

основі цілеспрямованих автоматів (learning automata) та алгоритми на основі навчання з підкріпленням (reinforcement learning). Наведено результати числового моделювання розглянутих алгоритмів та зроблено висновки щодо підтвердження основних принципів теорії колективної поведінки.

1. *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, by Gerhard Weiss (Editor), MIT Press, 2000. 2. Цетлин М.Л. *Исследования по теории автоматов и моделированию биологических систем*. – М., 1969. 3. Варшавский В.И. *Коллективное поведение автоматов*. – М.: Наука, 1973. 4. Cem Ünsal, *Self-organization in Large Populations of Mobile Robots*, Master thesises, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, 1993. 5. Огурко Н.М. *Исследование и разработка электрических приборов контроля загрузки судов*. Дис. ... канд. техн. наук. Львов, 1970. –218с. 6. Рудо М.М. *Лабораторные весы и точное взвешивание*. – М., 1963. 7. Загальна фізика: *Лабораторний практикум*. / За заг. ред. І.Т. Горбачука. – К., 1992. 8. Richard S. Sutton, Andrew G. Barto, *Reinforcement Learning: An Introduction*, MIT Press, Cambridge, MA, 1998.

УДК 681.3, 621.3

О.Ю. Бочкаръов, В.А. Голембо

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра “Електронні обчислювальні машини”

МОДЕЛІ КОЛЕКТИВНОЇ ПОВЕДІНКИ ВИМІРЮВАЛЬНИХ АГЕНТІВ

© Бочкаръов О.Ю., Голембо В.А., 2002

Розглядаються підходи до вирішення проблеми моделювання розподілених вимірювально-обчислювальних систем з використанням сучасних досягнень теорії колективної поведінки. Наводиться постановка задачі розподілених вимірювань в термінах теорії колективної поведінки. Розглядаються близькі за змістом до розподілених вимірювань моделі колективної поведінки та обговорюються їх недоліки. Запропоновано інтерполяційну та ентропійну моделі колективної поведінки вимірювальних агентів.

Approaches to solving problems of modelling destributed measuring-processing systems using modern achievements of cooperative behaviour theory are considered. Problem of destributed measurements is stated in terms of cooperative behaviour theory. Cooperative behaviour models close to destributed measurements and their drawbacks are considered. Interpolational and entropic models of measurement agent cooperative behaviour are introduced.

1. Вступ

Розглядаються підходи до вирішення проблеми моделювання розподілених вимірювально-обчислювальних систем, зокрема безпроводних вимірювально-обчислювальних мереж [1] з використанням сучасних досягнень теорії колективної поведінки. За

класифікацією, запропонованою у [2], системами розподілених вимірювань називаються такі вимірювальні системи, які вимірюють величини, розподілені у просторі та часі. При цьому масштаб розподіленості у просторі вимірюваної величини (об'єкта вимірювань) та швидкість, з якою змінюється ця величина, роблять неможливим використання єдиної еталонної міри (взірцевої величини) у процедурі вимірювання. Внаслідок цього в процедурі розподілених вимірювань використовують набір вимірювачів з однаковими еталонними мірами, тобто здійснюють розподілення еталонних мір у просторі (використання локальних еталонних мір). З практичної точки зору побудова систем розподілених вимірювань є можливою завдяки досягненням в області мініатюризації засобів аналого-цифрового перетворення, засобів обробки сигналів та засобів безпроводного зв'язку. При цьому ми обмежуємося розглядом точкових контактних вимірювачів, тобто вимірювачів, які розміщуються безпосередньо у різних точках об'єкта вимірювання. Випадки розподілених та безконтактних (дистанційних) вимірювачів не розглядаються.

У [1] висунуто ідею про те, що схожість природи об'єкта вимірювання (синергетичні прояви навколишнього середовища) та архітектури інструменту дослідження (вимірювально-обчислювальна мережа з елементами самоорганізації) дозволяє отримати найбільш достовірну інформацію про об'єкт вимірювання. Одним з найбільш перспективних шляхів дослідження цієї ідеї є використання теорії колективної поведінки (ТКП). У межах ТКП вимірювач отримує назву вимірювальний агент. Властивість мобільності вимірювального агента дає можливість співставити задачу розподілених вимірювань із задачею активного контактного сканування [2].

У п.2 розглядаються основні принципи ТКП, які покладено в основу дослідження систем розподілених вимірювань. У п.3 наводиться постановка задачі розподілених вимірювань в термінах ТКП. У п.4 розглядаються існуючі близькі за змістом до розподілених вимірювань моделі колективної поведінки та обговорюються їх недоліки з точки зору інформаційної теорії вимірювальної техніки. У п.5. розглядаються запропоновані моделі колективної поведінки вимірювальних агентів, які долають розглянуті в п.4 недоліки.

2. ТКП: клас досліджуваних систем

Дослідження систем розподілених вимірювань проводяться у межах теорії колективної поведінки [3,4,5] і базуються на гіпотезі про перевагу колективної дії над індивідуальною [1,2] та гіпотезі про простоту, яка стверджує, що сумісна реалізація та локальна взаємодія простих поведінкових актів може призводити в результаті до складних поведінкових процесів [2].

Досліджувані колективи вимірювальних агентів (багатоагентні системи) характеризуються:

- однорідністю агентів (кожний агент виконує один й той самий алгоритм дій),
- децентралізованістю управління (кожний агент самостійно приймає та реалізує рішення),
- обмеженістю радіуса видимості індивідуальних засобів зв'язку та детектування сусідніх агентів.

Крім цього передбачається, що колектив вимірювальних агентів діє в деякому дискретному просторі з заданою метрикою та системою координат. Передбачається також, що кожний агент здатен переміщуватись в заданому просторі за власною ініціативою з рівномірною швидкістю в будь-якому напрямку, не зустрічаючи перешкод на своєму шляху. На рис. 1 наведено узагальнену структуру вимірювального агента.

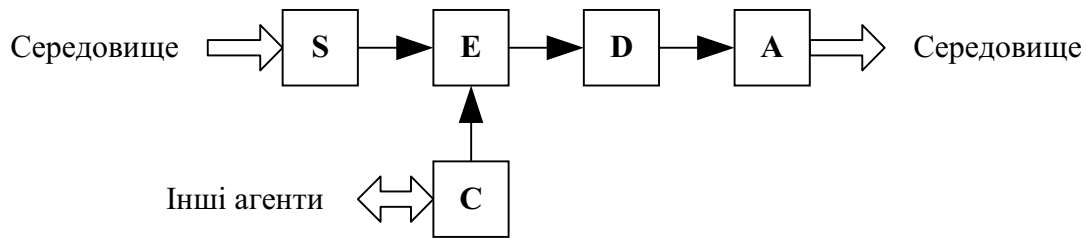


Рис. 1. Узагальнена структура вимірювального агента:

S – сенсорна система, *E* – блок оцінки, *D* – блок прийняття рішень, *A* – виконавча система, *C* – блок інформаційної взаємодії з іншими агентами

Узагальнена структура агента містить такі елементи:

1. *S* (sense) – сенсорна система; відповідає за отримання відгуку середовища у вигляді значень параметрів, що вимірюються давачами сенсорної системи.
2. *E* (estimate) – блок оцінки; формує сигнал програшу або виграшу залежно від значень на виході сенсорної системи та блока інформаційної взаємодії.
3. *D* (decide) – блок прийняття рішень; забезпечує виграшне рішення в умовах стаціонарного випадкового середовища або в умовах нестационарного випадкового середовища.
4. *A* (actuate) – виконавча система; відповідає за переміщення у просторі об'єкта вимірювання.
5. *C* (communicate) – блок інформаційної взаємодії з іншими агентами; забезпечує обмін інформацією заданого змісту та формату із сусідніми агентами.

3. Постановка задачі розподілених вимірювань в термінах ТКП

Задача розподілених вимірювань полягає у знаходженні таких алгоритмів індивідуальної поведінки вимірювальних агентів, які б дозволили покращити процес отримання інформації про об'єкт вимірювання. При цьому під покращанням процесу отримання інформації розуміють:

- підвищення точності інформаційного портрета досліджуваного об'єкта (тобто збільшення кількості отриманої інформації про об'єкт або, іншими словами, зменшення невизначеності статистичних відомостей про об'єкт);
- зменшення вартості процедури вимірювання [8] (тобто в даному випадку зменшення часу отримання інформаційного портрета об'єкта вимірювання, а також зменшення кількості просторових кроків вимірювальних агентів).

Отже, можна стверджувати, що дослідження ведуться на стику двох теорій: інформаційної теорії вимірювальної техніки та теорії колективної поведінки. У межах інформаційної теорії вимірювальної техніки розробляються методи колективних вимірювань, які дозволяють покращувати один з двох вищенаведених критеріїв. У межах теорії колективної поведінки розроблені методи трансформуються у локальний уніфікований алгоритм поведінки вимірювального агента.

Одною з ключових проблем, які виникають при вирішенні задачі розподілених вимірювань, є проблема розміщення вимірювальних агентів у просторі об'єкта вимірювань. Різним способам розміщення N вимірювальних агентів у M точках простору відповідають різні за адекватністю (якістю) відображення об'єкта вимірювань. Задача полягає у знаходженні такого розміщення вимірювальних агентів, яке б максимізувало достовірність відображення об'єкта вимірювань. Проблема розміщення виникає внаслідок обмеження на кількість вимірювальних агентів ($M \gg N$). Основною причиною цього обмеження є

принцип мінімізації впливу засобу вимірювань на об'єкт досліджень (принцип непорушення природного функціонування об'єкта досліджень) [7], а також відносно висока вартість вимірювальних агентів (як вимірювальний агент може, наприклад, виступати автономна вимірювальна станція системи розподілених океанологічних досліджень).

З точки зору інформаційної теорії вимірювальної техніки проблема розміщення має багато спільного з проблемою обмеження кількості рівнів квантування неперервного сигналу в задачах аналого-цифрового перетворення. Так само, як і в цих задачах, у випадку розподілених вимірювань відсутня можливість необмежено збільшувати кількість вимірювальних агентів (рівнів квантування). Одночасно з цим розміщення вимірювальних агентів в точках простору об'єкта вимірювання є дискретизацією неперервної функції середовища по просторовій координаті, тобто операцією побудови просторово-часової решітки розподілених вимірювань. Отже, проблема розміщення зводиться до вирішення задачі нерівномірної дискретизації сумісно з задачею оптимального нерівномірного квантування. Нерівномірність у даному випадку обумовлена, по-перше, нерівномірним початковим розміщенням вимірювальних агентів у просторі, і, по-друге, бажанням мати більше вимірювальних агентів в тих областях простору об'єкта вимірювання, які володіють більшою інформативністю (в яких відбувається більше змін).

4. Огляд найбільш близьких за змістом моделей

Розглядаються задачі, так або інакше пов'язані зі збиранням інформації колективом мобільних агентів в навколишньому середовищі. Найбільш розповсюдженими серед них є картографування (mapping), пошук (search) та розпізнавання (recognition). Спільним для цих задач є те, що в процесі їх вирішення агенти інтенсивно збирають інформацію та обмінюються нею, використовуючи для цього деякий алгоритм.

4.1. Картографування (mapping)

Критерієм ефективності у даному випадку є швидкість зняття карти заданої місцевості або приміщення колективом агентів. При цьому як місцевість може розглядатися комп'ютерна мережа [6]. Треба чітко розділяти дві цілі, які можуть ставитись перед колективом: подолання лабіринту та зняття його повної карти. В обох випадках колектив вирішує задачу картографування (дослідження) лабіринту, однак робить це з різними цілями. Задача може мати різні варіанти залежно від того, чи можуть засоби зв'язку агентів "бачити" крізь стіни лабіринту. Увага в даному випадку концентрується на різних варіантах колективних дій з дослідження (подолання) лабіринту, абстрагуючись від характеристик засобів виявлення (детектування) стін та перешкод, на які в деяких задачах-аналогах робиться основний акцент. Прикладами змістовної інтерпретації можуть бути колектив колесних роботів, які досліджують структуру незнайомого приміщення, роботи-вантажники, які шукають шляхи пересування по території складського приміщення, дослідження території, що вкрита радіаційними плямами, знаходження виходу із підземних комунікацій.

4.2. Пошук (search)

Критерієм ефективності у даному випадку є швидкість знаходження одного або більше цільових об'єктів колективом агентів. У більшості задач передбачається, що кількість цільових об'єктів є зліченною. Це можуть бути вантажі, розміщені в різних місцях складу, або web-сторінки, що містять задані для пошуку ключові слова. Алгоритм колективного пошуку працює доти, доки не знайде або всі цільові об'єкти, або задану кількість цільових об'єктів у районі пошуку. Прикладами змістовної інтерпретації можуть

бути полювання з підводними човнами колективом безлюдних підводних апаратів (UUVs – Uninhabited Underwater Vehicles), патрулювання роботами-охоронцями деякого периметра, наприклад, навколо військової бази (виявлення і відслідковування шляху порушників).

4.3. Розпізнавання (recognition)

У задачі розпізнавання критерієм ефективності є надійність розпізнавання одного або декількох цільових об'єктів колективом агентів, кожний з яких має повний або частковий інформаційний портрет цільових об'єктів до початку процедури розпізнавання. Можливі декілька варіантів задачі залежно від розподілення інформаційних портретів (або частин одного інформаційного портрету) між агентами колективу. Прикладом змістовної інтерпретації можуть бути розпізнавання агентами мережевої безпеки атаки на мережу, розпізнавання замаскованого командного пункту роєм безпілотних літальних апаратів, розпізнавання порушника роботами системи охорони деякого об'єкта.

4.4. Недоліки розглянутих моделей

Розглянуті моделі колективної поведінки найбільш близько підходять до проблеми збирання інформації колективом вимірювальних агентів. Однак, незважаючи на це, задача розподілених вимірювань продовжує займати в них підпорядковане положення відносно до вказаних задач. Відповідно основним недоліком розглянутих моделей є відсутність у цільовій функції колективу агентів безпосередньої оцінки кількості здобутої інформації, що відповідає кожному кроку моделювання. До інших недоліків можна віднести труднощі, пов'язані з інтерпретацією даних моделей у межах інформаційної теорії вимірювальної техніки, а також пов'язані з ускладненням даних моделей при дослідженні більш складних алгоритмів поведінки вимірювальних агентів. Виходячи з цього, розглянемо моделі колективної поведінки, в яких задача розподілених вимірювань займає центральне місце.

5. Моделювання колективної поведінки вимірювальних агентів

5.1. Загальні принципи моделювання

Перш за все розглянемо модель інформаційної зв'язності вимірювальних агентів. У моделях, які розглядаються далі як моделі інформаційної зв'язності, обрано радіус видимості R засобів зв'язку окремого вимірювального агента. Радіус видимості окреслює навколо вимірювального агента деяке коло. Ті агенти, які потрапляють в це коло (зону видимості), можуть бути виявленими даним агентом. Якщо це передбачено алгоритмом індивідуальних дій агента, то він може обмінюватись інформацією з усіма виявленими (сусідніми) агентами. Фізично величина радіуса видимості визначається потужністю передавача та чутливістю приймача агента. Випадки, в яких діаграма направленості засобів зв'язку агента відрізняється від правильного кола, не розглядаються. Слід також зауважити, що протягом одного обчислювального експерименту радіус видимості залишається незмінним та однаковим для всіх агентів. Крім цього вважається, що у просторі відсутні будь-які перешкоди для сигналів зв'язку, тобто відсутні "непрозорі" для сигналів зв'язку ділянки простору. Вказана модель інформаційної зв'язності обрана внаслідок її зручності: на відміну від відповідних методів теорії графів радіус видимості задовольняє вимогу локального визначення.

Вимірювальний агент з деяким заданим наперед та незмінним часовим кроком t_s отримує вимірювальну інформацію V_i в тій точці простору, де він знаходиться. Нехай значення t_s буде однаковим для всіх агентів. Випадки, коли значення t_s є різними для різних агентів, не розглядаються (хоча така модель є сама по собі дуже цікавою, в першу чергу, з точки зору моделювання біологічних ("нечітких") систем). Крім власних значень V_i агент

може отримувати значення $B_{j, j \neq i}$ сусідніх агентів, тобто тих, які потрапили в область видимості його засобів зв'язку (граничні випадки – це несамовиявлений колектив, коли $R=0$, і колектив з повною інформаційною зв'язністю (зв'язок "кожний з кожним"), коли R охоплює весь простір).

Ключовим обмеженням, яке накладається на модель інформаційної зв'язності, полягає в тому, що будь-який агент отримує значення $B_{j, j \neq i}$, виміряні сусідніми агентами, з деякою затримкою, яка вимірюється у кількості часових кроків t_s . Ця затримка моделює основну проблему розподілених систем, яка полягає в тому, що в даній точці простору неможливо миттєво отримати значення деякого параметра іншої точки простору. Для цього необхідний час, протягом якого значення параметра може змінитися. Вплив основної проблеми розподілених систем досліджується шляхом зміни від експерименту до експерименту залежності цієї затримки від відстані до сусіднього агента. При цьому розглядаються лише ті випадки, коли протягом одного експерименту ця залежність є незмінною та однаковою для всіх агентів.

Ще одним обмеженням є обмеження на розмір повідомлень, якими сусідні агенти можуть обмінюватись протягом одного кроку моделювання. В роботі прийнято, що за один крок моделювання агенти можуть обмінятися лише одним вимірним значенням (у випадку багатопараметричних вимірювань – одним значенням кожного параметра). При цьому приймаючому агенту відома затримка, з якою прийшло це значення (тобто відповідно до отриманого значення ставиться той часовий відлік, в якому воно було відправлено агентом-відправником).

5.2. Інтерполяційна модель

В інтерполяційній моделі колективних вимірювань передбачається, що агенти здійснюють контактні точкові вимірювання у заданому середовищі одного або більше параметрів. Модель виглядає так (рис. 2). Є зовнішнє середовище (об'єкт вимірювання), в якому M точок поєднані між собою в єдину просторову структуру (наприклад, однорідну одновимірну незамкнену решітку з M вузлами). У зовнішньому середовищі реалізована деяка функція, яка задає значення параметрів середовища в кожній його точці. Отже, в загальному випадку зовнішнє середовище характеризується:

- виміром (1D, 2D, 3D);
- кількістю точок (M);
- топологією з'єднань точок;
- кількістю параметрів;
- залежностями параметрів від часу та просторової координати (функція середовища).

Колектив вимірювальних агентів розміщується у зовнішньому середовищі. Кожний агент в один момент часу займає одну точку середовища. Кожен агент здатний вимірювати параметри середовища в тій точці, де він знаходиться. Кожен агент здатний переміщуватись у просторі за власною ініціативою із заданою наперед рівномірною швидкістю. Колектив вимірювальних агентів характеризується:

- типом вимірювального агента (процентний склад у випадку неоднорідного колектива);
- кількістю агентів N ;
- стартовим розміщенням агентів у просторі середовища;
- радіусом видимості засобів зв'язку окремого агента R ;
- швидкістю окремого агента v (може бути, наприклад, задана як кількість точок середовища, які долає вимірювальний агент за один крок моделювання).

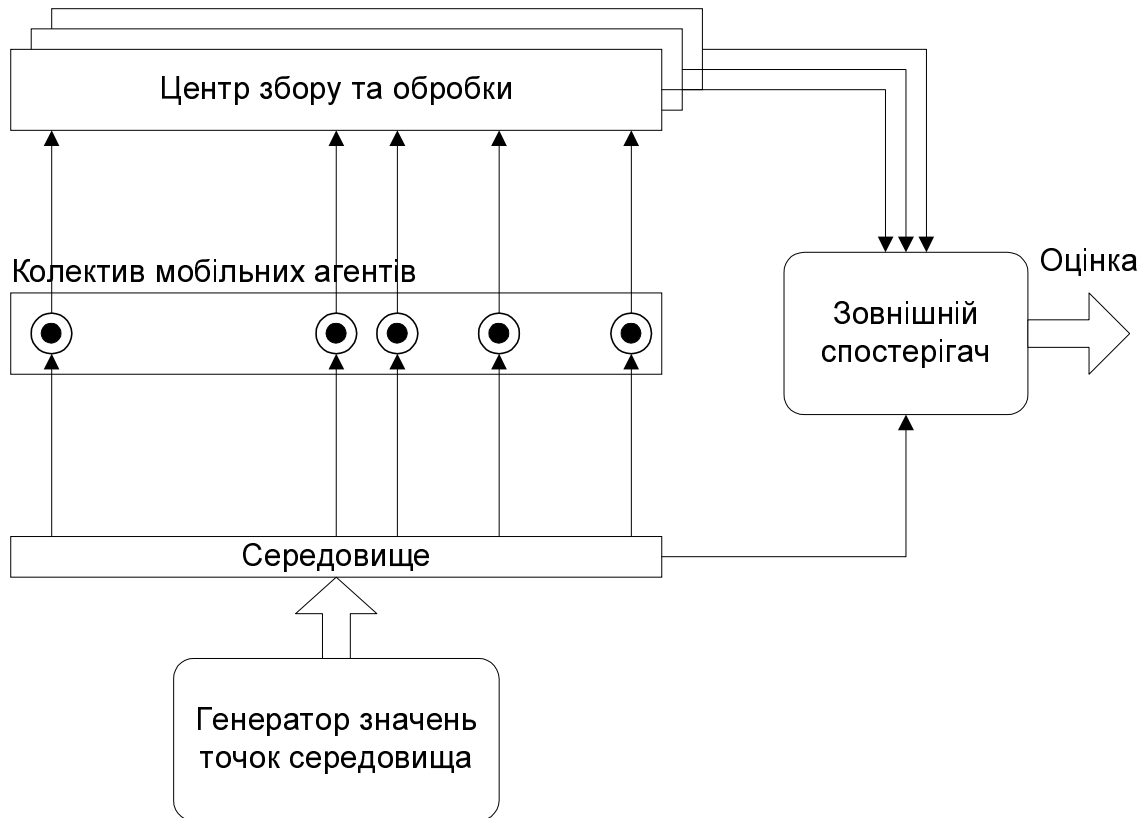


Рис. 2. Інтерполяційна модель колективної поведінки вимірювальних агентів

Виміряні значення параметрів середовища агенти передають у центр збору та обробки (далі просто "центр"). У центрі будується функція відтворення за допомогою деякого методу інтерполяції. При цьому значення, виміряні і передані в центр агентами, виступають в ролі вузлів інтерполяції. Функцію відтворення можна розглядати як модель реального процесу, який проходить у зовнішньому середовищі. Центр характеризується:

- типом інтерполяції;
- кількістю точок моделі K ;
- топологією з'єднань точок моделі.

Модель, що розглядається, є моделлю з дискретним часом. Кількість тактів моделювання T задається дослідником перед початком обчислювального експерименту. В першому такті моделювання вимірювальні агенти розміщуються у просторі середовища за заданою функцією стартового розміщення. Моделювання відбувається так. У кожному такті генеруються нові значення параметрів для кожної точки середовища (згідно із заданою функцією середовища). Після цього кожний вимірювальний агент визначає ці значення в тій точці, де він знаходиться і передає їх у центр (а також, можливо, сусіднім агентам, якщо моделюється самовиявлений колектив). Крім цього, агент приймає рішення про переміщення у просторі середовища і реалізує його. В цьому ж такті центр отримує значення параметрів від агентів, будує інформаційний портрет реального процесу, що відбувається в середовищі, тобто вираховує значення функції відтворення за допомогою заданого механізму інтерполяції. Після цього вираховується розбіжність значень функції відтворення із значеннями середовища, наприклад, у вигляді середньоквадратичного відхилення. Отже, для кожного такту моделювання вираховується похибка моделі реального процесу, яка

побудована в центрі на основі показів агентів в даному такті. При цьому використовується принцип "зовнішнього спостерігача", тобто деякої сутності, якій доступні в повному обсязі всі значення параметрів середовища і значення моделі, яка побудована в центрі.

Крім похибки моделі, визначеної з точки зору "зовнішнього спостерігача", вираховується похибка моделі згідно з конкретним методом інтерполяції, що використовується для її побудови (наприклад, значення залишкового члена при поліноміальній інтерполяції). Це те значення похибки, яке є доступним для розрахунків у центрі.

Метою моделювання є, в першу чергу, визначення ефективності досліджуваного алгоритму поведінки вимірювального агента. Показником ефективності є зменшення похибки відтворення функції середовища відносно існуючих алгоритмів поведінки вимірювальних систем. У даному випадку не моделюються похибки вимірювань в точці, так само як не моделюються можливі відмови агентів. Природа похибки, що моделюється, є зрозумілою – це похибка інтерполяції. При цьому сам метод інтерполяції в нашому випадку не має великого значення. Впливати на зменшення похибки моделі ми можемо більш вдалим розміщенням вимірювальних агентів (вузлів інтерполяції) у просторі середовища.

Основною перевагою цієї моделі є можливість оцінити внесок кожного вимірювального агента у побудову моделі реального процесу. Цей внесок можна назвати інформаційною корисністю вимірювального агента і інтерпретувати як міру кількості вимірювальної інформації, що здобута цим агентом. Інформаційна корисність визначається як різниця у точності між повною моделлю та моделлю, що побудована без використання значень, вимірянних даним агентом.

5.3. Ентропійна модель

Розглянемо модель колективної поведінки вимірювальних агентів на основі статистичної оцінки вимірювальної інформації [8]. Оскільки ця модель основана на понятті ентропії, яке було запропоноване К. Шенноном [9], то модель можна назвати ентропійною. В ентропійній моделі колективних вимірювань точки середовища в першому наближенні статистично незалежні. Схему можливих (допустимих) переміщень агентів у просторі задає граф з'єднань точок середовища. У кожний момент часу точка середовища може знаходитись в одному з K станів. Кожному стану ставиться у відповідність ймовірність перебування точки в цьому стані. Спочатку припускаємо, що випадкові процеси, що реалізовані в точках середовища, є стаціонарними. Різним точкам відповідають різні розподіли ймовірностей за станами. Виходячи з цього, для кожної точки можна визначити значення ентропії. Це значення будемо називати цільовим значенням ентропії точки.

У даній моделі нас цікавить співвідношення цільової та максимальної ентропії точки (максимальна ентропія відповідає випадку, коли ймовірності появи кожного стану однакові). Чим більше відрізняються ці два значення, тим більше інформації в точці, якщо виходити з тверджень шеннонівської теорії інформації. Перед початком експерименту в центрі будуються інформаційні портрети усіх точок з використанням принципу недостатнього обґрунтування Лапласа. Тобто спочатку кожній точці ставляться у відповідність однакові ймовірності появи станів. Отже, кожна точка перед початком експерименту характеризується в центрі максимальним значенням ентропії. Метою колективу агентів, які постачають в центр інформацію про поточний стан тих точок, в яких вони знаходяться, є збирання усієї закладеної в середовище інформації (цільової ентропії) за

можливо меншу кількість тактів моделювання (збільшення кількості отриманої інформації) та можливо меншу кількість переміщень між точками (зменшення вартості вимірювань). Задача має зміст лише в тому випадку, коли кількість агентів менша за кількість точок середовища. Додатковим обмеженням є те, що в один момент часу в одній точці середовища може знаходитись один агент.

Після стартового розміщення в точках середовища (наприклад, за випадковим законом) агенти приступають до роботи. У кожному такті моделювання кожний агент визначає стан точки, в якій він знаходиться і передає цю інформацію в центр. Після цього агент приймає рішення відносно того, залишатися йому в цій точці чи переміщуватись в іншу і реалізує прийняте рішення. Оскільки в центрі у всіх точок першопочатково встановлена максимально ентропія, то перебування агента в точці, цільова ентропія якої дійсно дорівнює максимальній, не дає ніякої додаткової інформації. Отже, загальна цільова функція колективу вимагає від агентів бути в тих точках, де розходження цільової та максимальної ентропії є найбільшим.

Основною перевагою даної моделі є те, що з'являється можливість оцінити кількість інформації, яка отримується кожним агентом за кожний крок моделювання підрахунком різниці значень ентропії інформаційного портрету точки до і після того, як отримано повідомлення про її поточний стан від агента, який в ній знаходиться.

6. Висновки

Розглянуто підходи до вирішення проблеми моделювання розподілених вимірювально-обчислювальних систем, зокрема безпроводних вимірювально-обчислювальних мереж з використанням сучасних досягнень теорії колективної поведінки. Наведена постановка задачі розподілених вимірювань в термінах теорії колективної поведінки. Розглянуто близькі по змісту до розподілених вимірювань моделі колективної поведінки та обговорені їх недоліки. Запропоновано інтерполяційну та ентропійну моделі колективної поведінки вимірювальних агентів, які долають обговорені недоліки.

1. Бочкарьов О.Ю., Голембо В.А. Система розподілених контактних вимірювань на основі автономних мобільних інтелектуальних агентів // Вісник НУ "Львівська політехніка". – 2001. – №437. – С.14-20. 2. Цапенко М.П. Измерительные информационные системы: Структуры и алгоритмы, системотехническое проектирование. – М., 1985. 3. *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, by Gerhard Weiss (Editor), MIT Press, 2000. 4. Цетлин М.Л. Исследования по теории автоматов и моделированию биологических систем. – М., 1969. 5. Варшавский В.И. Коллективное поведение автоматов. – М., 1973. 6. Nelson Minar, Kwin Kramer, Pattie Maes, *Cooperating Mobile Agents for Mapping Networks // Proceedings of the First Hungarian National Conference on Agent Based Computation*, 1999. 7. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. – К., 1983. 8. Темников Ф.Е., Афонин В.А., Дмитриев В.И. Теоретические основы информационной техники. – М., 1971. 9. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. – М., 1963.