці людини та робота [32]

Метою роботи [33] є вдосконалення планування руху без колізій в динамічному середовищі з метою забезпечення безпеки людини під час спільних завдань, таких як розподіл виробничої діяльності між людиною і роботом. Пропонована система пропонує метод генерування траєкторій для промислового маніпулятора в спільному робочому просторі. Для створення шляхових точок, необхідних для уникнення динамічних перешкод, застосовується нейронна мережа з використанням контрольованого навчання.

Робота [34] фокусується на сценарії автономного кобота-гуманоїда, що працює разом з людиною, обмінюючись робочим простором і об'єктами, необхідними для виконання завдання. Роботизований член такої команди повинен бути здатний працювати в напрямку спільної мети і узгоджуватись з людиною щодо послідовності дій, які будуть потрібні для досягнення цієї мети, а також динамічно коригувати свій план відповідно до дій людини. Співпраця людини і кобота є важливим, але відносно невивченим видом такої взаємодії. Пропонований у [34] підхід виникає зі спільної теорії намірів, яка показує, що коли з'являються спільні дії, члени команди повинні спілкуватися, щоб зберегти набір спільних переконань і координувати свої дії по відношенню до спільного плану. Крім того, вони повинні продемонструвати свою відданість виконанню своєї ролі, забезпе-

ченню взаємної підтримки і, нарешті, взаємній вірі щодо стану завдання. Так, у [34] представлено цілеспрямоване ієрархічне представлення завдань і систему спільного переходу для спільного виконання завдань маніпуляції з ієрархічними об'єктами командою «робот-людина». Робот активно підтримує чіткий і інтуїтивно зрозумілий канал комунікації для синхронізації цілей, завдань і дій, в результаті чого відбувається ефективна співпраця.

Забезпечення безпеки людини є одним з найважливіших міркувань у сфері взаємодії людини та робота. Це не просто передбачення запобігання колізій між людьми та роботами, що працюють в межах спільного простору; тут слід враховувати всі можливі шляхи, за допомогою яких шкода може прийти до людини, починаючи від фізичного контакту з несприятливими психологічними ефектами, що виникають внаслідок неприємної або небезпечної взаємодії під час взаємодії людини та робота. Виділяють чотири основні категорії в цій сфері: безпека через контроль, планування руху, прогнозування і розгляд психологічних факторів [35].

В роботі [36] промислова клітина-робот імітує навколишнє середовище на будівельному майданчику; коли в зону безпеки входить людина, робот відводиться, але продовжує виконувати свої робочі завдання зі зниженою швидкістю і на безпечній відстані від оператора.

Взагалі, проблеми кооперативного спільного виробничого середовища можна розглядати з різних ракурсів, проте найважливіші виклики узагальнено представлені на рис. 6 [1].

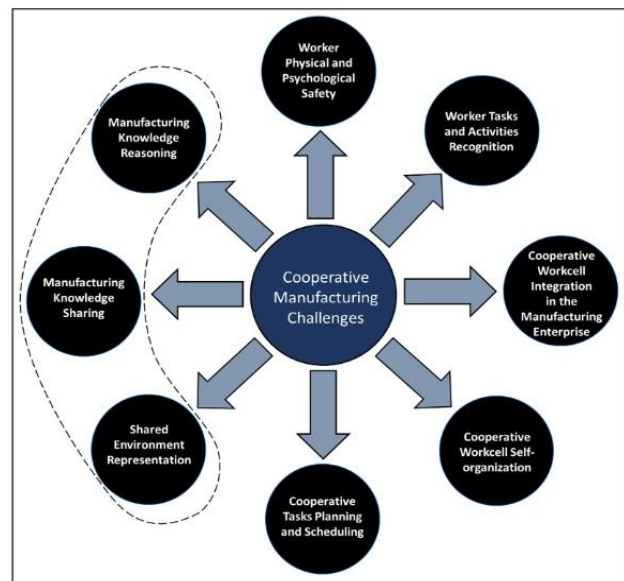


Рис. 6. Виклики кооперативного середовища [1]

Усі компоненти кооперативної системи виробництва повинні спілкуватися та обмінюватися своїми знаннями, обробляти загальну інформацію.

Ці знання та інформація, як правило, подані природною мовою, яка є читабельною для людини та повинна бути зрозумілою для кобота. Тому є *потреба забезпечити зрозумілість відповідних знань та інформації коботу*, що можливо досягти за рахунок використання онтологій, які забезпечують формалізацію семантики «здорового глузду» [37].

3. Аналіз онтологій як основи багатофункціональної кооперативної робототехнічної системи

Онтології – це формальні концепції конкретних предметних галузей. Вони дозволяють концептуалізувати домен фіксуванням сутностей та зв'язків у домені. Визначення, в яких зв'язках бере участь сутність, частково дозволяє зрозуміти її значення (вміст), оскільки це надає можливість бачити, де дана сутність входить у відношення з іншим доменом [38].

Перевагами використання онтологій є системний підхід до вивчення предметної галузі, можливість цілісного подання відомої інформації предметної галузі, виявлення дублювань та прогалин у знаннях на основі візуалізації відсутніх логічних зв'язків, можливість доступу, розуміння та аналізу інформації агентами (що є дуже актуальним при сучасному переході до ери семантичного вебу, коли ресурси повинні бути зрозумілими не тільки для людини, але й для агентів) [39].

Онтології визначаються як ключова технологія для розвитку семантичного вебу і відіграють критично важливу роль в організації опрацювання інформації на базі Web, її спільного використання та обміну нею між додатками [38].

Онтології найчастіше використовуються для моделювання предметних галузей, для яких застосовуються коботи. Оскільки кожна предметна галузь має свої особливості, то онтологічні моделі будуть сильно відрізнятися для різних предметних галузей. Для прийняття рішення щодо того, в якій предметній галузі працюватиме розроблений кобот, слід проаналізувати відомі онтологічні моделі.

У роботі [26] розроблено онтології знань про роботизовані пристрої та навички коботів.

Автори [1] пропонують розподілене рішення, яке поєднує в собі мультиагентну систему на основі онтологій (MAS) і систему управління бізнес-правилами (BRMS), щоб вирішити згадані проблеми в кооперативному середовищі.

У [6] запропоновано архітектуру Holon Control Architecture (HCA) на основі онтологічного підходу як рішення для обміну та передачі знань, необхідних для досягнення складних сценаріїв взаємодії між працівником і коботом. В той час, як HCA є концептуальною моделлю, агентно-

рієнтована технологія – це рішення загального призначення, яке може застосовувати HCA.

У роботі [40] представлено робочий процес для розробки та розгортання архітектури для виконання роботою хірургічного завдання, де скелет компонентів архітектури автоматично виводиться з онтологічного опису. Автори [40] формалізували базові знання таким чином, щоб їх можна було читати і обробляти як людиною, так і машиною. Онтології можуть описувати абстрактні речі (робочі процеси або завдання), а також реальні речі (пристрої).

Автори [41] за допомогою онтологічної інженерії, хмарної бібліотеки та семантичних технологій розробили роботизовану систему хірургічної допомоги на основі онтології. Впроваджено онтологію, яка надає базу знань з кодами хірургічних інструментів, тривимірною інформацією про моделі як екземпляри. Кінцеві результати оцінювались за допомогою програми, що дозволяє запитувати онтологію і знаходити модель приладу, яка могла б використовуватися для розпізнавання приладів.

Орієнтований на знання контекстно-залежний фреймворк, розроблений у [42], інтерпретують онтологічні моделі хірургічних процесів і надають допомогу хірургу-роботу шляхом підтримки прийняття рішень, наприклад, контекстуальної інформації, що дає хірургу конкретний приклад хірургічної діяльності.

Технологія семантичного аналізу *Compreno*, представлена компанією *ABBYY* в квітні 2014 року, яка базується на онтологіях, які формалізують опис всієї множини термінів предметної галузі та відношень між ними, дає можливість коботу розуміти природню мову в спільному кооперативному середовищі, за рахунок чого надає людині додатковий зручний інтерфейс керування коботом [43].

Автори [44] зосереджуються на розробці апробованого рішення з управління інформацією та комунікації, щоб полегшити виробництво робочих-коботів. Крім того, вони впроваджують дослідження роботи двох працівників у співпраці з одним коботом. Онтології в даному дослідженні є концептуальним інструментом для представлення і створення загального розуміння для виробничих робочих елементів, дозволяють обмін, повторне використання та розширення знань про виробництво. Розроблені онтології складаються з: термінів або понять (об'єктів, які існують в мультиагентній системі; це примітиви, які є атомними типами даних); предикатів (описують взаємозв'язки між поняттями); дій (описують механізми або операції, які можуть виконуватися агентом).

Як показав проведений аналіз онтологій як основи багатофункціональної кооперативної робототехнічної системи, в цій галузі наразі є ряд ефективних рішень, але всі вони належать до різ-

них методологічних підходів і не інтегруються між собою, тобто наразі відсутня багатофункціональна кооперативна робототехнічна система або технологія на основі онтологічного підходу.

Висновки

Проведений аналіз відомих методів та рішень в галузі кооперативної робототехніки, а також методів формалізації задач, на вирішення яких орієнтовано розроблювані коботи, свідчить про те, що при чималій кількості ефективних рішень наразі в галузі залишається ряд невирішених питань, зокрема, проблема раціонального планування та підвищення якості аналізу інформації, якою обмінюються люди та коботи в спільному середовищі, підвищення ефективності їх рішень, а також проблема формалізації семантики «здорового глузду». Всі зазначені невирішені проблеми є важко формалізованими та потребують використання компонентів штучного інтелекту для їх вирішення.

Однією з найважливіших задач з цієї точки зору є представлення спільного виробничого середовища та компонентів, а також пришвидшення та підвищення якості опрацювання інформації. Ця інформація, як правило, подана природною мовою. Тому є потреба забезпечити зрозумілість відповідних знань та інформації коботу, що можливо досягти за рахунок використання онтологій.

Наразі є ряд рішень, в яких онтології ефективно використовуються для галузі кооперативної робототехніки, але однією з причин значної кількості невирішених питань в галузі (зокрема, проблеми аналізу інформації в спільному кооперативному середовищі) є розрізненість наявних рішень, а також відсутність багатофункціональної кооперативної робототехнічної системи або технології на основі онтологічного підходу.

Отже, *актуальною задачею* є розроблення багатофункціональної кооперативної робототехнічної системи або технології на основі онтологічного підходу. Оскільки коботи ефективно використовуються для багатьох галузей, а кожна предметна галузь накладає певні обмеження та висуває певні вимоги до онтологічних моделей, то слід визначитись із предметною галуззю, для якої буде розроблятися кооперативна робототехнічна система на основі онтологічного підходу, з метою розроблення її онтологічної моделі. На вирішення цих задач й спрямовуватимуться подальші зусилля авторів.

Список використаної літератури

1. Sadik, A. R. An Ontology-Based Approach to Enable Knowledge Representation and Reasoning in Worker-Cobot Agile Manufacturing [Text] / A. R. Sadik, B. Urban // Future Internet. – 2017. – Vol. 9. – Issue 4. – Article number 90.
2. Embracing Industry 4.0 and Rediscovering Growth: Nine Technologies Transforming Industrial Production [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.bcg.com/capabilities/operations/embracing-industry-4.0-rediscovering-growth.aspx#9-70522-2>.
3. Industrial Robots [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.mhi.org/fundamentals/robots>.
4. Инновации в робототехнике и безопасность [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://controlengrussia.com/innovatsii/innovatsii-v-robototekhnike-i-bezopasnost/>.
5. Роботы и коботы: 5 отличий. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://knn-systems.com/roboty-i-koboty-5-otlichij/>.
6. Sadik, A. R. Towards a Complex Interaction Scenario in Worker-cobot Reconfigurable Collaborative Manufacturing via Reactive Agent Ontology [Text] / A. R. Sadik, B. Urban // The 9-th International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management, November 1-3, 2017: Proceedings. – Madeira (Portugal), 2017. – Pp. 27–38.
7. Collaborative robot market projected to grow at a CAGR of 50.31% from 2018 to 2025 [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.reportsnreports.com/reports/650005-collaborative-robots-market-by-payload-up-to-5-kg-up-to-10-kg-above-10-kg-application-industry-and-geography-global-forecast-to-2022.html>.
8. Бойко, А. Коллаборативные роботы. [Електронний ресурс] / А. Бойко. – Режим доступу: <http://robotrends.ru/robopedia/katalog-kollaborativnyh-robotov>.
9. Спасский, Б. А. Мягкая робототехника в кооперативных задачах: состояние и перспективы развития [Текст] / Б. А. Спасский, В. В. Титов, И. В. Шардыко // Робототехника и техническая кибернетика. – 2018. – №1(18). – С. 14–25.
10. Robots and robotic devices – Collaborative robots: ISO/TS 15066:2016. – [Introduced 01.06.2016]. – Geneva (Switzerland): ISO, 2016. – 38 p. – (International standard).
11. Veloso, M. CoBots: Collaborative robots servicing multi-floor buildings [Text] / M. Veloso, J. Biswas, B. Coltin, S. Rosenthal, T. Kollar, C. Mericli, M. Samadi, S. Brandao, R. Ventura // 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, October 7-12, 2012: Proceedings. – Algarve (Portugal), 2012. – Pp. 5446–5447.
12. Bosansky, B. Distributed Constraint Programming [Electronic resource] / B. Bosansky, M. Pechoucek. – Access mode: <https://cw.fel.cvut.cz/old/media/courses/be4m36mas/9.pdf>.

13. Uny Cao, Y. Cooperative Mobile Robotics: Antecedents and Directions [Text] / Y. Uny Cao, A. S. Fukunaga, A. Kahng // *Autonomous Robots*. – 1997. – Vol. 4. – Issue 1. – Pp. 7–27.
14. Wagner, I. A. Cooperative Cleaners – a Study in Ant-Robotics [Text] / I. A. Wagner, Y. Altshuler, V. Yanovski, A. M. Bruckstein // *The International Journal of Robotics Research*. – 2008. – Vol. 27. – Issue 1. – Pp. 127–151.
15. Multi-Robot Cooperative Behavior [Electronic resource]. – Access mode: https://www.sandia.gov/research/robotics/advanced_controls/multi_robot_cooperative_behavior.html.
16. Fu, Y. Path Planning of Cooperative Robotics and Robot Team [Text] / Y. Fu, H. Li, Y. Ma // 2006 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, December 17-20, 2006: Proceedings. – Kunming (China), 2006. – Pp. 1250–1255.
17. Ren, Y. Distributed control for multiple uncertain mobile manipulators with hierarchical task framework [Electronic resource] / Y. Ren. – Access mode: <https://www.itr.ei.tum.de/en/research/cooperative-robotics/>.
18. Johnson, M. Beyond Cooperative Robotics: The Central Role of Interdependence in Coactive Design [Text] / M. Johnson, J. M. Bradshaw, P. J. Feltovich, R. R. Hoffman, C. Jonker, B. Riemsdijk, M. Sierhuis // *Intelligent Systems*. – 2011. – Vol. 26. – Issue 3. – Pp. 81–88.
19. De Momi, E. A Neural Network-Based Approach for Trajectory Planning in Robot–Human Handover Tasks [Text] / E. De Momi, L. Kranendonk, M. Valenti, N. Enayati, G. Ferrigno // *Frontiers in Robotics and AI: Biomedical Robotics*. – 2016. – Vol. 3. – P. 34–50.
20. Goldhoorn, A. Searching and Tracking People with Cooperative Mobile Robots [Text] / A. Goldhoorn, A. Garrell, R. Alquezar, A. Sanfeliu // *Autonomous Robots*. – 2018. – Vol. 42. – Issue 4. – Pp. 739–759.
21. Yan, Z. A Survey and Analysis of Multi-Robot Coordination [Text] / Z. Yan, N. Jouandau, A. A. Cherif // *International Journal of Advanced Robotic Systems*. – 2013. – Vol. 10. – Pp. 1–18.
22. Интеллектуальные интегрированные информационно-управляющие системы принятия решений и управления – центральное направление исследований ФНЦ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ras.ru/news/shownews.aspx?id=8e5b0ba f-4a1d-4819-a66d-4567166b0f1f>.
23. Colledanchise, M. Behavior Trees in Robotics and AI: Introduction [Electronic resource] / M. Colledanchise, P. Ögren. – Access mode: <https://arxiv.org/pdf/1709.00084.pdf>.
24. Perera, V. Learning to Understand Questions on the Task History of a Service Robot [Text] / V. Perera, M. Veloso // *The 2017 26th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, August 28 – September 1, 2017: Proceedings. – Lisbon (Portugal), 2017. – Pp. 304–309.
25. Как роботы могут работать с человеком вместе (а не вместо) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/sberbank/blog/416193/>.
26. Шарапов, Ю. А. Математические модели эмоциональных роботов, способных забывать информацию : дис. ... кандидата физ.-мат. наук : 05.13.18 / Шарапов Юрий Альбертович – Пермь: Пермский гос. нац. иссл. ун-т, 2018. – 187 с.
27. Stenmark, M. Intuitive Instruction of Industrial Robots A Knowledge-Based Approach : Thesis for the degree of PhD / M. Stenmark – Lund (Sweden): Lund University, 2017. – 233 p.
28. Ismail, Z. H. A Survey and Analysis of Cooperative Multi-Agent Robot Systems: Challenges and Directions [Text] / Z. H. Ismail, N. Sariff // *Mobile Robots*. – 2018. – Vol.1. – Pp. 1–23.
29. Кицун, Г. В. Архітектура інтелектуального агента [Текст] / Г. В. Кицун // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія «Комп'ютерні системи та мережі». – 2006. – № 573. – С. 96–103.
30. Waxer, C. The ‘cobots’ are coming. Is your IT team ready? [Electronic resource] / C. Waxer. – Access mode: <https://www.computerworld.com/article/3195750/robotics/the-cobots-are-coming-is-your-it-team-ready.html>.
31. Safety Chart on the Safe Use of Collaborative Robots (Cobots) in the Workplace [Electronic resource]. – Access mode: <https://publications.tno.nl/publication/34627045/Y8J Rdp/TNO-2018-safetychart.pdf>.
32. Beaupre, M. Collaborative Robot Technology and Applications [Electronic resource] / M. Beaupre. – Access mode: https://www.robotics.org/userAssets/riaUploads/file/4-KUKA_Beaupre.pdf.
33. Meziane, R. Human-robot collaboration while sharing production activities in dynamic environment: SPADER system [Text] / R. Meziane, J. Martin, D. Otis, H. Ezzaidi // *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. – 2017. – Vol. 48. – Pp. 243–253.
34. Hoffman, G. Collaboration in Human-Robot Teams [Text] / G. Hoffman, C. Breazeal // *The 1st AIAA'04 Intelligent Systems Conference*, September 19-21, 2004: Proceedings. – Chicago (USA), 2004. – Pp. 18–36.
35. Lasota, P. A. A Survey of Methods for Safe Human-Robot Interaction [Text] / P. A. Lasota, T. Fong, J. A. Shah // *Foundations and Trends in Robotics*. – 2014. – Vol. 5. – No. 4. – Pp. 261–349.

36. Augustsson, S. Human and robot interaction based on safety zones in a shared work environment [Text] / S. Augustsson, L. G. Christiernin, G. Bolmsjo // The 2014 ACM/IEEE International Conference on Human-robot interaction, March 3-6, 2014: Proceedings. – Bielefeld (Germany), 2014. – Pp. 118–119.

37. Говорущенко, Т. О. Аналіз онтологій як основи багатофункціональної кооперативної робототехнічної системи [Текст] / Т. О. Говорущенко, М. В. Красовський // Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології та взаємодії», 20-21 листопада, 2018: Матеріали. – Київ, 2018. – С. 174–175.

38. Андон, Ф. И. Semantic Web как новая модель информационного пространства Интернет [Текст] / Ф. И. Андон, И. Ю. Гришанова, В. А. Резниченко // Проблемы програмування. – 2008. – №2-3. Спеціальний випуск. – С. 417–430.

39. Литвин, В. Моделювання інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень з використанням онтологічного підходу [Текст] / В. Литвин // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2011. – № 2. – С. 93–101.

40. Perrone, R. Ontology-based Modular Architecture for Surgical Autonomous Robots [Text] / R. Perrone, F. Nessi, E. De Momi, F. Boriero, M. Capiluppi, P. Fiorini, G. Ferrigno // Hamlyn Symposium on Medical Robots, July 15, 2014: Proceedings. – London (UK), 2014. – Pp.85–86.

41. Nakawala, H. Ontology-based surgical assistance system for instruments recognition [Text] / H. Nakawala, E. De Momi, A. Morelli, C. Tomasina, G. Ferrigno // 5-th Joint Workshop On New Technologies for Computer/Robot Assisted Surgery, October 9, 2015: Proceedings. – Heverlee (Belgium), 2015. – Pp. 42–45.

42. Nakawala, H. Ontology-based instruments detection in a context-aware framework for surgical assistance [Text] / H. Nakawala, G. Ferrigno, E. De Momi // International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery. – 2016. – Pp. 113–114.

43. Потенциал российских инноваций на рынке систем автоматизации и робототехники: Экспертно-аналитический отчет [Electronic resource]. – Access mode: https://www.rvc.ru/upload/iblock/859/Otchet_robot_291014.pdf.

44. Sadik, A. R. CPROSA-Holarchy: An Enhanced PROSA Model to Enable Worker-Cobot Agile Manufacturing [Text] / A. R. Sadik, B. Urban // International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research. – 2018. – Vol. 7. – No. 3. – Pp. 296–304.

References

1. Sadik, A. R. and Urban, B. (2017), “An Ontology-Based Approach to Enable Knowledge Representation and Reasoning in Worker-Cobot Agile

Manufacturing”, *Future Internet*, Vol. 9 Issue 4, article number 90.

2. Boston Consulting Group (2019), “Embracing Industry 4.0 and Rediscovering Growth: Nine Technologies Transforming Industrial Production”, available at: <https://www.bcg.com/capabilities/operations/embracing-industry-4.0-rediscovering-growth.aspx#9-70522-2>.

3. MHI (2019), “Industrial Robots”, available at: <http://www.mhi.org/fundamentals/robots>.

4. Control Engineering (2013), “Innovations in robotics and security” [Innovatsii v robototekhnike i bezopasnost’], available at: <https://controlengrussia.com/innovatsii/innovatsii-v-robototekhnike-i-bezopasnost/>.

5. KNN Systems (2016), “Robots and cobots: 5 differences” [Roboty i koboty: 5 otlichij], available at: <https://knn-systems.com/roboty-i-koboty-5-otlichij/>.

6. Sadik, A. R. and Urban, B. (2017), “Towards a Complex Interaction Scenario in Worker-cobot Reconfigurable Collaborative Manufacturing via Reactive Agent Ontology”, *Proceedings of the 9-th International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management, November 1-3, 2017, Madeira*, pp. 27–38.

7. ReportsnReports (2018), “Collaborative robot market projected to grow at a CAGR of 50.31% from 2018 to 2025”, available at: <https://www.reportsnreports.com/reports/650005-collaborative-robots-market-by-payload-up-to-5-kg-up-to-10-kg-above-10-kg-application-industry-and-geography-global-forecast-to-2022.html>.

8. Boyko, A. (2018), “Collaborative robots” [Kollaborativnye roboty], available at: <http://robotrends.ru/robopedia/katalog-kollaborativnyh-robotov>.

9. Spasskiy, B. A., Titov, V. V. and Shardyko, I. V. (2018), “Soft robotics in cooperative tasks: state and development prospects” [Myagkaya robototekhnika v kooperativnyh zadachah: sostoyanie i perspektivy razvitiya], *Robotics and Technical Cybernetics*, No. 1(18), pp. 14–25.

10. ISO/TS 15066:2016, Robots and robotic devices – Collaborative robots.

11. Veloso, M., Biswas, J., Coltin, B., Rosenthal, S., Kollar, T., Mericli, C., Samadi, M., Brandao, S. and Ventura, R. (2012), “CoBots: Collaborative robots servicing multi-floor buildings”, *Proceedings of 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, October 7-12, 2012, Algarve*, pp. 5446–5447.

12. Bosansky, B. and Pechoucek, M. (2016), “Distributed Constraint Programming”, available at: https://cw.fel.cvut.cz/old_media/courses/be4m36mas/9.pdf.

13. Uny Cao, Y., Fukunaga, A. S. and Kahng, A. (1997), "Cooperative Mobile Robotics: Antecedents and Directions", *Autonomous Robots*, Vol. 4 Issue 1, pp. 7–27.
14. Wagner, I. A., Altshuler, Y., Yanovski, V. and Bruckstein, A. M. (2008), "Cooperative Cleaners – a Study in Ant-Robotics", *The International Journal of Robotics Research*, Vol. 27 Issue 1, pp. 127–151.
15. Sandia National Laboratories (2019), "Multi-Robot Cooperative Behavior", available at: https://www.sandia.gov/research/robotics/advanced_controls/multi_robot_cooperative_behavior.html.
16. Fu, Y., Li, H. and Ma, Y. (2006), "Path Planning of Cooperative Robotics and Robot Team", *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, December 17-20, 2006, Kunming*, pp. 1250–1255.
17. Ren, Y. (2019), "Distributed control for multiple uncertain mobile manipulators with hierarchical task framework", available at: <https://www.itr.ei.tum.de/en/research/cooperative-robotics/>.
18. Johnson, M., Bradshaw, J. M., Feltovich, P. J., Hoffman, R. R., Jonker, C., Riemsdijk, B. and Sierhuis, M. (2011), "Beyond Cooperative Robotics: The Central Role of Interdependence in Coactive Design", *Intelligent Systems*, Vol. 26 Issue 3, pp. 81–88.
19. De Momi, E., Kranendonk, L., Valenti, M., Enayati, N. and Ferrigno, G. (2016), "A Neural Network-Based Approach for Trajectory Planning in Robot–Human Handover Tasks", *Frontiers in Robotics and AI: Biomedical Robotics*, Vol. 3, pp. 34–50.
20. Goldhoorn, A., Garrell, A., Alquezar, R. and Sanfeliu, A. (2018), "Searching and Tracking People with Cooperative Mobile Robots", *Autonomous Robots*, Vol. 42 Issue 4, pp. 739–759.
21. Yan, Z., Jouandeau, N. and Cherif, A. A. (2013), "A Survey and Analysis of Multi-Robot Coordination", *International Journal of Advanced Robotic Systems*, Vol. 10, pp. 1–18.
22. Russian Academy of Sciences (2018), "Intelligent integrated information and control decision-making and control systems – the central direction of the research of FNC" [Интеллектуальные интегрированные информационно-управляющие системы прinaryatiya resheniy i upravleniya – centralnoe napravlenie issledovaniy FNC], available at: <http://www.ras.ru/news/shownews.aspx?id=8e5b0baf-4a1d-4819-a66d-4567166b0f1f>.
23. Colledanchise, M. and Ogren, P. (2018), "Behavior Trees in Robotics and AI: Introduction", available at: <https://arxiv.org/pdf/1709.00084.pdf>.
24. Perera, V. and Veloso, M. (2017), "Learning to Understand Questions on the Task History of a Service Robot", *Proceedings of the 2017 26th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, August 28 – September 1, 2017, Lisbon*, pp. 304–309.
25. Sberbank of Russia (2018), "How robots can work with humans together (and not instead)" [Kak roboty mogut rabotat' s chelovekom vmeste (a ne vmesto)], available at: <https://habr.com/ru/company/sberbank/blog/416193/>.
26. Sharapov, Yu. A. (2018), "Mathematical models of emotional robots capable of forgetting the information" [Matematicheskie modeli emotsionalnyh robotov, sposobnyh zabyvat' informatsiyu]: Thesis of PhD in phys.-math. sciences : 05.13.18.
27. Stenmark, M. (2017), "Intuitive Instruction of Industrial Robots A Knowledge-Based Approach": Thesis for the degree of PhD.
28. Ismail, Z. H. and Sariff, N. (2018), "A Survey and Analysis of Cooperative Multi-Agent Robot Systems: Challenges and Directions", *Mobile Robots*, Vol.1, pp. 1–23.
29. Kytsun, G. V. (2006), "Architecture of the intellectual agent" [Arkhitektura intelektual'nogo agenta], *Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic", series "Computer Systems and Networks"*, No. 573, pp. 96–103.
30. Waxer, C. (2017), "The 'cobots' are coming. Is your IT team ready?", available at: <https://www.computerworld.com/article/3195750/robotics/the-cobots-are-coming-is-your-it-team-ready.html>.
31. TNO (2018), "Safety Chart on the Safe Use of Collaborative Robots (Cobots) in the Workplace", Available at: <https://publications.tno.nl/publication/34627045/Y8JRdp/TNO-2018-safetychart.pdf>.
32. Beaupre, M. (2018), "Collaborative Robot Technology and Applications", available at: https://www.robotics.org/userAssets/riaUploads/file/4-KUKA_Beaupre.pdf
33. Meziane, R., Martin, J., Otis, D. and Ez-zaidi, H. (2017), "Human-robot collaboration while sharing production activities in dynamic environment: SPADER system", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 48, pp. 243–253.
34. Hoffman, G. and Breazeal, C. (2004), "Collaboration in Human-Robot Teams", *Proceedings of the 1st AIAA '04 Intelligent Systems Conference, September 19-21, 2004, Chicago*, pp. 18–36.
35. Lasota, P. A., Fong, T. and Shah, J. A. (2014), "A Survey of Methods for Safe Human-Robot Interaction", *Foundations and Trends in Robotics*, Vol. 5. No. 4, pp. 261–349.
36. Augustsson, S., Christiernin, L. G. and Bolmsjo, G. (2014), "Human and robot interaction based on safety zones in a shared work environment", *Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Human-robot interaction, March 3-6, 2014, Bielefeld*, pp. 118–119.

37. Hovorushchenko, T. O. And Krasovsky, M. V. (2018), "Analysis of ontologies as the basis of a multifunctional cooperative robotic system" [Analiz ontologiy yak osnovy bagatofunktional'noyi kooperativnoyi robototekhnichnoyi systemy], *Proceedings of International scientific and practical conference "Information technologies and interactions", November 20-21, 2016*, Kyiv, pp. 174–175.
38. Andon, F. I., Grishanova, I. Yu. and Reznichanko, V. A. (2008), "Semantic Web as the new model of the Internet information space" [Semantic Web kak novaya model informacionnogo prostranstva Internet], *Problems of Programming*, No. 2-3, pp. 417–430.
39. Lytvyn, V. (2011), "Modeling of intelligent decision support systems using the ontological approach" [Modeluvannya intelektualnykh system pidtrymky pryinyattya rishen' z vykorystanniam ontologichnogo pidkhodu], *Radioelectronics, Informatics and Control*, No. 2, pp. 93–101.
40. Perrone, R., Nessi, F., De Momi, E., Boriero, F., Capiluppi, M., Fiorini, P. and Ferrigno, G. (2014), "Ontology-based Modular Architecture for Surgical Autonomous Robots", *Proceedings of Hamlyn Symposium on Medical Robots, July 15, 2014*, London, pp.85–86.
41. Nakawala, H., De Momi, E., Morelli, A., Tomasina, C. and Ferrigno, G. (2015), "Ontology-based surgical assistance system for instruments recognition", *Proceedings of the 5-th Joint Workshop On New Technologies for Computer/Robot Assisted Surgery, October 9, 2015*, Heverlee, pp. 42–45.
42. Nakawala, H., Ferrigno, G. and De Momi, E. (2016), "Ontology-based instruments detection in a context-aware framework for surgical assistance", *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, pp. 113–114.
43. RVK (2014), "Potential of Russian innovations on the market of automation and robotics systems: Expert-analytical report" [Potentsial rossiyskih innovatsiy na rynke sistem avtomatizatsii i robototekhniki: Ekspertno-analiticheskiy otchet], available at: https://www.rvc.ru/upload/iblock/859/Otchet_robot_291014.pdf.
44. Sadik, A. R. and Urban, B. (2018), "CPRO-SA-Holarchy: An Enhanced PROSA Model to Enable Worker-Cobot Agile Manufacturing", *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, Vol. 7, No. 3, pp. 296–304.

MODERN PROBLEMS OF MULTIFUNCTIONAL COOPERATIVE ROBOTECHEMICAL SYSTEMS

T. O. Hovorushchenko, M. V. Krasovsky, V. V. Shamrelyuk
Khmelnitskyi National University

Abstract. Cooperative robotics is becoming a leading domain of application that enables the joint production of person and robot. Cooperative production depends to a large extent on the availability of a cooperative (collective, collaborative) robot (cobot). The conducted analysis of known methods and solutions in the domain of cooperative robotics shows that nowadays there are still a number of unresolved issues in this domain, in particular, the problem of rational planning and improving the quality of analysis of information, by which people and cobots are exchanged in the shared work environment, as well as the problem of increasing the efficiency of making their decisions. Therefore, the complexity of the analysis of information, by which people and cobot(s) are exchanged in the shared work environment, is a major barrier to the wider use of cooperative robotechemical systems. One of the most important tasks from this point of view is to present the shared work environment and components, as well as speed up and improve the quality of information processing. This information is usually provided in natural language. Therefore, there is a need to ensure the understandability of the relevant knowledge and information for the cobot, which can be achieved through the use of ontologies. Currently, there are a number of solutions in which ontologies are effectively used for the domain of cooperative robotics, but one of the reasons for a large number of unresolved issues in this domain (in particular, the problems of information analysis in a common cooperative environment) is the disparateness of available solutions, as well as the lack of a multifunctional cooperative robotechemical system or technology based on ontological approach. Thus, the actual task is the development of the ontology-based multifunctional cooperative robotechemical system or technology.

Keywords: cooperative robotics, multifunctional cooperative robotechemical system, cooperative robot (cobot), cooperative shared work environment, ontology.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КООПЕРАТИВНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Т. А. Говорущенко, Н. В. Красовский, В. В. Шамрелюк
Хмельницький національний університет

Аннотация. Кооперативная робототехника становится ведущей отраслью применения, которая дает возможность совместного производства человеком и роботом. Однако сложность анализа информации, которой обмениваются человек и робот(ы) в общей среде, является основным барьером, препятствующим более широкому использованию кооперативных робототехнических систем. Для обеспечения понятности информации роботу следует использовать онтологии. Поэтому актуальной задачей является разработка многофункциональной кооперативной робототехнической системы на основе онтологий.

Ключевые слова: кооперативная робототехника, многофункциональная кооперативная робототехническая система, кооперативный робот (робот), кооперативная общая производственная среда, онтология.

Отримано 09.02.2019



Говорущенко Тетяна Олександрівна, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, доцент, завідувач кафедри комп'ютерної інженерії та системного програмування Хмельницького національного університету. Вул. Інститутська, 11, Хмельницький, Україна, E-mail: tat_yana@ukr.net, t.hovorushchenko@khnu.km.ua, тел. +38-095-11-22-544

Tetiana Novorushchenko, Full Doctor, Senior Researcher, Associate Professor, Head of Computer Engineering and System Programming Department, Khmelnytskyi National University, Institutska str., 11, Khmelnytskyi, Ukraine, E-mail: tat_yana@ukr.net, t.hovorushchenko@khnu.km.ua, тел. +38-095-11-22-544

ORCID ID: 0000-0002-7942-1857



Красовський Микола Віталійович, аспірант кафедри комп'ютерної інженерії та системного програмування Хмельницького національного університету. Вул. Інститутська, 11, Хмельницький, Україна, E-mail: toalegion@gmail.com, тел. +38-098-615-29-18

Mykola Krasovsky, PhD Student of Computer Engineering and System Programming Department, Khmelnytskyi National University, Institutska str., 11, Khmelnytskyi, Ukraine, E-mail: toalegion@gmail.com, тел. +38-098-615-29-18

ORCID ID: 0000-0001-6364-6763



Шамрелюк В'ячеслав Валерійович, студент гр. КНІТ-16-1 Хмельницького національного університету. Вул. Інститутська, 11, Хмельницький, Україна, E-mail: shamr@i.ua, тел. +38-098-117-89-81

Vyacheslav Shamrelyuk, Student of KNIT-16-1 group, Khmelnytskyi National University, Institutska str., 11, Khmelnytskyi, Ukraine, E-mail: shamr@i.ua, тел. +38-098-117-89-81

ORCID ID: 0000-0002-7894-0911