

Організація зграєвої взаємодії в групах робототехнічних пристроїв з використанням графічної мови розширеної реальності ARGET

Олег Гудаєв

Кафедра програмного забезпечення інтелектуальних систем, Державний університет інформатики і штучного інтелекту, УКРАЇНА, м.Донецьк, пр.Б.Хмельницького, 84, E-mail: good@suiai.edu.ua

Abstract – Robots of multi-agents group do not have the especially dedicated channel of exchange by information. Agents can get information about actions of other robots only mediated through an environment. Robot can use the graphic language ARGET (Augmented Reality Graphic Entity Telecommute) for message passing about the current actions. The planar marker systems ARGET were developed in Ukraine. The code ARGET does not yield to the world leader ARTag. Approaches of the Augmented Reality are oriented to authentication of the real objects and recognition of their position in three-dimensional space by the methods of the computer digital image processing.

Ключові слова – group of robots, robot co-operation, augmented reality, planar marker systems, pattern recognition.

I. Вступ

Дослідження спрямовані на вирішення фундаментальної наукової проблеми розробки теоретичних і практичних основ групового децентралізованого керування автономними динамічними об'єктами, наприклад, при керуванні групами робототехнічних пристроїв. Ця проблема виникає, коли такі об'єкти повинні функціонувати без участі людини в умовах швидко мінливої ситуації [2].

Для груп роботів, що функціонують автономно в складних динамічних середовищах, найбільш доцільне використання стратегії децентралізованого керування, наприклад, колективного керування. Однак колективне керування в групах роботів припускає наявність спеціально виділеного каналу зв'язку між роботами для оптимізації колективних дій. Зграєве ж керування, як правило, не вимагає наявності такого каналу, але для координації дій роботи якимсь чином повинні одержувати інформацію про дії один одного [10]. Пропонується вирішувати цю проблему сучасним підходом, коли використовується графічна мова маркерів ARGET (Augmented Reality Graphic Entity Telecommute), яка є засобом розширеної реальності [7,8]. Розмітка маркерами ARGET групи робототехнічних пристроїв наведено у Рис.1.

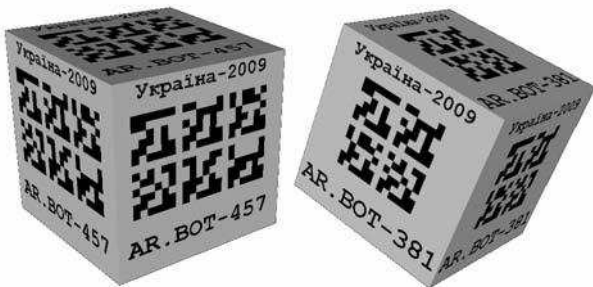


Рис. 1. Маркери ARGET

Фундаментальним завданням є розробка нових методів організації взаємодії в групах робототехнічних пристроїв різного призначення, які функціонують автономно в складних динамічних середовищах в умовах неможливості реалізації каналу зв'язку між роботами, що має високу пропускну здатність [11,13]. При цьому, як правило, роботи повинні приймати рішення про свої поточні дії в умовах дефіциту часу.

II. Групове керування роботами

Проблема групового керування роботами виникла практично відразу, як тільки перші роботи з'явилися на виробничих підприємствах. Дійсно, застосування роботів ефективно тільки якщо їх багато і вони виконують, принаймні, більшість технологічних операцій. При цьому вони повинні працювати узгоджено один з одним і з іншим технологічним устаткуванням [12].

В даний час проблема групового керування роботами набуває все більш актуального значення, що підтверджується великою кількістю досліджень, які проводяться в країнах Західної Європи, США, Японії, Росії і України [17, 18].

Проблемі створення інтелектуальних роботів присвячена досить велика кількість досліджень, що проводяться як у нас в країні, так і за кордоном, починаючи з середини 60-х років минулого століття. В результаті цих досліджень досить добре пророблені основні проблеми, з якими доводиться стикатися розробникам при створенні інтелектуальних роботів, такі як розпізнавання об'єктів і сцен, формування моделей навколишнього середовища, планування маршрутів руху і послідовностей дій для досягнення мети, керування рухом з урахуванням динаміки інтелектуальних роботів [16].

В той же час в результаті проведених досліджень стало зрозуміло, що одиночний інтелектуальний робот може бути використаний тільки для розв'язання деяких окремих задач або виконання досить простих операцій, оскільки він може володіти порівняно малими можливостями для виконання поставленої задачі (невеликий радіус дії, обмежений бортовим енергоресурсом; невелика кількість виконуваних функцій, обмежена набором виконавчих пристроїв; невисока ймовірність виконання поставленої задачі при функціонуванні в екстремальних ситуаціях, оскільки вихід з ладу одиночного робота веде до нездійсненності його місії і т.п.) [12]. Очевидним вирішенням вказаних вище проблем є застосування при розв'язанні складних задач відразу декількох роботів. За аналогією із співтовариством людей,

задіяних у виконанні спільної роботи, об'єднання, що складається з декількох роботів, дії яких направлені на розв'язання спільної для них задачі, будемо надалі називати групою або колективом роботів.

Переваги використання групи роботів очевидні. Це і більший радіус дії, що досягається за рахунок розосередження роботів по всій робочій зоні; і розширений набір виконуваних функцій, що досягається за рахунок установки на кожен робот індивідуальних виконавчих пристроїв; і нарешті, вища ймовірність виконання завдання, що досягається за рахунок можливості перерозподілу цілей між роботами групи у разі виходу з ладу деяких з них. Тому, як і в співтоваристві людей, такі складні задачі, як, наприклад, масштабне дослідження і зондування поверхні інших планет, збирання складних конструкцій в космосі і під водою, участь в бойових операціях, розмінування територій і т.п., можуть бути ефективно вирішені роботами тільки при їх груповій взаємодії [18].

У всіх цих технічних, соціальних і природних групах використовуються деякі принципи (стратегії) групового керування. Аналізуючи ці принципи, можна виділити дві крайові стратегії групового керування – це стратегія централізованого керування і стратегія децентралізованого (колективного) керування [13].

Суть стратегії централізованого керування полягає в наявності в групі деякого командира або центрального пристрою керування (ЦПК), на якого покладається задача планування і керування діями решти членів групи. До переваг централізованої стратегії групового керування слід в першу чергу віднести простоту її організації і, відповідно, алгоритмізації. З іншого боку, дана стратегія має і ряд істотних недоліків. По-перше, на центральний вузол керування (командира) покладається складна задача оптимізації дій всіх членів групи для досягнення групової мети, причому складність цієї задачі різко зростає із збільшенням числа об'єктів в групі. Наслідком цього є тривалий час прийняття рішень в подібних системах, як, наприклад, в шахах. Тому при використанні такої стратегії розв'язання задачі групового керування прагнуть одержати наперед, до початку дій (наприклад, як це відбувається в промислових роботизованих системах) або систему будують ієрархічним чином, де командир керує невеликою кількістю підлеглих, ті в свою чергу керують своїми підлеглими і т.д. Така ієрархічна організація централізованого групового управління прийнята в армії, у великих виробничих і наукових організаціях. Другий важливий недолік систем групового керування, які використовують централізовану стратегію, є їх низька живучість. Дійсно, вихід з ладу центрального керуючого пристрою (або командира) призводить до виходу з ладу всієї системи в цілому. Наприклад, якщо в комп'ютері вийшов з ладу центральний процесор, то все зупиниться. Для зниження ризику такої ситуації в технічних і соціальних системах використовують, як правило, методи резервування, коли існує декілька взаємозамінних ЦПК і при виході з ладу одного з них його функції приймає на себе інший. Як приклад можна навести бойові дії: коли знищується команд-

ний пункт, то його функції приймає на себе інший командний пункт. Проте зрозуміло, що таке резервування веде до значних (щонайменше удвічі) витрат на організацію системи і ускладнює її структуру [12].

Іншою, протилежною стратегією групового керування є стратегія децентралізованого керування. Суть цієї стратегії полягає у тому, що в системі немає якого-небудь ЦПК або командира, а кожен член групи самостійно приймає рішення про свої дії, намагаючись при цьому зробити максимально можливий внесок в досягнення спільної, групової мети [4]. До переваг децентралізованої стратегії групового керування слід віднести наступне. По-перше, задача, вирішувана кожним членом групи, буде не складна, оскільки він розв'язує задачу оптимізації тільки своїх дій у складі групи, не намагаючись оптимізувати дії всієї групи в цілому. Тому рішення може прийматися досить швидко, що підтверджується прикладом гри у футбол [3], де кожен гравець команди приймає швидке рішення про свої наступні дії для досягнення командної мети – забити гол супернику. Друга перевага систем з децентралізованим груповим керуванням – це їх висока живучість. Дійсно, оскільки в них немає ЦПК або командира, то всі члени групи рівні, і тому вихід з ладу або знищення будь-кого з них не приводить до виходу з ладу всієї групи в цілому. При цьому така висока живучість системи досягається без яких-небудь додаткових витрат, а тільки за рахунок самої децентралізованої організації системи. До недоліків стратегії децентралізованого групового керування слід віднести складність її алгоритмізації, оскільки кожен член групи повинен чітко розуміти колективну задачу і уміти відповідно вибирати такі свої дії, які приводять до якнайкращого її розв'язання з погляду всього колективу. Це в свою чергу припускає високий «інтелектуальний рівень» всіх членів групи, чого, як відомо, досягти не просто. Другий недолік полягає у тому, що на відміну від стратегії централізованого керування децентралізована стратегія не гарантує оптимального розв'язання групової задачі, оскільки рішення приймається кожним членом групи самостійно. Проте слід зазначити, що, якщо група працює в умовах наперед невідомої ситуації в середовищі, то шукати оптимальне рішення не має ніякого сенсу, оскільки в результаті непередбачених наперед змін в середовищі це рішення може виявитися далеко не оптимальним.

Подальшим напрямом розвитку принципів групового керування об'єктами є зграєве керування.

III. Організація зграєвої взаємодії

Зграєві принципи поведінки широко використовуються в живій природі (мурахи, оси, вовки). Системи, які використовують зграєві принципи керування, відрізняються підвищеною живучістю і дозволяють групі об'єктів досягати мети, що стоїть перед ними, в умовах невизначеності шляхом вибору кожним об'єктом своїх дій з урахуванням можливостей всієї зграї в цілому.

Можна виділити два типи систем групового керування робототехнічними пристроями, які використо-

вують децентралізовану стратегію групового керування: системи з колективним керуванням і системи із згасвим керуванням. Як приклад систем, що використовують децентралізоване колективне керування, можна навести спортивні команди, військові системи групового удару, мультиагентні системи пошуку в комп'ютерних мережах. Колективна стратегія припускає, що об'єкти, які входять до групи, мають можливість обмінюватися один з одним інформацією з метою оптимізації групових дій за допомогою деякого каналу обміну інформацією. Саме завдяки наявності такого обміну роботи можуть оптимізувати свої дії. Однак, з іншого боку, до такого каналу зв'язку пред'являються підвищені вимоги щодо пропускної спроможності і надійності, особливо при використанні групи роботів в бойових діях, а вихід його з ладу може привести до втрати можливості колективного керування.

Тому можна запропонувати інший підхід до проблеми групового керування в умовах протидії, який ґрунтується на ідеї згасового керування групою роботів. Згасове керування є окремим випадком колективного керування, але на відміну від колективу роботів, роботи зграї не мають спеціально виділеного каналу обміну інформацією, а можуть одержувати інформацію про дії інших роботів зграї тільки опосередковано через середовище, що особливо важливо, якщо група роботів повинна діяти потай. Зрозуміло, що живучість такої зграї буде істотно вище живучості колективу роботів. Проте для ефективного досягнення поставленої мети роботи зграї повинні певним чином координувати свої дії, одержуючи яким-небудь способом інформацію про поточні дії решти роботів зграї, якщо не всіх, то хоча б найближчих.

Можна виділити дві основні проблеми організації згасвої взаємодії. Перша з них – розробка методів і алгоритмів прийняття рішень роботами зграї про свої дії в умовах невизначеності. Невизначеність полягає у відсутності у кожного об'єкта прямої інформації про наявність і дії інших об'єктів групи. В той же час він володіє інформацією про свої індивідуальні можливості щодо трансформації свого стану і середовища за рахунок своїх індивідуальних дій. При цьому кожен робот зграї повинен якимсь чином підстроювати свої дії під дії всієї зграї. Очевидно, що в умовах невизначеності, в граничному випадку, це можна здійснити тільки на основі інформації про реакцію середовища на дії всіх роботів, що входять в зграю. Процес підстроювання індивідуальних моделей фактично є "самонавчанням" або адаптацією, які можуть реалізовуватися з використанням нейрокомп'ютерних технологій [4].

Вирішення першої проблеми багато в чому може бути полегшене, якщо буде вирішена друга проблема, що полягає в розробці засобів обміну інформацією між роботами, відмінних від традиційних. В якості такого засобу передачі повідомлень про свої поточні дії і про свій поточний стан роботи зграї можуть використовувати графічну мову маркерів.

IV. Використання графічної мови ARGET

У Росії впроваджується система контролю ланцюжків поставок алкогольної продукції, де ключова технологія на акцизній марці має код DataMatrix. Відповідно до вимог департаменту контролю радіочастот України необхідно клеїти акцизну марку на мобільні телефони, використовуючи графічний код Quick Response (QR). Поштова служба США використовує код Maxicode. Закордонні науковці різних держав: Японії, США - Columbia University, Канади, Німеччини - інститут Fraunhofer FIT, Нової Зеландії - HITLab, створюють системи розширеної реальності для робототехніки, мультимедіа, освіти (MARS, BlackMagic, ARQuack, Virtuoso), використовуючи маркери ARTag [1]. В зарубіжних джерелах код ARTag при створенні Augmented Reality (AR) систем переважає в використанні коди DataMatrix, QR, Maxicode. Запропонований автором код ARGET є логічним продовженням коду ARTag і утримує більший обсяг інформації на площі поверхні, що займається, потребує менших обчислювальних витрат алгоритмів розпізнавання, алгоритм простіше реалізується апаратним засобом у мобільних телефонах [2,5].

Підходи розширеної реальності орієнтовані на ідентифікацію реальних об'єктів і розпізнавання їх положення в тривимірному просторі методами комп'ютерної обробки цифрових зображень, одержуваних камерою робототехнічного пристрою.

Метод синтезу планарного маркера базується на теорії штучних нейронних мереж і теорії кодування інформації. Методи побудови тезауруса маркерів засновані на кодовій відстані Хеммінга. Для побудови бази даних еталонів із заданими характеристиками використовуються методи комбінаторного перебору в поєднанні з логічними перемикальними схемами і методи клітинних автоматів, коли фрактальною процедурою генеруються бітові карти маркерів [6,7].

У розпізнаванні графічних образів використовується наступний підхід: просторовими методами, які оперують тільки цілими числами, і рекурентними формулами аналізують межі сегмента, а для дешифрування бітової карти маркера використовується штучна нейронна мережа з цілочисловими коефіцієнтами. Метод сегментації форми маркера враховує природу геометричних образів у вигляді логічної моделі сусідства сегментів [14,15]. Такий підхід дозволяє реалізувати апаратно розпізнавання образів засобами цифрової техніки.

Визначення координат об'єкта в зграї робототехнічних пристроїв буде надійним, якщо враховувати контекст картини світу [9]. Методи представлення контексту афінного простору для мультиагентних систем базуються на теорії онтологій. Онтологічна картина афінного простору - найприйнятніший підхід для представлення знань зграї в середовищі з неповною інформацією.

ВИСНОВОК

По-перше, розроблені методи і алгоритми прийняття роботами рішень про свої поточні дії, що використовують принципи зграєвого керування. Нові способи і стратегії керування зграєю робототехнічних пристроїв використовують графічну мову розширеної реальності для визначення місцеположення агента в середовищі з неповною інформацією. Створення реалізованих апаратно, з мінімальною кількістю схемотехнічних елементів, алгоритмів розпізнавання маркерів ARGET є визначальним в проектуванні мікророботів "розумного пилу".

По-друге, розроблені методи і алгоритми формування, передачі, прийому і обробки повідомлень для координації дій в групі роботів. Взаємодіючи агенти зграї представляють знання про навколишнє середовище з неповною інформацією у вигляді онтології афінного простору, яка формується на базі даних, одержаних оптичним шляхом під час розпізнавання планарних маркерів розширеної реальності ARGET, які кодують положення агента в тривимірному просторі.

Одержані концепції і принципи обміну інформацією в мультиагентному середовищі та одержані методи і стратегії керування поведінкою зграї робототехнічних пристроїв послужать основою розвитку інтелектуальних мехатронних систем.

- [1] Fiala Mark. ARTag Revision 1, A Fiducial Marker System Using Digital Techniques. Source: NRC/ERB-1117. November 24, 2004. 46 pages. NRC 47419. // <http://www.iit-iti.nrc-cnrc.gc.ca/iit-publications-iti/docs/NRC-47419.pdf>
- [2] Белозерский Л.А., Шевченко А.И. Анализ и обработка априорной информации в конструировании систем автоматического распознавания (САРС). – Д.: ИПШ «Наука і освіта». – 2007. – 180 с.
- [3] Гудаев О.А. Концепция трехмерного моделирования игры "Виртуальный футбол" // Искусственный интеллект. – 2003. – № 4. – С.134 – 139.
- [4] Гудаев О.А. Проектирование интеллектуальных робототехнических систем с переключаемыми стратегиями автоматического доказательства теорем // Искусственный интеллект. – 2005. – №2. – С.82 – 95.
- [5] Гудаев О.А. Распознавание маркеров расширенной реальности ARGET робототехнической системой // Известия ТРТУ. Тематический выпуск «Интеллектуальные и многопроцессорные системы». – Таганрог: Изд-во ТРТУ. – 2006. – №16 (71). – С. 85 – 90.
- [6] Гудаев О.А. Сегментация аффинных проекций маркеров ARGET робототехнической системой // Искусственный интеллект. – 2007. – №4. – С.580 – 586.
- [7] Гудаев О.А. Синтез и анализ предложенных графического языка передачи сообщений в мобильных робототехнических системах с элементами расширенной реальности (ARGET) // Искусственный интеллект. – 2006. – № 2. – С.467 – 498.
- [8] Гудаев О.О. Компьютерна програма "Синтез маркерів розширеної реальності Augmented Reality Graphic Entity Telecommute розміром 6x6 з чотирма фіксованими кутовими значеннями" // Авторське свідоцтво України № 23836, дата реєстрації 05.03.2008. – 9 с.
- [9] Еременко В.А. Система расширенной реальности музейного робота-гида на базе технологии ARGET // "Современная информационная Украина: информатика, экономика, философия": материалы докладов конференции, 13-14 мая 2008 г. – Донецк. – 2008. – Т.1. – С. 136 – 143.
- [10] Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С. Г. Управление коллективом интеллектуальных объектов на основе стайных принципов // Вестник ЮНЦ РАН. – 2005. – №2, Т.1.–С.20 –27.
- [11] Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Распределенные системы планирования действий коллективов роботов. – М.: Янус-К. – 2002. – 292 с.
- [12] Капустян С.Г. Алгоритмы коллективного улучшения плана в задачах группового управления роботами // Искусственный интеллект. – 2006. – №3. – С. 409 – 420.
- [13] Капустян С.Г. Децентрализованный метод коллективного распределения целей в группе роботов // Известия высших учебных заведений. Электроника. – 2006. – №2, МИЭТ. – С. 84 – 91.
- [14] Форсайт Дэвид А., Понс Жан. Компьютерное зрение. Современный подход.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс". – 2004. – 928 с.
- [15] Шапиро Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. Стокман; Пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. – 2006. – 752 с., 8 с. ил.: ил.
- [16] Шевченко А.І. Сучасні наукові дослідження і розробки в галузі штучного інтелекту // Праці міжнародної конференції. 50 років інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України. – Київ. – 2008. – С. 100 – 106.
- [17] Шевченко А.И. Актуальные проблемы теории искусственного интеллекта. – Київ: ИПШ "Наукова і освіта". – 2003. – 228 с.
- [18] Юревич Е.И. Основы робототехники. - 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург. – 2005. – 416 с.: ил.