

УДК 681.3, 621.3

ПРОБЛЕМА ОРГАНІЗАЦІЇ ПЕРЕМІЩЕННЯ МОБІЛЬНОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО АГЕНТА У СКЛАДІ РОЗПОДІЛЕНОЇ СИСТЕМИ АВТОНОМНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

© Голембо Вадим, Бочкарьов Олексій, Кусьнісь Орест, 2007

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра електронних обчислювальних машин,
вул. С.Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Розглянуто різні аспекти проблеми організації переміщення мобільного вимірювального агента у складі розподіленої системи автономних досліджень. Запропонована класифікація способів організації переміщення мобільних вимірювальних агентів.

Rассмотрены разные аспекты проблемы организации перемещения мобильного измерительного агента в составе распределенной системы автономных исследований. Предложена классификация способов организации перемещения мобильных измерительных агентов.

The different aspects of the problem of organization of mobile explorer agent's movements in context of distributed autonomous exploration system are considered. The classification of ways of organization of mobile explorer agent's movements is proposed.

Вступ. Автономні розподілені дослідження [1–4] стають все актуальнішими із зростанням можливостей створення відповідних систем автономних довготермінових досліджень в інтересах різних наук (океанологія, метеорологія), вирішення екологічних проблем (екологічний моніторинг, виявлення та контроль забруднень довкілля), а також промислових та військових застосувань. Загальний сценарій розподілених контактних досліджень передбачає розміщення безпосередньо у просторі об'єкта дослідження деякої обмеженої кількості функціонально автономних вимірювачів, кожний з яких здатний збирати вимірювальну інформацію і передавати її в центр збирання та оброблення (глобальний користувач). В іншому варіанті сценарію споживач вимірювальної інформації (локальний користувач) також розміщений у просторі об'єкта дослідження і використовує цю інформацію, наприклад, для синтезу прямих управляючих впливів на об'єкт. Залежно від можливостей вимірювачів і завдань, що ставляться перед ними, можна розрізняти системи різного рівня складності, починаючи від безпроводних сенсорних мереж і закінчуючи глобальними системами збирання гідрометеорологічних даних.

Окремо на увагу заслуговують системи автономних довготермінових досліджень, в яких вимірювачі здатні переміщуватись у просторі об'єкта дослідження. Здатність до переміщення відкриває широкі мож-

ливості глибокого вивчення об'єкта, оскільки з'являється можливість керувати розміщенням і /або переміщенням вимірювачів у просторі досліджуваного об'єкта. Як приклад таких систем можна навести мобільні безпроводні сенсорні мережі [5,6] або автономні системи океанологічних досліджень [7, 8]. У такому разі носієм, який забезпечує можливість переміщувати вимірювач у просторі, можуть, наприклад, бути мобільний робот, безпілотний літальний апарат або автономний підводний апарат. Отже, можна говорити про мобільну автономну дослідницьку станцію, до складу якої, крім всього іншого, входять сенсорна система, система зв'язку та навігації, система переміщення, система енергозбереження та блок прийняття рішень. Надалі будемо називати таку станцію мобільним вимірювальним агентом, а систему станцій, що одночасно функціонують, – колективом мобільних вимірювальних агентів або багатоагентною системою.

У статті розглядається проблема організації переміщення мобільного вимірювального агента у складі розподіленої системи автономних досліджень. На перший погляд, тема мобільності не заслуговує на детальне обговорення, бо видається набагато простішою, особливо порівняно з такою проблемою, як інтелектуальність агента. Але наш досвід роботи з багатоагентними системами упродовж майже десяти років [2–4, 9] показав, що тут є багато цікавих

моментів. Як відзначив Г.К. Ліхтенберг у своїх “Аффризмах”: “Загальновизнана думка і те, що кожний вважає вирішеною справою, найчастіше заслуговує на дослідження”. Тому необхідно розглянути сценарії автономних досліджень з урахуванням фактора мобільності, проаналізувати основні методи забезпечення руху мобільних агентів, розглянути проблему обґрунтованого використання мобільних вимірювальних агентів порівняно з нерухомими вимірювальними агентами та запропонувати класифікацію способів організації переміщення мобільних агентів.

1. Сценарії автономних досліджень з урахуванням фактора мобільності. Згідно із загальним сценарієм розподілених контактних досліджень у середовищі розміщується інструмент дослідження з метою збирання інформації про деякий феномен, що відзначається у цьому середовищі. Тобто можна розглядати систему $S = \langle F, K, M \rangle$, де F – досліджуване явище (об’єкт, феномен, досліджуваний процес, який відбувається у середовищі), K – інструмент дослідження (багатоагентна система, колектив вимірювальних агентів), M – власник (користувач, спостерігач), в інтересах якого ведеться дослідження. Виділяючи у складі системи S нерухомі (H) та рухомі (P), відповідно об’єкт дослідження F , інструмент дослідження K і користувача M , отримаємо вісім варіантів (наборів), які у сукупності визначають всі можливі сценарії автономних досліджень з урахуванням фактора мобільності. Кожному такому сценарію можна поставити у відповідність умовний ступінь рухомості системи μ (табл. 1).

Таблиця 1

Сценарії автономних досліджень з урахуванням фактора мобільності (H – нерухомий, P – рухомий)

№	F	K	M	Сценарій	μ
1	H	H	H	3H-0P	0
2	H	H	P	2H-1P	1
3	H	P	H	2H-1P	1
4	H	P	P	1H-2P	2
5	P	H	H	2H-1P	1
6	P	H	P	1H-2P	2
7	P	P	H	1H-2P	2
8	P	P	P	0H-3P	3

Істотно, що тільки перший сценарій може розглядатися як повністю нерухомий, а всі інші – як рухомі, але з різним ступенем рухомості (очевидно, що найвищий ступінь рухомості ($\mu=3$) має 8-й сценарій). Наведемо приклади систем, що відповідають деяким із наведених у табл. 1 варіантам. Так, як рухомі об’єкти дослідження можна розглядати природні об’єкти: торнадо, цунамі, потоки лави; техногенні об’єкти: нафтову пляму, вогнище, наближення води внаслідок пошкодження водозахисних споруд; об’єкти, що мають криміногенну природу: спроби порушників проникнути на контрольовану територію, перетинання нелегалами кордону тощо. Рухомим інструментом дослідження є колектив мобільних вимірювальних агентів. Як рухомого користувача можна розглядати людину, яка пересувається на деякому рухомому засобі.

2. Основні методи забезпечення руху мобільних агентів. Методи забезпечення руху мобільних агентів значною мірою залежать від специфіки середовища, в якому вони будуть розміщені. Природно поділити методи забезпечення руху на два основні класи: 1) неперервні, які поширеніші, та 2) дискретні. Крім цього, можна розрізнити методи забезпечення руху у: 1) тривимірному середовищі (повітряному, космічному, підводному та підземному); та 2) на межі розділення середовищ вода–повітря, земля–повітря, земля–вода (тобто умовно у двовимірному середовищі). Докладніше розглянемо основні методи забезпечення руху мобільних агентів саме на межі двох середовищ. Спочатку зупинимось на методах забезпечення руху мобільних агентів на поверхні землі (межа розділення земля–повітря), та по дну океану (межа розділення земля–вода). Неперервний рух у такому разі може становити собою: 1) кочення (носії колісного та гусеничного типу); 2) ковзання (носії ковзаючого типу); 3) повзання (носії з можливістю переміщення по горизонтальних (“підлога”, “стеля”) та вертикальних (“стіна”) поверхнях) тощо. Дискретний рух у такому разі може становити собою: 1) крокування (носії дво-, чотири-, шести- та багатоопорного (“сороконіжки”) типу); 2) стрибання тощо.

Істотно, що у випадку дискретних методів забезпечення руху (наприклад, під час крокування (стрибання)) можна забезпечити вибір вимірювальним агентом місця для наступного кроку (приземлення).

Тому вони можуть, на відміну від неперервних методів забезпечення руху, у деяких випадках менше впливати на досліджуване середовище та завдати йому менше ушкоджень, що важливо з позицій екології. Можлива також комбінація наведених основних методів забезпечення руху мобільного агента: 1) неперервних (наприклад, кочення–ковзання); 2) дискретних (наприклад, крокування–стрибання); 3) неперервно-дискретних (наприклад, повзання–крокування, кочення–стрибання тощо).

На межі розділення середовища вода–повітря можливе використання переважно неперервних методів забезпечення руху. Це, наприклад, можуть бути: 1) традиційні надводні плаваючі засоби; 2) надводні плаваючі засоби з підводними крилами; 3) плаваючі засоби з повітряною статичною подушкою типу “амфібія” (рушії – повітряні гвинти), здатні переміщуватися як над водою, так і над сушею, або “скегового” типу (рушії – водомети), що здатні переміщуватися тільки над водою; 4) плаваючі засоби з повітряною динамічною подушкою на зразок екраноплана, здатні переміщуватися як над водою, так і над сушею.

3. Проблема обґрунтованого використання мобільних вимірювальних агентів порівняно з нерухомими вимірювальними агентами. Попередньо треба зауважити, що здатність рухатися, переміщуватися у просторі є одним із важливих, хоча і не єдиним проявом активності вимірювального агента. Істотно, що цей показник активності частіше легше спостерігати зовні. Іноді, особливо за відсутності інформаційного зв'язку з агентом, його рух є єдиним зовнішнім проявом його активності. Однак мобільність не може розглядатися як головний показник активності або головний прояв діяльності агента. Існують ситуації, коли надлишкова рухливість, видимість активної поведінки агентів, не сприяє, а іноді і перешкоджає ефективному розв'язанню поставленої задачі автономних досліджень. Тобто теза: “чим більше рухається агент – тим він більше корисний”, не завжди справджується.

Враховуючи це, доцільно ввести у практику такий параметр оцінювання ефективності переміщення колективу мобільних агентів з погляду зовнішнього спостерігача, як коефіцієнт корисного переміщення мобільного агента, що визначається співвідношенням: $C_{\mu} = d_{\mu} / d_a$, де C_{μ} – коефіцієнт корисного переміщення мобільного агента, d_{μ} – корисне переміщення (корисний шлях), d_a – загальне переміщення (весь шлях). Коефіцієнт корисного переміщення може харак-

теризувати як індивідуального мобільного агента, так і колектив агентів. Зауважимо, що внаслідок використання недостатньо ефективних адаптивних алгоритмів (наприклад, алгоритмів з надлишковою кількістю ітерацій; алгоритмів з більшою, ніж потрібно, кількістю пробних кроків; алгоритмів із слабкою збіжністю процесів, які приводять до розв'язання задачі) загальний шлях переміщення усіх агентів може значно перебільшувати мінімально необхідний для розв'язання задачі корисний шлях. Ця ситуація буде характеризуватися малим значенням коефіцієнта корисного переміщення C_{μ} . Але, якщо визначення загального переміщення колективу агентів є порівняно легкою задачею, то визначення мінімального необхідного для розв'язання задачі корисного шляху колективу агентів є значно складнішим. На нашу думку, ця задача спрощується, якщо її розв'язує деякий зовнішній спостерігач, який має інформацію про початкове та кінцеве розташування агентів у середовищі.

Не завжди мобільні вимірювальні агенти краще розв'язують поставлену задачу, ніж нерухомі (або малорухомі), особливо якщо потрібно вибирати між інтелектуальними мобільними агентами з великими енерговитратами та високою ціною і простими (реактивними) нерухомими агентами з малими енерговитратами та низькою ціною. Вибір між мобільними та нерухомими агентами залежить від характеру задачі автономних досліджень, яку потрібно розв'язувати. Очевидно, що можливості із збирання інформації у одного мобільного вимірювального агента зазвичай вищі, ніж у одного нерухомого вимірювального агента. Зазвичай для розв'язання задачі автономних досліджень однакової складності потрібно використати більше нерухомих вимірювальних агентів, ніж рухомих. Але мобільність досягається за рахунок значного ускладнення конструкції мобільного агента та збільшення витрат енергії. Потрібно розрізнити мобільні агенти, які увесь час своєї роботи перебувають у русі, та мобільні агенти, які чергують періоди рухомості та нерухомості.

Аналіз проблеми обґрунтованого використання мобільних вимірювальних агентів порівняно з нерухомими вимірювальними агентами дав змогу зробити такі зауваження (для спрощення були зроблені такі припущення: дослідження відбуваються в умовному двовимірному просторі; впливом інерційності сенсорів на динамічні похибки вимірювань внаслідок переміщення агента можна знехтувати).

1. Нерухомі вимірювальні агенти можуть розташовуватись регулярно, наприклад, у вузлах прямо-

кутної решітки, або у випадковий спосіб (спонтанно). У будь-якому випадку – це дискретне розташування. Тому такі нерухомі агенти здійснюють процедуру дискретизації простору, із втратою інформації про ділянки простору, які не охоплені сенсорами нерухомих агентів, що призводить до методичної похибки.

2. Мобільні вимірювальні агенти зазвичай пересуваються у просторі неперервно, маючи обмежену швидкість руху. Тому такі агенти здійснюють процедуру дискретизації в часі з втратою інформації про ділянки, де у цей момент не перебуває мобільний агент, що також призводить до методичної похибки.

3. Мобільні агенти можуть пересуватися у просторі дискретно з використанням стрибання або крокування. Тому такі рухомі агенти здійснюють процедуру дискретизації простору з втратою інформації про ті ділянки, які вони перестрибнули, що призводить до методичної похибки. Друга складова методичної похибки виникає внаслідок процедури дискретизації в часі з втратою інформації про ділянки простору, де у цей момент часу не перебуває мобільний агент.

4. Мобільні агенти можуть пересуватися (сканувати) простір регулярно, використовуючи великий арсенал локальних та глобальних розгорток, або нерегулярно, використовуючи різні випадкові процедури (наприклад, метод випадкового блукання (random walk)).

5. Мобільні вимірювальні агенти постійно витрачають енергоресурс на переміщення та керування

рухом, а також на зв'язок та обчислення. У випадку нерухомих агентів енергія витрачається лише на початкове розміщення агентів у середовищі (на це витрачається або енергія агентів, або енергія зовнішньої щодо агентів системи, що їх встановлює), а також на зв'язок та на обчислення. Можна припустити, що енерговитрати на початкове розміщення нерухомих агентів за регулярною схемою розміщення будуть більші, ніж енерговитрати на початкове розміщення нерухомих агентів у випадковий спосіб.

4. Класифікація способів організації переміщення. Розглянемо основні різновиди мобільних вимірювальних агентів на підставі класифікації способів організації їхнього переміщення (табл. 2). Стосовно нерухомих агентів можна коротко відзначити таке. Під нерухомими розуміємо великий і важливий клас агентів, розміщених, переважно на суходолі, котрі позбавлені можливості переміщуватись у просторі. Один з прикладів застосування нерухомих агентів для виявлення та відстеження пересувань порушників розглянуто у роботі [4]. Серед нерухомих агентів можна виділити незакріплені (умовно нерухомі, переносимі) та закріплені (повністю нерухомі). Серед рухомих (мобільних) агентів будемо виділяти дві основні групи: завчасно встановлені та завчасно не встановлені на носій. Своєю чергою серед агентів, завчасно встановлених на носій, можна виділити два основні класи: 1) агенти, яким переміщення їхнього носія підконтрольне; 2) агенти, яким переміщення їхнього носія не підконтрольне.

Таблиця 2

Класифікація способів організації переміщення мобільних вимірювальних агентів

Спосіб організації переміщення	Агент завчасно встановлений на носій	Контроль агента над переміщенням носія	Тип переміщення носія	Джерело переміщення
Переміщення за допомогою саморухомих носіїв (мобільних роботів)	так	підконтрольне або частково підконтрольне	безперервний рух або чергування руху і нерухомості	мобільний робот (платформа)
Переміщення за допомогою спеціально розроблених об'єктів-носіїв (дрифтерів)	так	непідконтрольне або частково підконтрольне	безперервний рух	природні фактори (течія, вітер тощо)
Переміщення разом з уже існуючими технічними об'єктами (засобами пересування)	так	непідконтрольне	чергування руху і нерухомості	керований людиною технічний об'єкт (засіб пересування)
Переміщення разом з уже існуючими біологічними об'єктами	так	непідконтрольне	чергування руху і нерухомості	біологічний об'єкт
Переміщення без використання спеціального носія	ні	непідконтрольне	чергування руху і нерухомості	природний фактор або зовнішній об'єкт-перевізник

Детально аналізуються способи організації переміщення мобільних вимірювальних агентів у окремих публікаціях.

Висновки. Розглянуто комплекс питань, пов'язаних з фактором мобільності вимірювальних агентів у складі розподіленої багатоагентної системи автономних досліджень, зокрема сценарії автономних досліджень з урахуванням фактора мобільності, основні методи забезпечення руху мобільних агентів, проблема обґрунтованого використання мобільних вимірювальних агентів порівняно з нерухомими вимірювальними агентами. Для оцінки ефективності переміщення мобільних агентів запропоновано поняття коефіцієнта корисного переміщення та розглянуто підходи до його застосування. Запропонована класифікація способів організації переміщення мобільних вимірювальних агентів, яка дала змогу виявити нові можливості організації такого переміщення.

1. Цапенко М.П. Измерительные информационные системы: Структуры и алгоритмы, системотехническое проектирование. – М.: Энергоатомиздат, 1985. 2. Бочкарьов О.Ю., Голембо В.А. Система розподілених контактних вимірювань на основі автономних мобільних інтелектуальних агентів // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”, 2001, № 437. – С.14–20. 3. Мельник А.О., Голембо В.А., Бочкарьов О.Ю. Нові принципи побудови вимірювально-обчислювальних мереж на основі інтелектуальних агентів // Вісник Національного уні-

верситету “Львівська політехніка”. – 2003 – № 492. – С. 100–107. 4. Мельник А.О., Голембо В.А., Бочкарьов О.Ю., Кусьнісь О.П. Проблема самоорганізації багатоагентної системи виявлення та відстеження порушників // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. – 2005 – № 548. – С.11–15. 5. Jorge Cortes, Sonia Martinez, Timur Karatas, Francesco Bullo, Coverage control for mobile sensing networks: variations on a theme // Proceedings of the Mediterranean Conference on Control and Automation, July 9-13, 2002, Lisbon, Portugal. Electronic Proceedings. 6. Howard Andrew, Mataric Maja J., Sukhatme Gaurav S. Mobile Sensor Network Deployment using Potential Fields: A Distributed, Scalable Solution to the Area Coverage Problem // Proceedings of the 6th International Symposium on Distributed Autonomous Robotics Systems (DARS'02) Fukuoka, Japan, June 25-27, 2002. 7. Turner R.M. and Turner E.H. Organization and reorganization of autonomous oceanographic sampling networks, Proceedings of the IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, Leuven, Belgium, May 1998, pp. 2060–2067. 8. Curtin T.B., Bellingham J.G., Catipovic J. and Webb D. Autonomous oceanographic sampling networks // Oceanography, vol. 6, no. 3. – P. 86–94, 1993. 9. Golemba V., Kotlarov V., Botchkariov A. Alternative technologies of the marine device engineering // Oceanology International 98 “The Global Ocean”, 10-13 March 1998, The Brighton Metropole, UK – Conference proceedings, Vol. 1, Brighton, UK, 1998. – P. 287–295.