

О. Ю. Бочкаръов, В. А. Голембо
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електронних обчислювальних машин

ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЗБОРУ ДАНИХ У АВТОНОМНИХ КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМАХ

© Бочкаръов О. Ю., Голембо В. А., 2015

Розглянуто проблему використання інтелектуальних технологій збору даних у автономних кіберфізичних системах. Запропоновано класифікацію наукових та науково-технічних завдань дослідження та розроблення нових інтелектуальних технологій збору даних.

Ключові слова: інтелектуальна технологія збору даних, автономна кіберфізична система.

APPLYING INTELLIGENT TECHNOLOGIES OF DATA ACQUISITION TO AUTONOMOUS CYBER-PHYSICAL SYSTEMS

© Botchkaryov A., Golemba V., 2015

The problem of applying intelligent technologies of data acquisition to autonomous cyber-physical systems is considered. The classification of scientific and technological objectives of the research and development of new intelligent technologies for data acquisition is proposed.

Key words: intelligent technologies of data acquisition, autonomous cyber-physical system.

Вступ

Інтенсивний розвиток та впровадження інформаційних технологій в усіх сферах людської діяльності супроводжується збільшенням автономності, складності та масштабу відповідних кіберфізичних систем (КФС). Відтак дослідження та розробки в цій області набувають все більшої актуальності [1, 2]. Одним з ключових у роботі таких систем є використання методів та засобів збору даних, за допомогою яких: 1) збирають інформацію про оточення КФС, про відповідні об'єкти управління та про роботу самої КФС, а також 2) виконують попередню обробку зібраної інформації для її подальшого використання системами управління та іншими компонентами КФС. Внаслідок автономності та розподіленості сучасних КФС виникає потреба у використанні інтелектуальних технологій збору даних, які дозволяють адаптувати вимірювально-обчислювальні процеси до збурень у оточенні КФС, недетермінованих змін об'єкта управління та змін у роботі самої КФС (спричинених, наприклад, частковою відмовою її вузлів чи зменшенням запасу енергії).

Стан проблеми

З погляду постановки та розв'язання оптимізаційних задач основною метою використання інтелектуальних технологій збору даних є збільшення кількості отримуваної інформації (згідно з вибраним способом оцінювання) та зменшення витрат на її отримання. В найцікавіших випадках йдеться про делегування значної частини повноважень з прийняття рішень щодо збору даних адаптивним вимірювально-обчислювальним процесам на основі концепції інтелектуального автономного агента (intelligent autonomous agent) та технологій багатоагентних систем (multi-agent systems) [3, 4]. У межах цього підходу окремий вимірювально-обчислювальний вузол КФС отримав

назву «вимірювальний агент» [5–11], поведінку якого реалізує відповідний адаптивний вимірювально-обчислювальний процес [12]. Відтак для побудови інтелектуальних технологій збору даних треба вирішити проблему організації адаптивних вимірювально-обчислювальних процесів як відображення та результат колективної поведінки автономних вимірювальних агентів.

Постановка задачі

Розглянути проблему використання інтелектуальних технологій збору даних у автономних кіберфізичних системах. Визначити основні завдання дослідження та розроблення нових інтелектуальних технологій збору даних. Розробити класифікацію наукових та науково-технічних завдань дослідження та розроблення нових інтелектуальних технологій збору даних.

Розв'язання задачі

1. *Інтелектуальні технології збору даних.* Під інтелектуальними розумітимемо технології збору даних, які дають змогу адаптувати вимірювально-обчислювальні процеси до:

- 1) збурень у оточенні КФС;
- 2) недетермінованих змін об'єкта дослідження/управління;
- 3) змін у роботі самої КФС (спричинених, наприклад, частковою відмовою її вузлів чи зменшенням запасу енергії);
- 4) змін цілей дослідження чи управління з боку вищих рівнів багаторівневої базової платформи КФС.

Стосовно постановки та розв'язання оптимізаційних задач основною метою використання інтелектуальних технологій збору даних є:

- 1) збільшення кількості отримуваної інформації (згідно з вибраним способом оцінювання);
- 2) зменшення витрат на її отримання та забезпечення;
- 3) підвищення надійності роботи засобів збору інформації.

Використання інтелектуальних технологій збору даних у автономних кіберфізичних системах характеризується такими особливостями:

- 1) процес управління адаптивними вимірювально-обчислювальними процесами розглядається як процес прийняття рішення за умов невизначеності (нестачі інформації);
- 2) для розв'язання відповідних оптимізаційних задач використовуються методи машинного навчання (machine learning), зокрема методи навчання з підкріпленням (reinforcement learning);
- 3) як критерії якості в задачах зі збільшення отримуваної інформації використовуються різні варіанти міри інформації: структурні, статистичні, семантичні;
- 4) внаслідок великої розмірності та багатокритеріальності відповідних задач використовуються різні підходи до апроксимації функцій оцінки та цільових функцій;
- 5) в контексті застосування багатоагентного підходу досліджуються та розробляються методи координації колективної поведінки автономних вимірювально-обчислювальних вузлів.

2. *Інтелектуальні технології збору даних на основі концепції самоорганізації.* Один з найперспективніших, на наш погляд, напрямів вирішення згаданої проблеми ґрунтується на ідеї самоорганізації колективу автономних вимірювальних агентів як процесу взаємодоповнення та впорядкування агентів у єдиний колектив, функціональні можливості якого вищі за просту суму можливостей окремих агентів та який здатний адаптуватись до змін і впливів зовнішнього середовища, змінюючи свою структуру, функції та параметри. Колектив автономних вимірювальних агентів – це однорангова множина n агентів $A = \{a\}_n$, повністю або частково незалежних з погляду процесу прийняття рішень. Кожний автономний вимірювальний агент безпосередньо взаємодіє з середовищем E (об'єктом управління), в якому розміщена КФС. На кожному кроці цієї взаємодії агент a згідно з узагальненою функціональною схемою автономного вимірювального агента (рис. 1): 1) сприймає поточний стан середовища s за допомогою сенсорної системи $P(E,a)$; 2) виконує оцінку поточного стану середовища на основі заданої функції оцінки $R(s,a)$; 3) обмінюється деякою службовою інформацією з іншими агентами у спосіб $C(a)$, який визначається моделлю інформаційної взаємодії автономних агентів; 4) приймає рішення про вибір своїх подальших дій згідно з деяким алгоритмом прийняття рішень $U(a)$, намагаючись максимізувати задану цільову функцію $f(a)$; 5) реалізує вибрані дії в середовищі за допомогою наявних виконавчих підсистем $D(a)$.

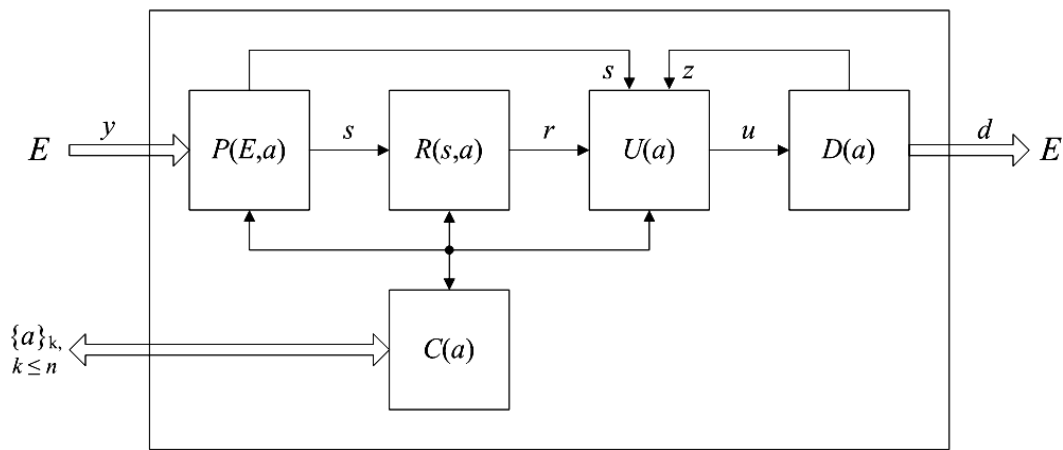


Рис. 1. Узагальнена функціональна схема автономного вимірювального агента

Множина автономних вимірювальних агентів A , об'єднаних спільною метою, утворює колектив автономних вимірювальних агентів (багатоагентну систему, multi-agent system). Колективна дія – це сукупність індивідуальних дій окремих автономних вимірювальних агентів (рис. 2). Послідовність колективних дій у ході міжагентної взаємодії та взаємодії з середовищем E формує колективну поведінку. Отже, колективна поведінка відображає хід частково або повністю незалежних процесів прийняття рішень окремими автономними вимірювальними агентами.

Цільова функція всього колективу $F(A)$ – це агрегатна функція (aggregate function), яка об'єднує цільові функції окремих агентів $\{f(a)\}$ і визначає характер та спрямування колективної поведінки. Відтак, у разі заданої цільової функції колективу постає проблема її відображення у множину цільових функцій окремих агентів: $F(A) \rightarrow \{f(a)\}$.

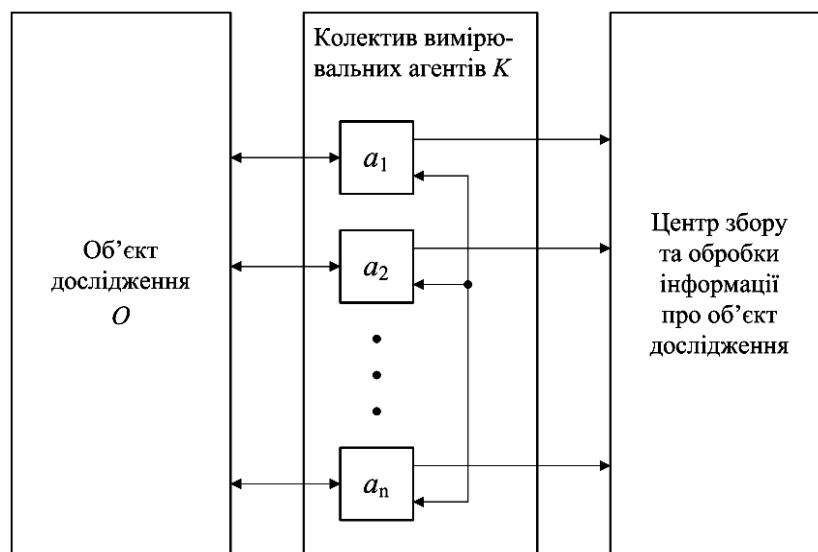


Рис. 2. Схема організації роботи колективу вимірювальних агентів

3. Основні завдання дослідження та розроблення нових інтелектуальних технологій збору даних. Для вирішення проблем дослідження, розроблення та використання технологій інтелектуального збору даних у КФС у межах держбюджетної науково-дослідної роботи «Інтеграція методів і засобів вимірювання, автоматизації, опрацювання та захисту інформації в базисі кіберфізичних систем» (ДБ/КІБЕР, 0115U000446) розпочато роботу з наукового напрямку «Дослідження та розроблення принципів побудови засобів збору та доставки інформації кіберфізичних систем на основі автономних вимірювально-обчислювальних вузлів з використанням багатоагентних технологій». Метою робіт за цим напрямком є дослідження та розроблення принципів побудови та спільної

роботи автономних вимірювально-обчислювальних вузлів (автономних вимірювальних агентів) у складі мобільних кіберфізичних систем з використанням багатоагентних технологій, зокрема дослідження та розроблення структур, алгоритмів роботи та протоколів взаємодії автономних вимірювально-обчислювальних вузлів.

Основні завдання, на вирішення яких спрямовано роботи, такі:

1. Дослідження принципів роботи та розроблення автономного вимірювально-обчислювального вузла: структура (компоненти, зв'язки), алгоритм роботи, службові інтерфейси (сенсорна система, виконавча система, система зв'язку, навігація, енергоживлення), прикладні інтерфейси.

2. Дослідження принципів роботи та розроблення колективу автономних вимірювально-обчислювальних вузлів (однорангової децентралізованої системи управління): структура системи, принципи самоорганізації, алгоритми колективної поведінки (за рівнями системи).

3. Дослідження принципів роботи та реалізація адаптивних вимірювально-обчислювальних процесів: організація процесів (розподіл ресурсів: вимірювальних, обчислювальних, енергетичних, комунікаційних; диспетчеризація: планування та розподіл вимірювально-обчислювальних (дослідницьких) задач; структурна адаптація вимірювально-обчислювальних процесів).

Виконання робіт за цим напрямом істотно розширить можливості побудови автономних мобільних кіберфізичних систем на основі останніх досягнень у сфері технологій мобільних обчислень, технологій бездротового зв'язку та робототехніки. Актуальність напряму підтверджується стрімким розвитком ідей та технологій побудови багатоагентних систем, які покликані вирішувати складні проблеми без участі людини за умов нестачі інформації та великої динаміки змін навколишнього середовища.

4. *Класифікація наукових та науково-технічних завдань дослідження та розроблення нових інтелектуальних технологій збору даних.* На основі аналізу проблеми використання інтелектуальних технологій збору даних у кіберфізичних системах можна запропонувати таку класифікацію наукових та науково-технічних завдань дослідження та розроблення нових інтелектуальних технологій збору даних.

1. Дослідження принципів роботи та розроблення автономного вимірювально-обчислювального вузла:

1.1. Структура автономного вимірювально-обчислювального вузла (варіанти структур, структурні схеми, функціональні схеми).

1.2. Алгоритм роботи (main control loop).

1.3. Специфікації службових інтерфейсів (інтерфейсів комплексування).

1.4. Специфікації прикладних інтерфейсів (запит на обробку великих даних, збереження зібраних даних у хмарному сховищі даних, видавання зібраних даних за запитом, отримання та розподіл дослідницьких завдань від користувачів).

1.5. Програмна модель автономного вимірювально-обчислювального вузла.

1.6. Прототип автономного вимірювально-обчислювального вузла.

1.7. Рекомендації щодо реалізації вимірювально-обчислювальних вузлів з використанням наявних засобів та технологій.

2. Дослідження принципів роботи та розроблення колективу автономних вимірювально-обчислювальних вузлів:

2.1. Структура однорангової децентралізованої системи управління колективом автономних вимірювально-обчислювальних вузлів.

2.2. Базові службові алгоритми (team formation control, consensus dynamics control, symmetry breaking control).

2.3. Базовий алгоритм локальної навігації.

2.4. Алгоритми самоорганізації у просторі.

2.5. Алгоритми самоорганізації у часі.

2.6. Алгоритми параметричної самоорганізації.

2.7. Протоколи взаємодії автономних вимірювально-обчислювальних вузлів.

- 2.8. Спеціалізовані структури даних (зокрема локальні та розподілені бази даних).
- 2.9. Програмні моделі колективної поведінки автономних вимірювально-обчислювальних вузлів.
- 2.10. Прототип: програмна реалізація алгоритмів колективної поведінки на основі прототипу автономного вимірювально-обчислювального вузла.

3. Дослідження принципів роботи адаптивних вимірювально-обчислювальних процесів:

- 3.1. Граф станів адаптивного вимірювально-обчислювального процесу (параметри конфігурації, схема пріоритетів).
- 3.2. Службові структури даних (розподілена таблиця процесів, опис ресурсів тощо).
- 3.3. Алгоритми розподілу ресурсів (децентралізоване управління).
- 3.4. Алгоритми диспетчеризації вимірювально-обчислювальних процесів (однорангова взаємодія, децентралізоване управління).
- 3.5. Алгоритми структурної адаптації вимірювально-обчислювальних процесів.
- 3.6. Алгоритми розподілу вимірювально-обчислювальних (дослідницьких) задач.
- 3.7. Моделі алгоритмів та результати обчислювальних експериментів.
- 3.8. Прототип: програмна реалізація алгоритмів.

Висновки

Розглянуто проблему використання інтелектуальних технологій збору даних у автономних кіберфізичних системах. Визначено основні завдання дослідження та розроблення нових інтелектуальних технологій збору даних. Запропоновано класифікацію наукових та науково-технічних завдань дослідження та розроблення нових інтелектуальних технологій збору даних.

Наукові результати, подані у цій статті, отримано під час реалізації дослідницького проекту ДБ/КІБЕР з реєстраційним номером 0115U000446, 01.01.2015–31.12.2017, фінансово підтриманого Міністерством науки і освіти України.

1. Jules White et al. *R&D challenges and solutions for mobile cyber-physical applications and supporting Internet services* // *Journal of Internet Services and Applications*, Volume 1, Number 1, May 2010. – P. 45–56. 2. Jiafu Wan, Hehua Yan, Hui Suo, Fang Li, *Advances in Cyber-Physical Systems Research*, *KSI Transactions On Internet And Information Systems*, VOL. 5, № 11, November 2011. – P. 1891–1908. 3. *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, by Gerhard Weiss (Editor), MIT Press, 2000. – 648 p. 4. Michael Wooldridge, *An Introduction to MultiAgent Systems*, John Wiley & Sons, 2009. – 348 p. 5. Бочкар'єв О. Ю., Голембо В. А. Система розподілених контактних вимірювань на основі автономних мобільних інтелектуальних агентів // *Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка" "Комп'ютерні системи та мережі"*. – 2001. – № 437. – С. 14–20. 6. Бочкар'єв О. Ю., Голембо В. А. Моделі колективної поведінки вимірювальних агентів // *Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка" "Комп'ютерні системи та мережі"*. – 2002. – № 463. – С. 19–27. 7. Мельник А. О., Голембо В. А., Бочкар'єв О. Ю. Нові принципи побудови вимірювально-обчислювальних мереж на основі інтелектуальних агентів // *Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка" "Комп'ютерні системи та мережі"*. – 2003. – № 492. – С. 100–107. 8. Бочкар'єв А. Ю., Голембо В. А. Самоорганізація колектива мобільних измерительных агентів в задаче распределенных контактных измерений // *Искусственный интеллект*. – Донецк, 2005. – № 3. – С. 723–731. 9. Бочкар'єв О. Ю. Колективна поведінка мобільних інтелектуальних агентів в задачах автономних розподілених досліджень // *Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка" "Комп'ютерні системи та мережі"*. – 2005. – № 546. – С. 12–17. 10. Бочкар'єв О. Ю., Голембо В. А. Способи організації переміщення мобільних вимірювальних агентів: підходи до побудови концептуальних моделей // *Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка" "Комп'ютерні системи та мережі"*. – 2009. – № 658. – С. 15–20. 11. Бочкар'єв О. Ю. Структурна адаптація автономних розподілених вимірювально-обчислювальних систем // *Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка" "Комп'ютерні системи та мережі"*. – 2010. – № 688. – С. 16–22. 12. Бочкар'єв О. Ю. Проблема організації адаптивних вимірювально-обчислювальних процесів в автономних розподілених системах // *Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка" "Комп'ютерні системи та мережі"*. – 2012. – № 745. – С. 20–26.