

УДК 681.3, 621.3

АНАЛІЗ СПОСОБІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ПЕРЕМІЩЕННЯ МОБІЛЬНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ АГЕНТІВ

© Голембо Вадим, Бочкарьов Олексій, Кусьнісь Орест, 2008

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

Проаналізовано різні способи організації переміщення мобільних вимірювальних агентів розподіленої системи автономних досліджень. Запропоновано концепцію використання для переміщення вимірювальних агентів уже наявних мобільних об'єктів-носіїв.

Проанализированы разные способы организации перемещения мобильных измерительных агентов распределенной системы автономных исследований. Предложена концепция использования для перемещения измерительных агентов уже существующих мобильных объектов-носителей.

The different approaches to organization of relocation of mobile explorer agents of distributed autonomous exploration system are considered. The concept of using the prefabricated mobile objects-carriers for relocating explorer agents is proposed.

Вступ. У попередній роботі авторів [1] 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. У [1] також запропонована класифікація способів організації переміщення мобільних вимірювальних агентів, яка дала змогу виявити нові можливості організації такого переміщення. Відповідно до цієї класифікації (див. таблицю 2 у [1]) у цій роботі проаналізуємо різні способи організації переміщення мобільних вимірювальних агентів розподіленої системи автономних досліджень.

1. Саморухомі носії (мобільні роботи). До цих носіїв належать саморухомі (не керовані людиною) мобільні роботи (автомобілі у буквальному розумінні), переміщення яких у просторі може бути повністю підконтрольне агенту або частково підконтрольне з урахуванням дії зовнішніх факторів (течій, вітру тощо). Особливо підкреслимо, що йдеться про повністю автономні мобільні об'єкти, а не дистанційно-керовані (людинокеровані) об'єкти (такі, наприклад, як літаки-розвідники, котрі останнім часом почали доволі широко використовуватись). Нині існують вражаючі приклади застосування повністю автономних саморухомих систем у двовимірному просторі, наразі на

суходолі [2]. Створені саморухомі мобільні агенти для пересування у тривимірному просторі (у повітряному та у водному середовищах), зокрема низка таких апаратів створена і в Україні. Водночас необхідно зауважити, що значного поширення такі системи ще не набули.

2. Спеціально розроблені об'єкти-носії (дрифтери). Істотні складності, що пов'язані з розробленням та використанням у великій кількості активних саморухомих автоматів-роботів (у такому разі основною є проблема енергоспоживання), а також неможливість охопити з їхньою допомогою значні географічні простори, привели до широкого застосування пасивних рухомих мобільних об'єктів, так званих дрифтерів – спеціально розроблених об'єктів, на які завчасно встановлюється вимірювальний агент. Для дослідження океану, атмосфери та середовища на границі розподілу океан-атмосфера як дрифтери застосовуються відповідно автономні буйкові станції та повітряні зонди (повітряні кулі, аеростати).

Звичайно дрифтери пересуваються під впливом морських течій (в океані) та повітряних потоків (в атмосфері), тобто їхнє переміщення у просторі не є підконтрольним агенту. Але існують технічні рішення, які дають агенту змогу в деяких межах впливати на траєкторію свого руху. Це, наприклад: 1) дрифтери міжнародного дослідницького проекту ARGO для вертикального зондування (профілювання) глибин океану, які здатні робити 200 циклів занурення-спливання (глибина до 200 м) та 150 циклів занурення-

спливання (глибина 2000 м) [3]; 2) зондувальні буї, які спроможні здійснювати бічне ковзання як у напівциклі занурення, так і у напівциклі спливання [4]. Для повітряних зондів можна звернути увагу на конструкції типу парашанів та повітряних куль з регулюванням висоти підйому.

Нині для дослідження океану використовуються більше ніж 10000 автономних буйкових станцій – дрейфтерів, зокрема і виготовлені в Україні [3]. Зрозуміло, що лише за допомогою такої порівняно невеликої (у масштабі планети) кількості дрейфтерів важко вирішити більшість проблем глобального моніторингу у цілях кліматології та гідрометеорології.

3. Концепція використання уже наявних об'єктів-носіїв (“усього, що рухається”). Для ефективного вирішення проблеми значного збільшення кількості мобільних агентів нами запропонована концепція використання для переміщення вимірювальних агентів, що утворюють систему автономних довготермінових досліджень, вже наявних об'єктів-носіїв, тобто “всього, що рухається”. Згідно з цією концепцією як засоби пересування агентів можуть використовуватися біологічні об'єкти (люди, тварини, комахи) та керовані людьми технічні засоби пересування (морські судна, автомобілі та повітряні апарати). Ясно, що рух усіх цих засобів повністю не підконтрольний агентам. Але колосальна кількість цих вже наявних біологічних та технічних об'єктів, які незалежно від планів агента пересуваються, дає можливість перекрити такими агентами великі простори суходолу та океану.

Необхідними умовами для застосування цієї концепції є, по-перше, юридичні та економічні передумови, які зобов'язують або заохочують власників та орендарів транспортних засобів та біологічних об'єктів розміщати на цих засобах та об'єктах апаратні та програмні складові вимірювального агента. Друга передумова полягає у тому, щоб вага, габарити та розміщення агента не спричиняли незручностей біологічному або технічному носію, більше того, щоб агент був непомітним, або, навпаки, мав вигляд прикраси, для приємнішого носіння. Очевидно, що сучасний розвиток мікроелектроніки дає змогу виконати другу умову. У перспективі, за певних обставин, обладнання технічного або біологічного об'єкта цією апаратурою може бути питанням престижу.

Оцінимо можливу кількість учасників програми „концепція використання усього, що рухається” як носія-перевізника агентів. Наймасовішим технічним

засобом пересування на суходолі є автомобіль. За останніми повідомленнями, наприклад, у США близько 270 млн. легкових автомобілів та 30 млн. автобусів, вантажних та спеціальних автомобілів. Якщо хоча б 1 % автомобільного парку США будуть використовуватися як носії мобільних агентів, то це будуть 3 млн. носіїв. Кількість кораблів та яхт у світі можна мінімально оцінити на рівні 1 млн. Якщо як носії агентів використати 10 % їхньої кількості, то це становитиме 100 тис., що на порядок більше від кількості задіяних нині дрейфтерів (автономних буйкових станцій). Наймасовішим мобільним біологічним об'єктом є люди. Якщо як об'єкт-носіїв вимірювальних агентів будуть використовуватись усього 1 % землян із 6 млрд., то це становитиме 60 млн. об'єктів-носіїв.

Істотно, що поряд із окремими біологічними чи технічними об'єктами-носіями, які пересуваються порівняно “безсистемно” і “незалежно” один від одного і утворюють в першому наближенні децентралізовану систему, можуть використовуватись об'єкти-носії, які є складовою частиною деякої розподіленої централізованої системи. Прикладами таких систем можуть бути системи перевезення вантажів, системи пасажирських перевезень, поштові та кур'єрські служби тощо. У цьому випадку закон пересування окремого об'єкта-носія має сильну детерміновану складову, яку можна врахувати при плануванні переміщень відповідного вимірювального агента. Ці питання заслуговують на окреме дослідження.

Важливо підкреслити декілька моментів. По-перше, що апаратура агента, яка розміщується на автомобілях, кораблях, літаючих засобах, людях-пішоходах, велосипедистах, мотоциклістах, домашніх або диких тваринах, має бути незалежною від засобу (способу) пересування носія та його джерел енергоживлення. По-друге, з метою полегшення утворення багатоагентної системи автономних досліджень бажано, щоб апаратура агентів була однаковою та уніфікованою. По-третє, колосальна кількість носіїв, спонтанність їхнього руху та охоплення ними значних географічних просторів роблять концепцію “використання усього, що рухається” надзвичайно перспективною.

Під час реалізації концепції треба враховувати специфічні аспекти її застосування, один з яких розглянемо нижче. Отже, 2,7 млн. легкових автомобілів (1 % від загальної кількості автомобілів у США), що утворюють багатоагентну систему, обладнані автономною апаратурою агентів, яка налаштована, наприклад, на пошук радіоактивних або небезпечних хімічних речовин, які можуть поширювати

терористи. Постає важлива задача енергозбереження. Із цією метою виділяється, наприклад, 270 тис. (10 %) так званих “пасіонарних” агентів (автомобілів). Вибір “пасіонарних” агентів відбувається або випадковим методом (що простіше), або із урахуванням поточних координат цих агентів (що складніше). Іншим 90 % агентів присвоюється статус “субпасіонарних”. Апаратура цих агентів перебуває у “сплячому” стані (режим “standby”). Зауважимо, що оцінка співвідношення між кількістю “пасіонарних” та “субпасіонарних” агентів становить предмет додаткового дослідження (застосована вище термінологія поділу агентів на означені групи наведена у [5]).

Розглянемо, наприклад, ситуацію, коли один із “пасіонарних” агентів виявив сигнал, який свідчить про наявність джерела небезпеки. Тоді цей агент опитує найближчих “сплячих” агентів (наприклад, своїх безпосередніх “сусідів”). Ці агенти “просинаються” і починають вимірювати рівень небезпеки. Кожен з цих агентів, своєю чергою, опитує найближче оточення і так далі. Отже, зона небезпеки “оточується” агентами, що утворюють систему автономних досліджень, хоча кожен із автомобілів рухається по волі їхніх власників (тобто спонтанно з позиції зовнішнього спостерігача). Очевидно, що за такої схеми з плином часу брати участь в оточенні небезпечної зони будуть різні автомобілі. В умовах відсутності централізованого управління створена у такий спосіб багатоагентна система автономних досліджень може розраховувати площу небезпечної зони, виявити динаміку її змін, напрямок та швидкість пересування загрози тощо.

4. Агенти, які завчасно не встановлені на носії.

Оскільки проблема енергозбереження мобільних агентів далека від свого остаточного вирішення, можна запропонувати, згідно з класифікацією способів організації переміщення мобільних вимірювальних агентів (див. таблицю 2 у [1]), два альтернативні підходи до забезпечення переміщення агентів без втрати їхньої власної енергії. Можливість реалізації цих підходів значною мірою залежить від технологічних досягнень та конструктивних знахідок, які можна використати під час розроблення таких агентів.

Перший підхід полягає у використанні для пересування вимірювальних агентів природних факторів (наприклад, повітряних потоків або підводних течій), які за певних умов зможуть пересувати агентів на значні віддалі, наприклад, аналогічно тому, як під впливом природних факторів пересуваються плоди

(насіння) рослин. Перспективи використання цього підходу залежать від досягнень у галузі розроблення, так званого “розумного пилу” (smart dust) та відповідних безпроводних сенсорних мереж (dust networks), концепція яких розроблена в Університеті штату Каліфорнія в Берклі [6]. Прогнозується, що у найближчі роки з’являться автономні сенсорні вузли (вимірювальні агенти) розміром менше ніж $0,1 \text{ см}^3$ з п’ятирічним терміном автономної роботи [6]. Зменшення маси вимірювального агента значно полегшує його переміщення під впливом природних факторів (наприклад, пересування у повітряному потоці). Переміщення може також бути полегшено деякими конструктивними рішеннями (наприклад, використанням у конструкції агента “парасольки” для перенесення його вітром).

Другий підхід полягає у забезпеченні у конструкції агента можливості приєднуватися до мобільних об’єктів-носіїв подібно до того, як чіпляються до одяжі плоди реп’яха (*Actium lappa L.*, родина *Asteraceae*). Це, наприклад, може дати агенту змогу пересуватися разом із об’єктом, поведінка якого є предметом його спостережень. Серед різних варіантів реалізації цього підходу можна виділити такі: 1) агент має підготовані до чіплення, завчасно висунуті колючки або гачки; 2) агент під час безпосереднього контакту з об’єктом висуває колючки або гачки; 3) агент під час безпосереднього контакту з об’єктом попередньо визначає коефіцієнт тертя поверхні об’єкта та залежно від його значення змінює силу чіплення (зокрема можливість відчепитися від об’єкта за певних умов), 4) агент при безпосередньому контакті з об’єктом використовує для чіплення клейкі речовини або вакуумні присоски. Можна розглядати можливість наділяти агентів здатністю визначати необхідну силу чіплення як на індивідуальному, так і на колективному рівні.

5. Окремі зауваження

1. Для порівняння нерухомих та рухомих агентів може бути корисна аналогія між двома основними методами відображеннями інформації: індикацією та реєстрацією. Під час індикації інформації енергія витрачається увесь час, як і під час пересування мобільних агентів, а під час реєстрації інформації більшість енергії витрачається на початковому етапі створення документа, як і при початковому розміщенні нерухомих агентів у середовищі.

2. У цій роботі не розглядалось питання швидкості та інших характеристик пересування мобільних агентів. Очевидно, що швидкість повинна відповідати

динаміці процесів, які відбуваються у середовищі. Крім того, необхідна швидкість пересування агента пов'язана із геометричними розмірами, формою середовища та кількістю розміщених в ньому мобільних агентів. Менша кількість агентів, більша площа поверхні, більша динаміка зміни процесів у середовищі потребують використання швидших агентів.

3. Під час контактних досліджень необхідно зважати на проблему взаємодії сенсорної підсистеми вимірювального агента з об'єктом дослідження, що призводить до спотворень, зумовлених, наприклад, механічним розміщенням агента у досліджуваному середовищі чи виділенням агентом тепла в досліджуваному середовищі. З іншого боку, без впливу агента на досліджуване середовище не може бути отримана вимірювальна інформація. У такому разі важливо враховувати ефект масштабу досліджень. Наприклад, процедура вимірювання температури води у пробіріці може вплинути на температуру цієї води, тоді як при вимірюванні температури води в океані цим впливом можна знехтувати. В деяких інших випадках потрібно знаходити компромісне рішення між мінімізацією впливу на середовище та необхідністю отримати достовірну інформацію про події, що в ньому відбуваються. Вдалий приклад такого рішення наведений у [7].

4. Нерухомі вимірювальні агенти можуть ефективно розв'язувати задачі автономних досліджень у попередньо розвіданих та "освоєних" середовищах. Проте необхідно чітко розуміти, що використанням лише нерухомих вимірювальних агентів неможливо розв'язати багато актуальних задач автономних досліджень. Доволі часто лише мобільні вимірювальні агенти дають змогу одержати нову інформацію у нових місцях і в нових умовах. Нагадаємо, що усі славетні "піонери-відкривачі" (пасіонарії) були мобільними.

5. Розглядаючи фактор мобільності, ми свідомо уникали таких характеристик агентів, як когнітивність та реактивність [8]. Вірогідно, що рівень інтелектуальності якимось пов'язаний із мобільністю агента. Наприклад, у філософському сенсі спокій, допитливість та споглядабельність більш сприяє розумовій діяльності. З іншого боку, більший досвід набувається завдяки більшій активності. Ці протилежні тези можуть дати поштовх глибшому дослідженню цієї залежності.

6. Вибираючи між мобільними та нерухомими агентами, необхідно враховувати концепцію про відповідність інструмента досліджень особливостям об'єкта досліджень [9]. Можливо також, що на основі майбутніх досліджень цього питання вдасться сформулювати

закони збереження ресурсів (мобільності, енергії, вартості, інтелекту), які дадуть змогу зробити вибір між мобільними та нерухомими агентами коректнішим.

Висновки. Виконано аналіз різних способів організації переміщення мобільних вимірювальних агентів розподіленої системи автономних досліджень. Запропонована концепція використання для переміщення вимірювальних агентів вже наявних мобільних об'єктів, тобто "усього, що рухається". Згадані умови, які сприяють практичній реалізації запропонованої концепції, та розглянуто можливий сценарій її реалізації, згідно з яким запропоновано поділяти агентів на "пасіонарних" та "субпасіонарних" з подальшими діями оточення небезпечної зони. Запропоновано альтернативні підходи до забезпечення переміщення агентів без втрати їхньої власної енергії.

1. Голембо В.А., Бочкарьов О.Ю., Кусьнісь О.П. Проблема організації переміщення мобільного вимірювального агента у складі розподіленої системи автономних досліджень // *Вимірювальна техніка та метрологія*. – 2007. – № 67. – С.78–82. 2. Зубинский А. Великий вызов 2005 // *Компьютерное обозрение*. – 2005. – №41 (25 октября). – С. 69–71. 3. Мотыжев С.В. Спутниковая дрейфтерная технология для изучения океана и атмосферы. // *Автореферат диссертации на соискание ученой степени д.т.н.* – М.:Институт океанологии им. П.П. Ширшова, 1999. – 32 с. 4. Метеороботи погружаются в пучину // *Computer World / Україна*. – 2002. – №1 (16 января). – С.31. 5. 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. 6. Delsinmg J., Lindgren P., *Sensor communication technology towards ambient intelligence* // *Measurement Science and Technology*. – 2005. – Vol.16. – P.37–46. 7. Golembo V.A., Botchkaryov A.U. Approaches to design the multifunctional sensor system for determination of water environment parameters // *Sensors and Actuators A: Physical*. – 76 (1999). – P. 305–309. 8. Michael Wooldridge, *An Introduction to MultiAgent Systems*, John Wiley & Sons, 2002. 9. Мельник А.О., Голембо В.А., Бочкарьов О.Ю. Нові принципи побудови вимірювально-обчислювальних мереж на основі інтелектуальних агентів // *Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*. – 2003 – № 492 – С. 100–107.