

**Красовський М.В.**

Хмельницький національний університет

**Горошко А.В.**

Хмельницький національний університет

**Медзатий Д.М.**

Хмельницький національний університет

**Стецюк В.М.**

Хмельницький національний університет

## КОНЦЕПЦІЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КООПЕРАТИВНОЇ РОБОТОТЕХНІКИ

*Проведений аналіз відомих методів і рішень у галузі кооперативної робототехніки свідчить про те, що при чималій кількості ефективних рішень залишається ряд невирішених питань, які є важко формалізованими та потребують використання компонентів штучного інтелекту для їх вирішення, серед яких найважливішими є потреба представлення спільного виробничого середовища, а також потреба забезпечення зрозумілості відповідних знань та інформації кооперативному(им) роботу(ам) (коботу(ам)). Враховуючи, що ринок коботів прогнозовано досягне 12 303 млн дол. США до 2025 р. із 710 млн дол. США у 2018 р., тобто зростає на 50,31% протягом 2018–2025 рр., актуальною задачею є раціональне планування та підвищення якості аналізу інформації, якою обмінюються люди та кооперативні роботи (коботи) у спільному середовищі, а також підвищення ефективності їх рішень. Розв'язання цієї задачі можна досягти шляхом розроблення багатофункціональної системи кооперативної робототехніки на основі онтологічного підходу, що і є метою нашого дослідження. У статті представлена концепція багатофункціональної системи кооперативної робототехніки на основі онтологічного підходу. Ця система базується на інтелектуальних агентах на основі онтологічного підходу, всі спільні знання системи представляються у вигляді онтологій. Представлена структура багатофункціональної системи кооперативної робототехніки розглядає і коботів, і людей як актантів спільного виробничого середовища, за рахунок чого вони мають доступ до всіх задач, повідомлень і спільних знань багатофункціональної системи кооперативної робототехніки. Використання онтологій забезпечує такі переваги для розробленої системи: обробку складних завдань і «розуміння» природомовних завдань і повідомлень; планування й аналіз інформації, отриманої кожним окремим агентом і коботом; підвищення ефективності рішень агентів і коботів; формалізація семантики «здорового глузду»; прискорення та підвищення якості опрацювання природомовної інформації.*

**Ключові слова:** кооперативна робототехніка, кооперативний робот (кобот), спільне виробниче середовище, багатофункціональна система кооперативної робототехніки, інтелектуальний агент на основі онтологічного підходу.

**Постановка проблеми.** Ключовим для Industry 4.0 є питання використання автономних промислових роботів [1]. Кооперативна робототехніка – це нова галузь промислової робототехніки, яка дає можливість спільного виробництва. Спільне виробництво значною мірою залежить від наявності кооперативного робота (кобота). Кобот – це промисловий робот, оснащений системою сенсорів і комп'ютерного зору, який може з високим ступенем ймовірності попереджати зіткнення з людиною та перешкодами. Такі роботи призначені для використання в тісній кооперації з людьми,

поруч із ними. Кобот повинен мати такі якості, як: відсутність необхідності в інтеграції (вся система повинна бути роботоздатною одразу); відсутність необхідності у програмуванні або навчанні (кобот повинен бути готовим до роботи за лічені хвилини); наявність широких функційних можливостей; наявність розвинутої логіки для роботи з урахуванням навколишньої обстановки, включаючи автоматичне відновлення після збоїв; забезпечення безпеки при експлуатації (навіть при зіткненні з оператором на повному ході) [2]. Основна задача коботів – допомогти розв'язати складні

задачі, які неможливо автоматизувати, оскільки кобот змінює поняття автоматизації від повністю автоматизованих до напівавтономних операцій, де рішення працівника впливатимуть на дії кобота, і навпаки [3]. Потенційна галузь їх застосування – всі види виробництва (в т. ч. легка і харчова промисловість), офісна робота, соціальна сфера [4].

Враховуючи, що ринок коботів прогнозовано досягне 12 303 млн дол. США до 2025 р. із 710 млн дол. США у 2018 р., тобто зросте на 50,31% протягом 2018–2025 рр. [4], актуальною задачею є раціональне планування та підвищення якості аналізу інформації, якою обмінюються люди та коботи у спільному середовищі, а також підвищення ефективності їх рішень.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Спільне виробниче середовище – це середовище, де робот і людина можуть виконувати завдання одночасно під час автоматичної роботи [5–7]. Усі компоненти кооперативної системи спілкуються й обмінюються своїми знаннями, обробляють загальну інформацію. Ці знання та інформація зазвичай подані природною мовою, що повинна бути зрозумілою для кобота.

Аналіз відомих методів і рішень у галузі кооперативної робототехніки, проведений у [8], свідчить про те, що залишається ряд невирішених питань:

1) як кооперативна робототехнічна система може обробляти більш складні завдання, які можуть вирішувати люди;

2) як забезпечити надійність руху фізичної кооперативної робототехнічної системи у реальному світі;

3) як більш раціонально спланувати та проаналізувати інформацію, отриману кожним окремим роботом (а потім зробити їхні рішення більш ефективними);

4) як організувати легке втручання людини до кооперативної робототехнічної системи відповідно до потреб;

5) як формалізувати семантику «здорового глузду»;

6) яку обрати форму для представлення спільного виробничого середовища та компонентів;

7) як прискорити та підвищити якість опрацювання природомовної інформації.

Всі зазначені невирішені проблеми є важко формалізованими та потребують використання компонентів штучного інтелекту для їх вирішення. Є ряд рішень, у яких компоненти штучного інтелекту ефективно використовуються для галузі кооперативної робототехніки, але однією із причин значної кількості невирішених питань (зокрема

проблеми аналізу інформації у спільному кооперативному середовищі) є розрізненість наявних рішень. У галузі кооперативної робототехніки є ряд ефективних рішень використання онтологій як основи багатофункціональної кооперативної робототехнічної системи, але всі вони належать до різних методологічних підходів і не інтегруються між собою, тобто відсутня багатофункціональна система кооперативної робототехніки.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є підвищення якості аналізу інформації, якою обмінюються люди та коботи у спільному середовищі, а також підвищення ефективності їхніх рішень шляхом розроблення багатофункціональної системи кооперативної робототехніки на основі онтологічного підходу.

### **Виклад основного матеріалу дослідження.**

Кооперативне застосування, природне для задач кооперативної робототехніки, передбачає абсолютну безпеку, високу функційну гнучкість та автономність використовуваних роботів (коботів). Для цього необхідне розроблення нових систем і технологій у галузі управління, створення нових конструктивних рішень, розроблення алгоритмів планування та виконання рухів, які забезпечують безпеку фізичної взаємодії людини та кобота.

Враховуючи те, що проста схема дворівневого планування завдань не підходить для кооперативного спільного виробничого середовища, важливою є багатопарова схема багатофункціональної системи кооперативної робототехніки, яка включає аналіз завдань, узгодження завдань, виконання завдань і нагляд за завданнями. Важливою також є вимога обміну інформацією, оскільки кобот у команді може тільки сприймати місцеву інформацію. Нині багато завдань все ще надто складні для коботів, і координація між людьми і коботами повинна бути забезпечена.

Спільне виробниче середовище включає кобота, співробітників та інші компоненти виробництва (в т. ч. продукт). Усі компоненти кооперативної системи виробництва повинні спілкуватися й обмінюватися своїми знаннями, обробляти загальну інформацію.

Багатофункціональна система кооперативної робототехніки є розподіленою інтелектуальною системою, в якій використовуються спільні знання, реалізується можливість повторного використання знань. Система складається із множини досить самостійних модулів (агентів), що працюють у межах цієї системи й обмінюються знаннями з іншими її модулями за допомогою повідомлень. У цій системі коботи і люди працюють

як команда у спільному робочому середовищі. Кожен із них має свої завдання й обов'язки, які вимагають взаємної координації та спілкування.

Знання та інформація, якими обмінюються усі компоненти корпоративної системи, подані природною мовою, що повинна бути зрозумілою для кобота і для агентів, і це забезпечується за рахунок використання онтологій. Для моделювання предметних галузей, для яких застосовуються коботи, найчастіше використовуються саме онтології.

Онтологія – це сукупність концепцій, здатних моделювати терміни лексики в галузі знань. Онтології забезпечують краще розуміння контекстуальних знань. З погляду обчислювальної науки, онтологія визначається як концепція для моделювання структури системи. Наприклад, відповідні сутності та взаємозв'язки, які існують зі спостережень, корисні для конкретних цілей. Онтології пов'язані з виявленням і моделюванням реальності під конкретними перспективами. Вони зосереджуються на структурі та природі об'єкта, також посиляються на репрезентативні знання, можуть описувати абстрактні (робочі процеси, знання чи завдання), а також реальні речі (пристрої) [9; 10].

Структура багатофункціональної системи кооперативної робототехніки на основі онтологічного підходу представлена на рис. 1.

Базою розробленої багатофункціональної системи кооперативної робототехніки на основі онтологічного підходу є інтелектуальні агенти на основі онтологічного підходу для аналізу завдань, координації завдань, виконання завдань і нагляду за ними. Інтелектуальні агенти – це системи, що знаходяться всередині та є частинами спільного виробничого середовища, які сприймають це середовище та діють на нього в часі відповідно до своїх сценаріїв. Ці агенти діють, спрямовуючи свою діяльність на досягнення цілей, на навколишнє середовище, використовуючи спостереження. Інтелектуальні агенти також вивчають і використовують спільні знання для досягнення своїх цілей. Агенти поступово пристосовують нові правила вирішення проблем, адаптуються в режимі реального часу, навчаються та вдосконалюються завдяки взаємодії з навколишнім середовищем (за спільними знаннями), аналізують себе з погляду поведінки, помилок та успіху. Інтелектуальні агенти на основі онтологічного підходу використовуються для автономного збору інформації за регулярним, запрограмованим розкладом або за запитом користувача (кобота або особи) в режимі реального часу. Агенти можуть вільно вибирати між різними діями. Ці агенти беруть на

себе ініціативу щодо пошуку найкращого плану дій для досягнення поставлених цілей з урахуванням поточної ситуації та минулого досвіду, а потім діють у спільному виробничому середовищі. Запропоновані агенти описуються їх оточенням (динамічний опис), діями (зміними середовища, спричиненими агентом), бажаннями (загальна політика чи цілі агента), архітектурою вибору дій (агент вирішує, що робити далі, на основі його внутрішнього стану, стану світу та поточної мети).

Розглянемо *переваги розробленої багатофункціональної системи кооперативної робототехніки* на основі онтологічного підходу. Пропонована система та інтелектуальні агенти на основі онтологічного підходу, які її складають, можуть обробляти складні завдання та «розуміти» природомовні завдання та повідомлення за рахунок використання онтологій. Використання онтологій для представлення спільних знань допомагає більш раціонально спланувати та проаналізувати інформацію, отриману кожним окремим агентом і коботом, а також роблять рішення агентів і коботів більш ефективними. Представлена структура багатофункціональної системи кооперативної робототехніки організовує легке втручання людини до системи, оскільки люди входять до запропонованого спільного виробничого середовища та мають доступ до всіх задач, повідомлень і спільних знань багатофункціональної системи кооперативної робототехніки. Використання онтологій у структурі багатофункціональної системи кооперативної робототехніки забезпечує формалізацію семантики «здорового глузду», а також дозволяє прискорити та підвищити якість опрацювання природомовної інформації.

Отже, запропонована багатофункціональна система кооперативної робототехніки на основі онтологічного підходу вирішує ряд невирішених проблем у галузі кооперативної робототехніки за рахунок використання компонентів штучного інтелекту (зокрема онтологій, які є найефективнішими структурами для роботи із природомовними текстами та для формалізації предметних галузей). Так, запропонована багатофункціональна система кооперативної робототехніки ефективна для індустрії кооперативної робототехніки, оскільки вирішує низку важко формалізованих завдань цієї галузі.

Через виробниче середовище кобота надходять величезні обсяги даних щодня, водночас є проблема забезпечення безпеки кобота та всіх даних спільного кооперативного середовища, в якому люди, коботи та комп'ютерні пристрої спілкуються і співпрацюють один з одним.



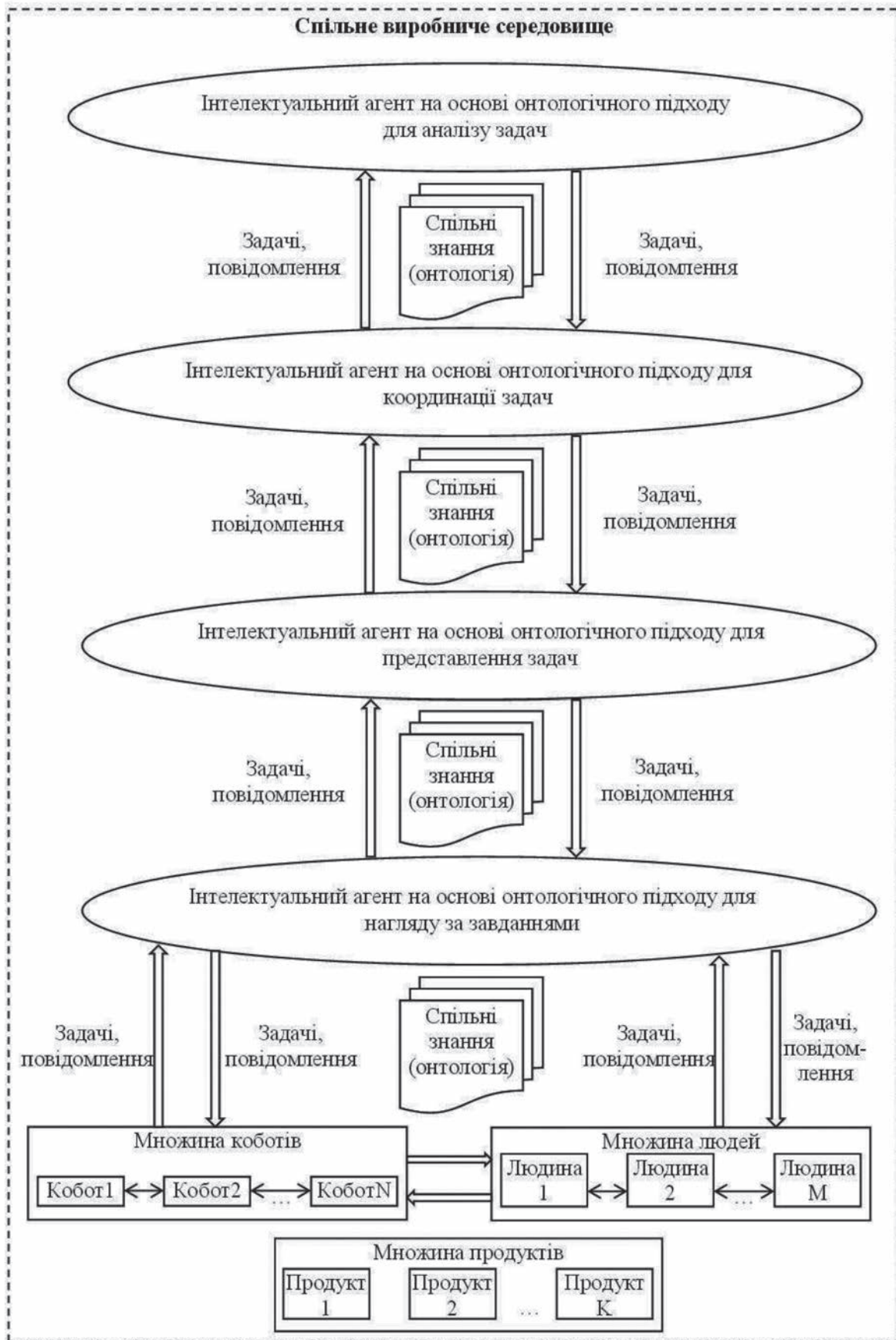


Рис. 1. Структура багатofункціональної системи кооперативної робототехніки

**Висновки.** Проведений аналіз відомих методів і рішень у галузі кооперативної робототехніки свідчить про те, що за чималої кількості ефективних рішень у галузі залишається ряд невирішених питань, які є важко формалізованими та потребують використання компонентів штучного інтелекту для їх вирішення, серед яких найважливішими є потреба представлення спільного виробничого середовища, а також потреба забезпечити зрозумілість відповідних знань та інформації коботу(ам).

У статті представлена концепція багатофункціональної системи кооперативної робототехніки на основі онтологічного підходу. Ця система базується на інтелектуальних агентах на основі онтологічного підходу, всі спільні знання системи представляються у вигляді онтологій. Використання онтологій забезпечує такі переваги для розробленої системи, як: обробка складних завдань і «розуміння» природомовних завдань і повідо-

млень; планування й аналіз інформації, отриманої кожним окремим агентом і коботом; підвищення ефективності рішень агентів і коботів; формалізація семантики «здорового глузду»; прискорення та підвищення якості опрацювання природомовної інформації. Представлена структура багатофункціональної системи кооперативної робототехніки на основі онтологічного підходу розглядає і коботів, і людей як актантів спільного виробничого середовища, за рахунок чого вони мають доступ до всіх задач, повідомлень і спільних знань багатофункціональної системи кооперативної робототехніки.

Майбутні дослідження авторів будуть спрямовані на: 1) розроблення теоретичної основи для розумного виробничого середовища з метою забезпечення безпеки кобота та всіх даних спільного кооперативного середовища; 2) реалізацію пропонованої багатофункціональної системи кооперативної робототехніки на основі онтологічного підходу.

#### Список літератури:

1. Embracing Industry 4.0 and Rediscovering Growth: Nine Technologies Transforming Industrial Production. URL: <https://www.bcg.com/capabilities/operations/embracing-industry-4.0-rediscovering-growth.aspx#9-70522-2> (Дата звернення: November 4, 2020).
2. Innovation in robotics and safety. URL: <https://controlengrussia.com/innovatsii/innovatsii-v-robototehnike-i-bezopasnost/> (Дата звернення: November 4, 2020).
3. Sadik A.R., Urban B. Towards a Complex Interaction Scenario in Worker-cobot Recon-figurative Collaborative Manufacturing via Reactive Agent Ontology. URL: <https://www.scitepress.org/papers/2017/64872/pdf/index.html> (Дата звернення: November 4, 2020).
4. Collaborative robot market projected to grow at a CAGR of 50.31% from 2018 to 2025. URL: <https://www.reportsreports.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> (Дата звернення: November 4, 2020).
5. ISO/TS 15066:2016. Robots and robotic devices. Collaborative robots. [Introduced 01.02.2016]. Geneva (Switzerland), 2016. 33 p. (International standard).
6. Bosansky B., Pechousek M. Distributed Constraint Programming. URL: [https://cw.fel.cvut.cz/old/\\_media/courses/be4m36mas/9.pdf](https://cw.fel.cvut.cz/old/_media/courses/be4m36mas/9.pdf) (Дата звернення: November 4, 2020).
7. Sadik A.R., Urban B. An Ontology-Based Approach to Enable Knowledge Representation and Reasoning in Worker-Cobot Agile Manufacturing. URL: [https://pdfs.semanticscholar.org/4b39/2a09923070b9481c2c98ad0322c49a73b850.pdf?\\_ga=2.250716742.1163312537.1604501487-851691280.1461604441](https://pdfs.semanticscholar.org/4b39/2a09923070b9481c2c98ad0322c49a73b850.pdf?_ga=2.250716742.1163312537.1604501487-851691280.1461604441) (Дата звернення: November 4, 2020).
8. Hovorushchenko T., Boyarchuk A., Borovyk O., Medzaty D., Krasovskiy M. Structure of Multifunctional Cooperative Robotics System based on the Ontological Approach. *CEUR-WS*. 2020. Vol. 2623. P. 47–56.
9. Hovorushchenko T., Pavlova O. Method of Activity of Ontology-Based Intelligent Agent for Evaluating the Initial Stages of the Software Lifecycle. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019. Vol. 836. P. 169–178.
10. Hovorushchenko T. Methodology of Evaluating the Sufficiency of Information for Software Quality Assessment According to ISO 25010. *Journal of Information and Organizational Sciences*. 2018. Vol. 42. № 1. P. 63–85.

#### **Krasovskiy M.V., Horoshko A.V., Medzaty D.M., Stetsiuk V.M. THE CONCEPT OF THE MULTIFUNCTIONAL SYSTEM OF COOPERATIVE ROBOTICS**

*The conducted analysis of the known methods and decisions in the field of cooperative robotics shows that with a considerable number of effective decisions in the industry there are still a number of unresolved issues that are difficult to formalize and require the use of artificial intelligence components to solve them, among which the most important are the need for the representation of joint production environment, and the need to ensure that the relevant knowledge and information is clear for the cooperative robot(s) (Cobot(s)). Considering that the cobot market will predictably reach \$ 12303 million to 2025 from \$ 710 million in 2018,*

*i.e. it will increase by 50.31% during 2018–2025, the actual task now is rational planning and improving the quality of analysis of the information, which humans and cobots exchange in the joint environment, as well as improving the effectiveness of the decisions of persons and cobots. The solve of this task can be accomplished by developing the multifunctional system of cooperative robotics based on the ontological approach, which is the purpose of this research. In this paper, the concept of the multifunctional system of cooperative robotics based on the ontological approach is proposed. This system is based on ontology-based intelligent agents (OBIAs), all joint knowledge of the system is represented as ontologies. The developed structure of the multifunctional system of cooperative robotics based on the ontological approach considers both cobots and humans as actants of the cooperative joint production environment, whereby they have access to all the tasks, messages, and joint knowledge of the multifunctional cooperative robotics system. The use of ontologies provides the following advantages for the developed system: processing of complex tasks and “understanding” of natural-language tasks and messages; planning and analysis of the information by each agent and the cobot; increasing the effectiveness of agents’ and cobots’ decisions; formalization of the “common sense” semantics; accelerating and improving the quality of processing natural-language information.*

**Key words:** cooperative robotics, cooperative robot (cobot), joint production environment, multifunctional system of cooperative robotics, ontology-based intelligent agent.