

УДК 681.3, 621.3

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

ІНТЕРПОЛЯЦІЙНА МОДЕЛЬ КОЛЕКТИВНОЇ ПОВЕДІНКИ МОБІЛЬНИХ АГЕНТІВ ВИМІРЮВАЛЬНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ

© Бочкаръов О.Ю., Голембо В.А., 2003

Розглянуто інтерполяційну модель колективної поведінки мобільних агентів вимірювально-обчислювальної мережі. Наведено постановку задачі оптимального розміщення агентів в термінах інтерполяційної моделі. Запропоновано ряд алгоритмів колективної поведінки для вирішення задачі розміщення.

Interpolational model of multi-agent behaviour ad hoc mobile sensor network is considered. Agents' optimal placement task is stated in terms of interpolational model. Several algorithms of multi-agent behaviour are proposed for solving optimal placement task.

1. Вступ

Сьогодні дослідженнями в галузі багатоагентних систем активно займаються передові науково-дослідні центри [1,2,3]. При цьому одним з основних напрямків цих досліджень є збір інформації багатоагентними системами [4,5,6,7,8]. Серед основних задач багатоагентного збору інформації можна назвати такі: розподілені вимірювання (distributed sensing), картографування (mapping, exploration), розподілений пошук (distributed search), просторове розпізнавання (spatial cognition), відстеження траєкторій (tracking), польова розвідка (field (indoor or outdoor) reconnaissance) та ін.

У даному випадку агентом може бути мобільний робот (mobile robots), безпілотний літальний апарат (unmanned flying vehicle) або автономний підводний апарат (autonomous underwater vehicle). Більш специфічний випадок, коли агент є програмою, що здатна пересуватися з одного вузла комп'ютерної мережі на інший з метою збору деякої інформації. Перед колективами таких агентів ставиться велика кількість різних задач, пов'язаних із збором інформації та передачею зібраної інформації користувачу. При цьому сьогодні чітко розділяють дві дослідницько-конструкторські задачі: розробка конструкції агента (робототехніка) та розробка алгоритмічного забезпечення колективних дій (теорія колективної поведінки). Особливе зацікавлення у цьому контексті викликає друга задача, на вирішенні якої концентрується все більше дослідницьких груп.

У роботі досліджується інтерполяційна модель колективної поведінки мобільних вимірювальних агентів [4,5] з метою дослідження основних принципів розподілених вимірювань [4,5]. На основі цієї моделі розроблені алгоритми колективної поведінки мобільних вимірювальних агентів, які дозволяють підвищити точність отриманої інформації про об'єкт вимірювання за рахунок узгоджених переміщень вимірювальних агентів у просторі об'єкта вимірювань. Розроблені алгоритми можуть бути використані для побудови мобільних безпроводних вимірювальних мереж (mobile wireless sensor nets), що використовуються для моніторингу оточуючого середовища (environmental monitoring) та виконання інших задач, пов'язаних зі збором інформації. В основу розроблених алгоритмів колективної поведінки вимірювальних агентів закладено принцип подібності об'єкта вимірювання та вимірювального інструменту [4]. Принцип подібності полягає у тому, що у відповідність синергетичним процесам, що відбуваються у об'єкті вимірювання, ставиться здатність колективу агентів до самоорганізації. Ця здатність з'являється за рахунок використання вимірювальними агентами алгоритмів навчання з підкріпленням (самонавчання) та інформаційної взаємодії агентів один з одним.

2. Опис інтерполяційної моделі

Розглядається колектив вимірювальних агентів, які розміщені в деякому середовищі. Перед колективом агентів ставиться задача самостійно досліджувати середовище, передаючи результати досліджень у центр збирання і обробки вимірювальної інформації. При цьому допускається локальна інформаційна взаємодія агентів один з одним, яка задається моделлю інформаційної зв'язності. У роботі як модель 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 у 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 $F(X_i, t)$ в тій точці X_i 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 $F(X_i, t)$, агент може отримувати значення $F(X_j, t)$, $j \neq i$ 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).

Ключове обмеження, яке накладається на модель інформаційної зв'язності, полягає в тому, що будь-який агент отримує значення $F(X_j, t)$, $j \neq i$, 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, і протягом цього часу 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.

В інтерполяційній моделі колективних вимірювань передбачається, що агенти здійснюють контактні точкові вимірювання в заданому середовищі одного або більше параметрів. Розглядається зовнішнє середовище (об'єкт вимірювання), в якому M точок поєднані між собою у єдину просторову структуру (наприклад, однорідну одновимірну незамкнену решітку з M вузлами). У зовнішньому середовищі реалізована деяка функція $F(X_i, t)$, $i=1, \dots, M$ 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 та 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 з заданою наперед рівномірною швидкістю. Колектив вимірювальних агентів характеризується типом вимірювального агента (процентний склад у випадку неоднорідного колективу), 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).

Виміряні значення параметрів середовища агенти передають у центр збору та обробки (далі просто "центр"). У центрі будується функція відтворення $U(X_i, t)$, $i=1, \dots, L$, $N \leq L \leq M$ за допомогою деякого методу інтерполяції. При цьому значення, виміряні і передані в центр агентами, виступають в ролі вузлів інтерполяції. Функцію відтворення $U(X_i, t)$ можна розглядати як модель реального процесу, який відбувається у зовнішньому середовищі. Центр характеризується методом інтерполяції, кількістю точок моделі L та топологією з'єднань точок моделі.

Інтерполяційна модель колективної поведінки вимірювальних агентів, 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 (наприклад, випадково). Моделювання відбувається так. У кожному такті генеруються нові значення параметрів для кожної точки середовища (згідно з заданою функцією середовища $F(X_i, t)$, $i=1, \dots, M$). 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 (зображення) реального процесу, що відбувається в середовищі, тобто вираховує значення функції відтворення за допомогою заданого методу 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, за конкретним методом інтерполяції, що використовується для її побудови (наприклад, значення залишкового члену 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 до існуючих алгоритмів поведінки вимірювальних систем. У цьому 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 лише вдалими 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, що виміряні цим агентом.

3. Постановка задачі

Загальна методологія досліджень у межах інтерполяційної моделі ускладнена тим фактом, що насправді досліднику не відома функція середовища $F(X_i, t)$ (в реальних сценаріях розподілених вимірювань зовнішнього спостерігача не існує, а дослідник виконує функції центру збору та обробки інформації). Більше того, в найгіршому випадку дослідник не володіє жодною апіорною інформацією про $F(X_i, t)$ (наприклад, до якого класу належать ця функція або якому закону розподілу імовірностей вона підпорядкована). Звичайний спосіб подолання цієї проблеми полягає у навмисному обмеженні класу функцій середовища, для яких розробляються відповідні методи вимірювання [10, 11]. Обмеження вводяться шляхом припущень щодо імовірнісних характеристик функції середовища, її гладкості, диференційованості і т.п. Ці припущення також значно спрощують процес аналітичного дослідження методу вимірювання за рахунок використання відомих законів розподілу ймовірностей, узагальнених автокореляційних функцій та інших моделей випадкових процесів. При цьому поза увагою залишається той факт, що функція середовища може змінювати свої імовірнісні характеристики з плином часу. Тобто не розглядається в явному вигляді потреба у самостійному визначенні параметрів функції середовища інструментом вимірювання і зміни його роботи на основі цих досліджень.

Згідно з ідеєю, висловленою у [4], пропонується побудувати такий інструмент досліджень, який був би здатний “приспосовуватись” до об’єкта вимірювання. Одразу виникає запитання про предмет “приспосовування” в інструменті (тобто, що змінюється в інструменті під час “приспосовування”). Адаптивні вимірювальні системи [10] у даному випадку не розглядаються, оскільки метою “приспосовування” в них є покращення “вторинних” характеристик процесу вимірювання (наприклад, підвищення пропускну здатності каналів передачі вимірювальних даних або надійності роботи вимірювача). Стосовно розподілених контактних вимірювань на основі мобільних агентів предметом “приспосовування” є розміщення (або переміщення) вимірювальних агентів у просторі об’єкта вимірювань.

У межах інтерполяційної моделі кожне розміщення N агентів в M дискретах простору задає систему вузлів інтерполяції (базис), на яких будується зображення функції середовища. Серед усіх можливих базисів і відповідно розміщень N агентів в M дискретах простору можна виділити так звані екстремальні базиси, на яких обрана оцінка відхилення функції відтворення (зображення) від функції середовища набуває мінімального значення. Зокрема у випадку чебишовської інтерполяції (рівномірне наближення) мінімізується значення найбільшого відхилення функції відтворення (зображення) від функції середовища. Виходячи з цього, можна сформулювати задачу пошуку екстремального базису. Відомі централізовані алгоритми вирішення цієї задачі для ситуації, коли повністю відомі значення функції середовища (S-перетворення (алгоритм Валле-Пусена), R-перетворення). Якщо поставити цю задачу перед колективом вимірювальних агентів, то треба вирішити дві проблеми:

1. Подолання нестачі інформації про значення функції середовища (колективу відомі значення функції середовища лише в тих дискретах простору, де знаходяться агенти).
2. Децентралізоване управління процесом пошуку екстремального базису (за відсутності єдиного центру управління кожний з агентів самостійно приймає рішення про своє розташування в наступному такті моделювання).

4. Алгоритми поведінки агентів вимірювально-обчислювальної мережі

Згідно з основними вимогами до алгоритмів колективної поведінки [1,2], алгоритм поведінки вимірювального агента є локальним (персональним) і однаковим для всіх агентів колективу (уніфікованість), а також враховує обмеженість (локальність) інформаційної взаємодії сусідніх агентів в рамках обраної моделі інформаційної зв’язності. Крім цього, бралася до уваги більш жорстка вимога: незалежність алгоритму поведінки агента від кількості агентів в колективі N (у тому сенсі, що значення N не використовується в алгоритмі).

Загальною метою поведінки мобільних вимірювальних агентів у межах інтерполяційної моделі є знаходження деякого цільового розміщення в просторі об'єкта вимірювання (знаходження цільового базису). З огляду на це алгоритми поведінки мобільних вимірювальних агентів можна розділити на дві групи, залежно від того, чи залежить цільовий базис від функції середовища (тобто, залежно від того, чи враховує алгоритм поведінки агента у своїй роботі значення функції середовища $F(X_i, t)$).

Алгоритми першої групи, тобто алгоритми, що не враховують значення функції середовища $F(X_i, t)$, дозволяють вимірювальним агентам заповнити деяким впорядкованим чином простір об'єкту вимірювання. Основною проблематикою цих алгоритмів є знаходження цільових базисів в умовах динамічних змін простору об'єкта вимірювання ("пересування" границь, що обмежують заданий простір, поява та зникнення перешкод і т.п.). До алгоритмів першої групи можна віднести алгоритм рівномірного розміщення та алгоритм розміщення за Чебишовим.

Алгоритм рівномірного розміщення передбачає пошук впорядкованого регулярного розміщення вимірювальних агентів в заданому обмеженому просторі об'єкта вимірювання (середовища). При цьому шукається не екстремальний базис, а деякий регулярний базис, в якому, наприклад, відстані між усіма сусідніми агентами однакові. Базовий принцип локального управління (local control rule) для одновимірного обмеженого простору:

$$\Delta x_{i-1,i} = \Delta x_{i,i+1},$$

де i – номер даного агента (відстані між сусідніми агентами мають бути однаковими). Прикладом застосування даного підходу може бути алгоритм розміщення вимірювальних агентів, запропонований в [9] (метод «поля потенціалів»). При цьому дотримується вимога незалежності алгоритму від кількості агентів N .

Алгоритм розміщення за Чебишовим передбачає пошук розміщення у вузлах інтерполяції, що є рішеннями многочлену Чебишова першого роду. Таке розміщення гарантує мінімальну можливу похибку інтерполяції у вигляді максимального відхилення функції відновлення від функції середовища за умов неврахування значень останньої. В даному випадку основна проблема полягає у складності децентралізованого розрахунку відстаней між вимірювальними агентами за умов незалежності локального алгоритму від кількості агентів N . В [12] ця проблема, наприклад, долається за рахунок використання математичного апарата обчислювальної геометрії (зокрема діаграм Вороної (Voronoï)).

Алгоритми поведінки вимірювальних агентів другої групи, в яких враховуються значення функції $F(X_i, t)$, порівняно з розглянутими алгоритмами першої групи дозволяють різко зменшити відхилення функції відтворення $U(X_i, t)$ від функції середовища $F(X_i, t)$. Це досягається за рахунок "пристосування" колективу вимірювальних агентів до вигляду функції середовища шляхом знаходження екстремальних або близьких до екстремальних цільових базисів. Основною проблематикою цих алгоритмів є пошук цільових базисів за умов зміни вигляду функції середовища. В якості представників другої групи алгоритмів можна запропонувати такі алгоритми.

Алгоритм розміщення за Темніковим передбачає пошук розміщення з використанням квантового критерію, запропонованого Ф.Е. Темніковим [11]. Згідно з цим критерієм функція середовища $F(X_i, t)$ поділяється на рівні інтервали за значенням функції (з врахуванням максимального та мінімального значення $F(X_i, t)$). Після цього визначається, яким значенням X відповідають знайдені інтервали за значенням функції. У цих X і розміщуються вимірювальні агенти. Базовий принцип локального управління (local control rule) для одновимірного обмеженого простору:

$$|\Delta y_{i-1,i}| = |\Delta y_{i,i+1}|,$$

де $y_i = f(x_i)$, i – номер даного агента ("відстані" між значеннями функцій, що вимірюються сусідніми агентами, мають бути однаковими). Слід зазначити, що для випадку інтерполяції

поліномом нульового ступеня (ступінчаста інтерполяція вправо) базис, знайдений таким чином, буде екстремальним у межах чебишевської інтерполяції.

Алгоритм розміщення, що гарантує рівномірну інтегральну похибку, передбачає інтерполювання гладкої монотонної функції поліномом нульового ступеня. При цьому шукається базис, для якого інтегральна (абсолютна) оцінка відхилення функції відновлення від функції середовища є рівномірною для усіх “трикутників” відхилення, які утворюються в разі ступінчатої інтерполяції. При цьому передбачається, що площа цих “трикутників” буде однаковою. Базовий принцип локального управління (local control rule) для одновимірного обмеженого простору:

$$|\Delta y_{i-1,i}| \Delta x_{i-1,i} = |\Delta y_{i,i+1}| \Delta x_{i,i+1},$$

де $y_i = f(x_i)$, i – номер даного агента.

Алгоритм розміщення з рівномірним поділом "довжини" функції середовища вузлами інтерполяції так само передбачає інтерполювання гладкої монотонної функції поліномом нульового ступеня. При цьому функція середовища “розрізається” вузлами інтерполяції на ділянки однакової “довжини” (в геометричному сенсі). Під довжиною розуміється сума катетів i -го “трикутника” відхилення. Базовий принцип локального управління (local control rule) для одновимірного обмеженого простору:

$$\Delta y_{i-1,i} + \Delta x_{i-1,i} = \Delta y_{i,i+1} + \Delta x_{i,i+1},$$

де $y_i = f(x_i)$, i – номер даного агента.

Алгоритм розміщення, що гарантує рівномірну відносну похибку, передбачає інтерполювання гладкої монотонної функції поліномом нульового ступеня. При цьому знаходиться базис, який забезпечує однакову з заданою точністю відносну похибку у вузлах інтерполяції (відношення вертикального катета “трикутника” відхилення до значення функції в цьому вузлі). Базовий принцип локального управління (local control rule) для одновимірного обмеженого простору:

$$|\Delta y_{i-1,i}| / |y_i| = |\Delta y_{i,i+1}| / |y_{i+1}|,$$

де $y_i = f(x_i)$, i – номер даного агента.

Згідно з **алгоритмом врівноважувального розміщення** обмежена деякою областю визначення функція середовища розглядається як фізичний об’єкт з центром ваги. При цьому робиться припущення, що та функція відтворення $U(X_i, t)$, центр ваги якої за певних додаткових умов найбільш близький до центру ваги функції середовища $F(X_i, t)$, є найкращою. Цей алгоритм дозволяє використати для пошуку відповідного базису методи вирішення задачі механічного врівноваження колективом мобільних агентів [3].

Запропоновані алгоритми досліджені у межах інтерполяційної моделі для випадку одновимірної функції середовища $f(x)$, що не залежить від часу. Основними досліджуваними параметрами були швидкість знаходження цільового базису за умов початкового розміщення вимірювальних агентів випадковим чином (рівномірний закон розподілу) та величина відхилення функції відтворення від функції середовища після знаходження цільового базису та в процесі його пошуку для заданих M , N , $f(x)$. Співставлення отриманих результатів моделювання з залежностями, отриманими аналітично, буде предметом наступної публікації.

5. Висновки

Розглянуто інтерполяційну модель колективної поведінки мобільних агентів вимірювально-обчислювальної мережі. Наведено постановку задачі оптимального розміщення агентів в термінах інтерполяційної моделі. Запропоновано ряд алгоритмів колективної поведінки для вирішення задачі розміщення. Розроблені алгоритми колективної поведінки мобільних вимірювальних агентів дозволяють підвищити точність

отриманої інформації про об'єкт вимірювання за рахунок узгоджених переміщень вимірювальних агентів у просторі об'єкта вимірювань. Розроблені алгоритми можуть бути використані для побудови мобільних безпроводних вимірювальних мереж (mobile wireless sensor nets), що використовуються для моніторингу довкілля (environmental monitoring) та виконання інших задач, пов'язаних зі збиранням інформації.

1. *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, by Gerhard Weiss (Editor), MIT Press, 2000. 2. Michael Woolridge, Michael J. Wooldridge, *Introduction to MultiAgent Systems*, John Wiley & Sons, 2002. 3. Бочкарьов О.Ю. Вирішення задачі механічного зрівноваження колективом мобільних агентів // Вісник НУ “Львівська політехніка” – 2002. – № 463. – С.14–18. 4. 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. 5. Бочкарьов О.Ю., Голембо В.А. Моделі колективної поведінки вимірювальних агентів // Вісник НУ “Львівська політехніка” 2002. №463, – С. 19–27. 6. Botchkariov A., Golembo V., Lysak T. Self-organization of collective of mobile intelligent sensor network agents // *Proceedings of the VII International Conference “The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics” (CADSM'2003)*, 18-22 February, Lviv-Slavske, 2003. – p.208. 7. R. M. Turner and E. H. Turner, *Organization and reorganization of autonomous oceanographic sampling networks*, *Proceedings of the IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, Leuven, Belgium, May 1998, pp. 2060-7. 8. T. B. Curtin, J. G. Bellingham, J. Catipovic, and D. Webb, *Autonomous oceanographic sampling networks*, *Oceanography*, vol. 6, no. 3, pp. 86-94, 1993. 9. Andrew Howard, Maja J. Mataric, Gaurav S. Sukhatme, *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 (DARS02)*, Fukuoka, Japan, June 25-27, 2002. 10. Цапенко М.П. Измерительные информационные системы: Структуры и алгоритмы, системотехническое проектирование. – М.: Энергоатомиздат, 1985. 11. Темников Ф.Е., Афонин В.А., Дмитриев В.И. Теоретические основы информационной техники. – М.: Энергия, 1971. 12. 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*.