

- <CLEAR> – Очищення змісту пам'яті архіву
- <IBM> – Пересилання кадру у ПК.

Обміни з ПК і ПА, з огляду на відмінність їх швидкості від швидкості відтворення зображення, відбувається з блокуванням усіх інших переривань. Програмне забезпечення відеопроцесора становлять керуюча програма роботи МК та процедури обміну відеопроцесора з ПК і запису інформації у ПА.

**Висновки.** Пропонована структура двоканального відеопроцесора, при його поміркованій вартості, масгабаритах і споживанні, забезпечує можливість досить надійного пошуку, ідентифікації та визначення стану об'єктів моніторингу, а також гнучкої зміни конфігурації залежно від конкретних вимог споживача щодо швидкодії, рівня обробки, автономності, сервісних функцій, специфіки застосування тощо.

1. *Опришко В. Про впровадження енергозберігаючих технологій на підприємствах Міністерства промислової політики України // Проблеми економії енергії. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2003. – С. 5–11.* 2. *Госсорг Ж. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение. – М.: Мир, 1988. – 216 с.* 3. *Hrytskiv Z., Kondratov P. The ways of multispectral devices construction for thermal object visualization // Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services. – Nis, 1999. – Vol. 1. – P. 184–185.* 4. *Bozhenko I., Hrytskiv Z., Kondratov P., Muravov S. Frame preprocessing unit for thermovision camera based on solid programmable gate array// Optoelectronic and Hybrid Optical/Digital Systems for Image/Signal Processing. – Kiev, 2000. – Vol. 4148. – P. 226–229.* 5. *Пат. 47719 А Україна, МПК Н04N 5/33. Пристрій формування сигналу тепловізійного зображення / В. Гой, П. Кондратов, В. Шклярський. (Україна). – №2001085668: Заявл. 9.08.2001; Опубл. 15.07.2002; Бюл. № 7. – 6 с.*

УДК 681.3, 621.3

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

## **ПАРАМЕТРИЧНА САМООРГАНІЗАЦІЯ КОЛЕКТИВУ АВТОНОМНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ АГЕНТІВ: ЗАДАЧА ОТОЧЕННЯ ЗОНИ ЗБУРЕНЬ**

© Бочкаръов О.Ю., Голембо В.А., Грицуляк Т.О., 2004

**Досліджено однорідний колектив автономних мобільних роботів (агентів), який самоорганізується для слідкування за заданим значенням досліджуваного параметра. Розглянуто декілька алгоритмів пошуку і розподілення вздовж ізолінії досліджуваного параметра.**

**A homogeneous self-organizing population of autonomous mobile robots (agents) is to be realized for watching on the given value of the investigated parameter. Several algorithms for finding and distributing along the isoline of investigated parameter are given.**

**Вступ.** Сьогодні зростає зацікавленість системами з децентралізованим, розподіленим керуванням. Чільне місце серед них займають багатоагентні системи, що складаються з великої кількості автономних модулів, які, локально взаємодіючи один з одним, розв'язують поставлену задачу.

Такі системи мають дуже широке коло застосувань, починаючи від програмних агентів, що здійснюють пошук інформації в глобальній мережі Інтернет і закінчуючи командами автономних мобільних роботів, які слідкують за станом довкілля.

Використання децентралізованого управління позбавляє систему від вузьких місць комунікації та зниження надійності, які присутні при центральному органі керування, і також є задачі, в яких використання централізованого керування є практично неможливим (наприклад, у космічних проєктах дослідження інших планет – внаслідок великої відстані до них).

Багатоагентним системам притаманна властивість самоорганізації, тобто виникнення стійкої логічної структури системи внаслідок взаємодії агентів. Самоорганізація може здійснюватись в просторі, часі або за певними параметрами. Аналіз літературних джерел показав, що питання самоорганізації за певними параметрами є малодослідженим і тому було обрано для розгляду в роботі, а саме розглядаються алгоритми рівномірного розподілення колективу агентів вздовж динамічної замкнутої ізолінії (контура) деякого параметра на площині. Таку задачу можна розбити на три основні підзадачі: пошук контура; рух вздовж невідомого наперед контура; рівномірний розподіл вздовж контура.

**Алгоритми пошуку ізолінії досліджуваного параметра.** Розглянемо алгоритми поведінки агентів при пошуку ізолінії досліджуваного параметра (контура, де досліджуваний параметр набуває задане значення). Розглянемо три варіанти початкового розміщення агентів: компактне розміщення групою всередині контура; периферійне розміщення, коли всі агенти початково розміщені поза контуром; випадкове розміщення. Залежно від способу початкового розміщення будуть відрізнятися і методи пошуку контура.

При компактному розміщенні всередині контура можливим алгоритмом пошуку буде формування колективом кола, яке початково має невеликий радіус, але з часом коло розширюється доки агенти не потраплять на контур (рис. 1, а). Алгоритми формування кола колективом агентів відомі і описані, наприклад, в [4, 5].

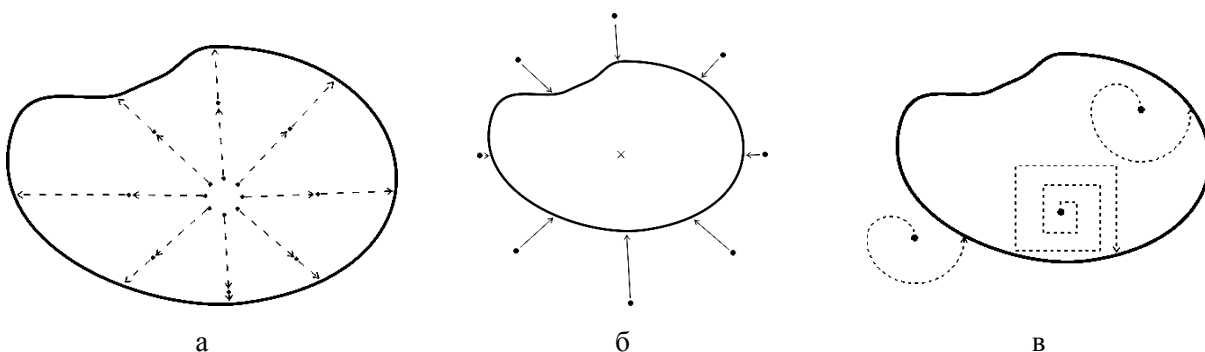


Рис. 1. Пошук контура

При периферійному розміщенні роботи, навпаки, утворюють коло великого радіуса (описане навколо початкових позицій агентів – див. [5]) і рухаються до його центра, доки не попадуть на контур (рис. 1, б).

При довільному початковому розміщенні колективу агентів можливим способом пошуку є прочісування території кожним агентом, тобто проведення розгортки площини. При цьому може використовуватись будь-яка з відомих розгорток – рядкова, спіральна та ін. Рядкова розгортка для реальних робіт вимагатиме значних витрат енергії, тому більш привабливими є різні види спіральних розгорток – прямокутна, Архімеда тощо (рис. 1, в).

**Алгоритми руху вздовж контура.** Розглянемо алгоритми руху окремого агента вздовж контура.

Контуром будемо вважати сукупність точок, які утворюють лінії і на яких відбуваються значні перепади значень досліджуваного параметра (наприклад, яскравості або кольору зображення).

Одним з можливих методів руху вздовж невідомого контура (прослідковування контура) є використання стежачих розгорток.

При “стежачій” розгортці траєкторія повністю визначається самою функцією, що розгортається. Це досягається в результаті спеціального вибору кожної наступної точки траєкторії, причому вибір здійснюється так, щоб наступна точка траєкторії максимально відповідала вимогам, які висунуті для прослідковування. Зокрема, в більшості методів прослідковування контурів кожна наступна точка траєкторії по можливості точно суміщається з контуром, незалежно від того, як розміщена відносно контура попередня точка.

З того, що кожна наступна точка траєкторії стежачої розгортки повинна вибиратися найкращим у певному розумінні чином, з необхідністю впливає, що такий вибір здійснюється в результаті деякої кількості спроб можливих продовжень траєкторії, найкраща з яких і вважається потрібною. Дослідження околу останньої знайденої точки траєкторії з метою виявлення наступної точки пов’язане з допоміжним процесом розгортки, який надалі називається “локальна розгортка”. Тут розглянемо метод прослідковування з спіральною локальною розгорткою. Методи прослідковування з іншими типами локальних розгорток описані в [1, 2].

Використовуючи спіральну локальну розгортку, агент рухається по траєкторії, яка складається з відрізків спіралей, що розкручуються (рис. 2).

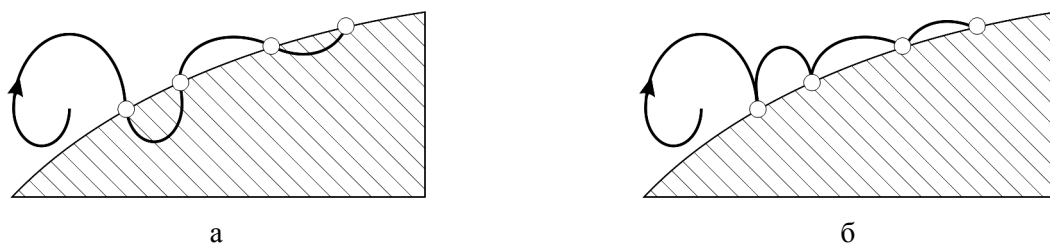


Рис. 2. Спіральна локальна розгортка:  
а – з перетином контура; б – з відбиванням від контура

Очевидно, чим сильніше розкручується спіраль, тим сильніше стягується траєкторія до контура; але крок спіралі повинен залишатись достатньо малим, оскільки при різкій зміні напрямку контура можливе зниження точності слідкування або втрата контура (рис. 3).

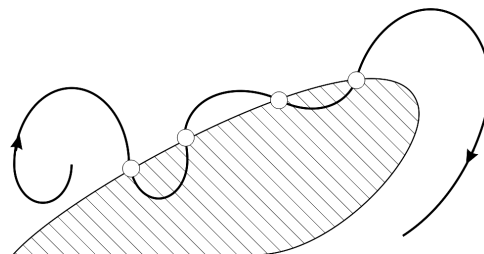


Рис. 3. Втрата контура при надто великому кроці спіральної локальної розгортки

Тепер зробимо деякі припущення щодо можливостей колективу агентів, що досліджується. Нехай агенти є інерційні, тобто не можуть миттєво змінювати свою швидкість і напрямок руху. Вони працюють у дискретному часі і мають можливість на кожному кроці руху змінити свою швидкість на деяке максимальне значення  $a_{dv}$  і напрямок руху на деякий максимальний кут  $a_{da}$ . Максимальна швидкість агента обмежена значенням  $max\_velocity$ . Нехай у вибраний момент часу агент має швидкість  $velocity$  та напрямок руху  $v\_angle$ , а на наступному кроці він змінить свою швидкість на  $dv$  (нагадаємо, що  $-a_{dv} < dv < a_{dv}$ ), а напрямок руху – на  $da$  ( $-a_{da} < da < a_{da}$ ).

За таких припущень координати агента будуть змінюватись:

$$\begin{aligned} X_{\text{наступне}} &= X_{\text{попереднє}} + velocity \cdot \cos(v\_angle) \\ Y_{\text{наступне}} &= Y_{\text{попереднє}} + velocity \cdot \sin(v\_angle) \end{aligned} \quad (1)$$

Алгоритм руху вздовж контура за спіральною локальною розгорткою з перетином контура (рис. 2, а) (тут `local_radius` – це максимальний радіус спіралі) має вигляд:

Алгоритм 1.

1. Якщо (на попередньому кроці був перетин з контуром) то
 

```

      {
          da = -da; // починаємо обхід в іншому напрямі
          якщо (velocity > local_radius) то dv = -a_dv;
          інакше dv = 0; //приводимо швидкість до значення local_radius
      }
      інакше // рухаємось по спіралі
      {
          da = 0.5*da; //напрямок руху змінюється зі швидкістю, що зменшується
          якщо (velocity < local_radius) то dv = a_dv;
          інакше dv = 0; //приводимо швидкість до значення local_radius
      };
      
```
  2. `velocity = velocity + dv;`  
`v_angle = v_angle + da;`
  3. Перейти до п.1.
- Блок-схему алгоритму наведено на рис. 4.

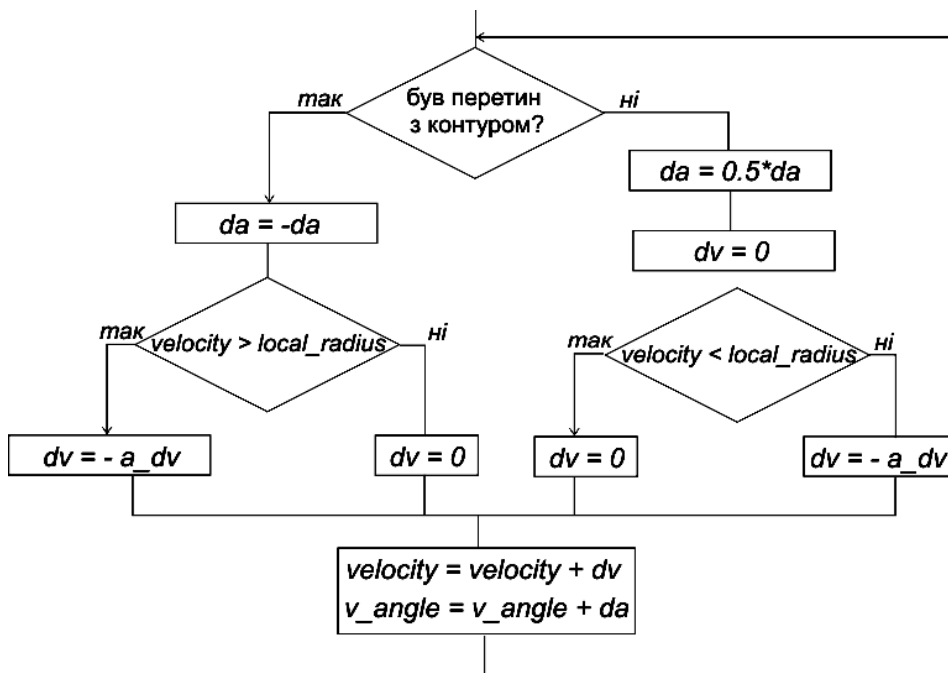


Рис. 4. Блок-схема алгоритму руху робота вздовж контура за спіральною локальною розгорткою

**Задача рівномірного розподілення агентів вздовж контура.** Розглянемо алгоритми та можливі способи колективної поведінки агентів, які спрямовані на те, щоб розподілитися рівномірно вздовж контура, що прослідковується. На цьому етапі вважаємо, що вже всі агенти знайшли контур і рухаються по ньому.

Будемо вважати, що агенти розподілені по контуру рівномірно, якщо довжина відрізка контура між положеннями будь-яких двох сусідніх агентів буде однаковою. Іншими словами, довжина відрізка контура між даним агентом та його сусідом по контуру за годинниковою стрілкою повинна бути однаковою для всіх агентів і дорівнювати загальній довжині контура, поділеній на кількість агентів, тобто

$$d_i(t) = \text{const} = \frac{L}{N}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, N, \quad (2)$$

де  $d_i(t)$  – довжина відрізка контура між  $i$ -м агентом і його сусідом за годинниковою стрілкою в момент часу  $t$ ;  $L$  – загальна довжина контура;  $N$  – кількість агентів.

При такому визначенні рівномірності розподілу введемо декілька критеріїв, за якими будемо її оцінювати:

1. Максимальна відстань по контуру між двома сусідніми агентами в момент часу  $t$ :

$$K_{\max}(t) = \max(d_i(t)), \quad i = 1, 2, 3, \dots, N. \quad (3)$$

Якщо алгоритм поведінки агентів збігається до рівномірного розподілу, то функція  $K_{\max}(t)$  повинна монотонно спадати з часом і наближатися до значення  $\frac{L}{N}$ .

2. Мінімальна відстань по контуру між двома сусідніми агентами в момент часу  $t$ :

$$K_{\min}(t) = \min(d_i(t)), \quad i = 1, 2, 3, \dots, N. \quad (4)$$

Якщо алгоритм поведінки агентів збігається до рівномірного розподілу, то функція  $K_{\min}(t)$  повинна монотонно зростати з часом і наближатися до значення  $\frac{L}{N}$  (рис. 5).

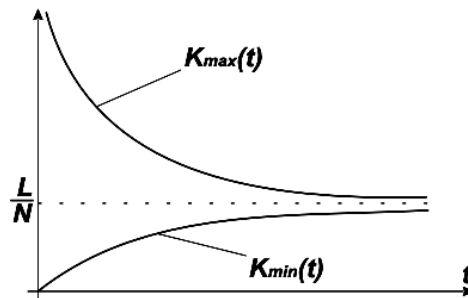


Рис. 5. Критерії рівномірності розподілу агентів вздовж контура

3. Середньоквадратичне відхилення довжин відрізків контура між агентами від довжини відрізка, яка повинна бути при рівномірному розподілі:

$$K_{\delta^2}(t) = \sum_{i=1}^N \left( d_i(t) - \frac{L}{N} \right)^2. \quad (5)$$

Якщо алгоритм поведінки агентів збігається до рівномірного розподілу, то функція  $K_{\delta^2}(t)$  повинна монотонно спадати з часом і наближатися до нуля.

Тепер розглянемо деякі можливі алгоритми розподілу залежно від рівня організації колективу агентів.

**Алгоритм з локальною взаємодією агентів.** Якщо агенти можуть тільки визначити присутність або відсутність сусіда на деякій малій, порівняно з довжиною контура, відстані, тобто їх радіус “видимості”  $R \ll L$ , то єдиною можливою їх дією при зустрічі з сусідом може бути розворот і рух по контуру в іншому напрямку:

Алгоритм 2.

1. Рухатись вздовж контура.
2. Якщо (зустрів сусіда), то почати обхід контура в іншому напрямку.
3. Перейти до п. 1.

При такому способі організації мова про оцінку рівномірності розподілу іти не може, але при достатньо великій кількості агентів, вони будуть розподілятися досить рівномірно.

Якщо припустити, що радіус видимості агентів порівняний або більший за розміри контура ( $R \approx L$ ) і вони вміють визначати відстань до своїх сусідів, то можна запропонувати такий алгоритм поведінки:

Алгоритм 3.

1.  $r = 0$ .
2. Якщо (відстань до найближчого робота менша  $r$ ), то почати обхід контура в напрямку від нього.
3. Якщо (є сусіди з обох боків на відстані менше  $r$ ), то зупинитись і стояти на місці.
4. Збільшити  $r$ .
5. Перейти до п. 2.

У цьому випадку агенти будуть поводитись як надувні кульки, які, роздуваючись, розштовхують одна одну по контуру. При цьому необхідно слідкувати, щоб радіус “роздування” в кожний момент часу у всіх агентів був однаковим. Оскільки контур замкнений і має скінченну довжину, а радіус “роздування” постійно збільшується, то через деяку кількість кроків агенти розмістяться на контурі на однаковій відстані один від одного.

Алгоритм “надувних кульок” є простим і наочним, але він має декілька істотних недоліків. Зокрема, агенти вимірюють відстань до сусідів по прямій лінії, а не вздовж контура, тому їх розподіл не буде рівномірним у розумінні, викладеному на початку цього розділу, якщо контур не є достатньо гладким (див. рис. 6 – хоча агенти стоять на рівних відстанях один від одного, відрізок контура  $d_4$  набагато довший, ніж  $d_1$ ,  $d_2$  чи  $d_3$ ).

Для уникнення цього потрібно, щоб кожний агент вимірював відстань до своїх сусідів не по прямій, а за шляхом, який він пройшов по контуру, і своїх сусідів ідентифікував тільки при безпосередній зустрічі на контурі. Тому введемо для кожного агента локальну одновимірну систему координат, в якій він буде визначати своє положення на контурі. За початок відліку візьмем точку, в якій агент потрапив на контур, а за додатний напрям, наприклад, обхід за годинниковою стрілкою. Тепер будемо “роздувати кульку” не на площині, а в цій одновимірній системі координат. Тобто агент рухається на деяку відстань  $r$  в одному напрямі, розвертається і рухається назад до початку координат, потім на таку саму відстань в протилежному напрямі, а потім знову до початку координат. Якщо на цьому шляху він не зустрів інших агентів, то відстань  $r$  збільшується. Отже, рух агента буде нагадувати маятник, який коливається із зростаючою амплітудою (рис. 7).

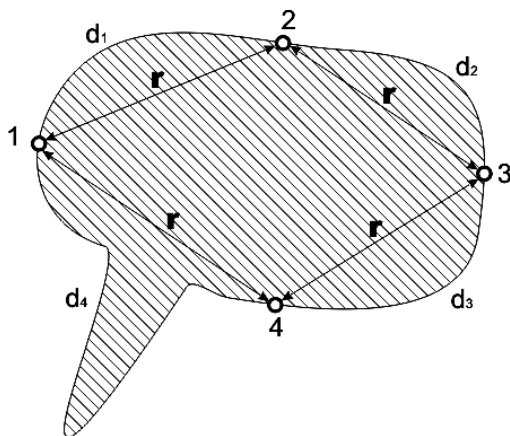


Рис. 6. Ілюстрація до алгоритму “надувних кульок”

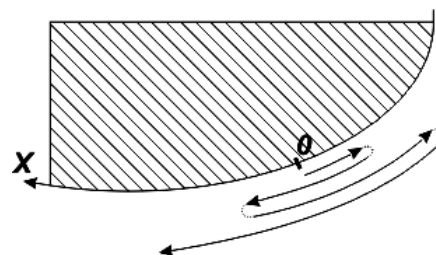


Рис. 7. Ілюстрація до алгоритму “маятника”

Якщо ж агент зустрічає сусіда на своєму шляху, то він зміщує на деяку величину свій центр коливань у протилежний бік. Таким чином буде відбуватися розштовхування агентів. Короткий опис алгоритму матиме вигляд ( $x$  – рухома координата робота в його локальній системі координат;  $\Delta x$  – зміна координати на рухомому кроці;  $dx$  – крок зміщення центра коливань):

#### Алгоритм 4.

1.  $r = 0$ .
2.  $x = 0$ .
3. Якщо ( рух в додатному напрямі ), то  $x = x + \Delta x$ , інакше  $x = x - \Delta x$ .
4. Якщо (  $|x| > r$  ), то почати обхід контура в іншому напрямі.
5. Якщо ( зустрів сусіда), то  
{  
    Якщо (рух в додатному напрямі), то  $x = x + dx$ , інакше  $x = x - dx$ .  
}
6. Збільшити  $r$ .
7. Перейти до п. 3.

Вздовж контура агент рухається за одним з методів, описаних вище, тому для визначення величини  $\Delta x$  будемо проводити лінійну апроксимацію контура по двох точках – точці перетину з контуром на даному циклі локальної розгортки і точці перетину на попередньому циклі (рис. 8). Якщо радіус локальної розгортки достатньо малий, порівняно з кривизною контура, то така апроксимація буде досить точною.

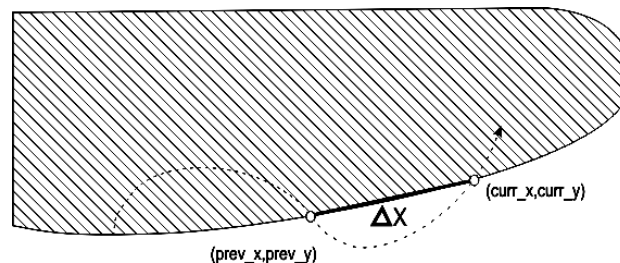


Рис. 8. Визначення зміщення вздовж контура за допомогою лінійної апроксимації

Тоді

$$\Delta x = \sqrt{(curr\_x - prev\_x)^2 + (curr\_y - prev\_y)^2}. \quad (6)$$

Основним недоліком такого руху є те, що агенти не зможуть ніколи зустрітися і почати розштовхування, якщо всі вони починають коливання в одному напрямку.

**Алгоритм просторової організації агентів з локальною передачею інформації.** У всіх попередніх алгоритмах вважалося, що агенти не можуть обмінюватись ніякою інформацією. Якщо зняти таке обмеження і припустити, що агенти можуть обмінюватись повідомленнями та ідентифікувати один одного (наприклад, за номерами), то можна запропонувати такий алгоритм руху.

Знайшовши контур, агент починає рухатись по ньому, доки не зустрине сусіда. При зустрічі роботи ідентифікують один одного (тобто запам'ятовують, що “мій сусід за годинниковою стрілкою – це робот № 5”) і узгоджують свої системи координат (агент запам'ятовує наскільки зміщена система координат сусіда відносно його власної) і починають рух в протилежному напрямі до зустрічі з сусідом з іншого боку. Коли агент знайшов своїх сусідів з одного і з іншого боків, то на кожному наступному кроці він запитує в них їхні координати і, знаючи зміщення їх систем координат відносно своєї, визначає координату середини відрізка контура між ними та рухається до неї (назвемо цей алгоритм “медіанним”):

#### Алгоритм 5.

1. лів\_сусід=0, прав\_сусід=0.
2.  $x = 0$ ,  $x_{сер}=0$ .
3. Якщо ( рух в додатному напрямі ), то  $x = x + \Delta x$ , інакше  $x = x - \Delta x$ .
4. Якщо ( зустрів сусіда ) і ( рух в додатному напрямі ), то  
{

лів\_сусід = номер сусіда.

почати обхід контура в іншому напрямі.

};

5. Якщо ( зустрів сусіда ) і ( рух у від'ємному напрямі ), то

{

прав\_сусід = номер сусіда.

почати обхід контура в іншому напрямі.

};

6. Якщо ( лів\_сусід  $\diamond 0$  ) і ( прав\_сусід  $\diamond 0$  ), то

{

$x_{сер} = ( лів_сусід \rightarrow x + прав_сусід \rightarrow x ) / 2.$

Якщо (  $x_{сер} < x$  ) і ( рух в додатному напрямі )

або (  $x_{сер} > x$  ) і ( рух у від'ємному напрямі ),

то почати обхід контура в іншому напрямі.

};

7. Перейти до п. 3.

Результати моделювання показують, що при такому методі руху розподіл агентів з часом прямуватиме до рівномірного. Але, як і в попередньому алгоритмі, якщо спочатку роботи починають рух в одному напрямі, то ніколи не зможуть зустріти сусідів та ідентифікувати їх. Щоб уникнути цього, введемо у поведінку колективу агентів поняття стаціонарного стану. Нехай, потрапивши на контур, всі агенти переходять до стаціонарної розгортки, не просуваючись вздовж контура. Після того, як всі агенти знайшли контур, відбуваються вибори лідера – агента, який почне рух вздовж контура, наприклад, за годинниковою стрілкою. Вибори можуть проводитись за номерами (наприклад, агент з найменшим номером починає рух) або за принципом випадкового доступу (так, як здійснюється доступ до середовища передачі в мережах Ethernet).

Зустрівши сусіда, лідер обчислює координату середини пройденого відрізка  $x_c$ , повідомляє її сусіду і починає рухатись проти годинникової стрілки до  $x_c$ , де й зупиняється. Сусід, „отримавши естафету”, рухається за годинниковою стрілкою до наступного агента, і, знаючи, де зупинився попередній агент, обчислює координату середини відрізка між попереднім і наступним агентом та рухається до неї і так далі. Отже, вздовж контура буде рухатись „хвилька”, після проходження якої агенти будуть розміщуватися все більш рівномірно.

#### Алгоритм 6.

Стан 1.

1.1.  $x = 0.$

1.2. стояти на місці.

1.3. Якщо ( всі роботи на контурі ), то вибрати лідера.

1.4. Якщо ( я – лідер ), то перейти в стан 2.

1.5. Перейти до п. 1.

Стан 2.

2.1. Рухатись вздовж контура за годинниковою стрілкою.

2.2.  $x = x + \Delta x.$

2.3. Якщо ( зустрів сусіда ), то

{

$x_c = ( x_c + x ) / 2.$

передати сусіду значення  $x_c.$

передати сусіду вказівку перейти в стан 2.

перейти в стан 3.

};

2.4. Перейти до п. 1.

Стан 3.



3.1. Рухатись вздовж контура проти годинникової стрілки.

3.2.  $x = x - \Delta x$ .

3.3. Якщо ( $x = x_c$ ), то перейти в стан 1.

3.4. Перейти до п. 3.1.

“Медіанний” алгоритм приводить до розв’язку задачі рівномірного розподілу агентів, але збігається він досить повільно. Це пов’язано з тим, що перерозподіл агентів у кожний момент часу проходить тільки в одній ділянці контура.

Далі наведено результати комп’ютерного моделювання “медіанного” алгоритму для колективу з 40 агентів, які повинні були розміститися на колі:

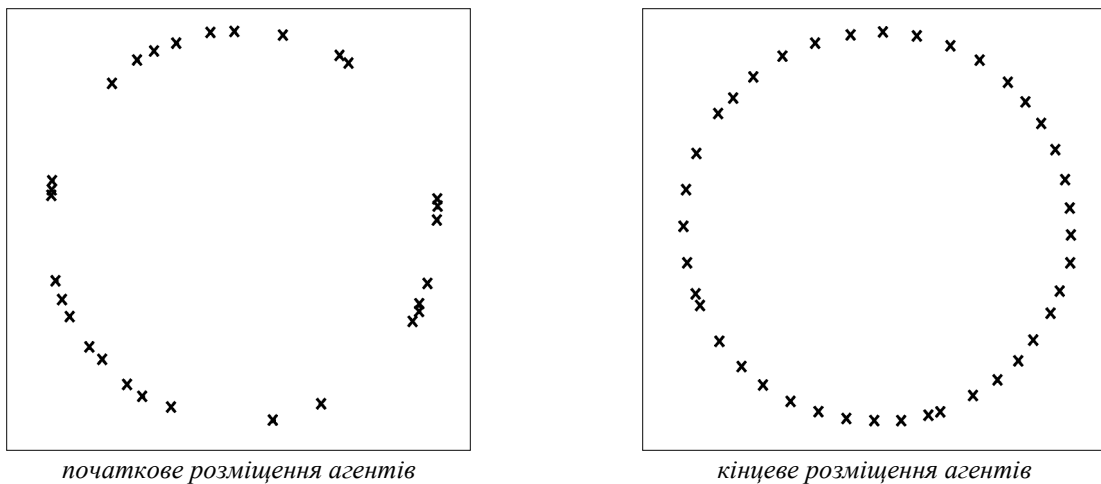


Рис. 11. Результати моделювання “медіанного” алгоритму

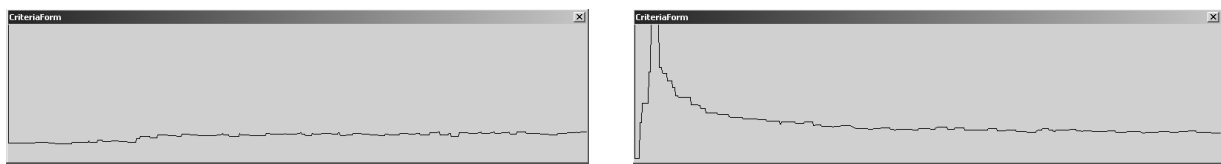


Рис. 12. Графіки функцій  $K_{\min}(t)$  та  $K_{\max}(t)$

З рисунків видно, що критерії оцінки рівномірності розподілу  $K_{\min}(t)$  і  $K_{\max}(t)$  збігаються. При збільшенні кількості агентів збіжність покращується.

Аналіз та комп’ютерне моделювання показали, що розглянуті алгоритми працюють на замкнутому контурі довільної форми, який може динамічно змінюватись.

**Висновки.** Підсумовуючи виконану роботу, зробимо такі висновки:

- розроблено “медіанний” алгоритм для рівномірного розподілу агентів вздовж контура і проведено моделювання;
- результати моделювання показують, що при використанні децентралізованого керування та локальної взаємодії між роботами принципово можливо розмістити їх вздовж замкнутого динамічного контура рівномірно;
- використання мультиагентних систем для слідкування за контурами має переваги – проста реалізація агентів, висока надійність системи, а в деяких випадках є єдино можливим способом прийнятного розв’язання задачі (наприклад, у випадку екологічних спостережень – слідкування за нафтовою плямою).

В цій статті залишено без уваги багато питань, що будуть розглянуті у подальших дослідженнях, зокрема:

- рух та розподілення вздовж незамкнутого контура та контура, який має розгалуження;
- оптимізація алгоритмів для збільшення швидкості збігання;

- адаптивний підбір параметрів локальної розгортки та алгоритму розподілу (можливо, за допомогою методів штучного інтелекту – нейронних мереж, систем з нечіткою логікою і т. д.);
- математичне доведення збіжності алгоритмів.

1. Грицуляк Т.О. Колектив автономних мобільних агентів, який самоорганізується за значеннями параметрів, що досліджуються. *Магістерська робота.* – 2003. 2. Поляков В.Г., Перверзев-Орлов В.С. *Электронные системы следящей развертки.* – М.: Энергия, 1968. – 192 с. 3. Варшавский В.И., Поспелов А.Д. *Оркестр играет без дирижера: размышления об эволюции некоторых технических систем и управлении ими.* – М.: Наука, 1984. – 207 с. 4. Cem Unsal. *Self-Organization In Large Populations Of Mobile Robots. Thesis submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Electrical Engineering,* 1993. 5. Xavier Defago, Akihiko Konagaya. *Circle Formation for Oblivious Anonymous Mobile Robots with No Common Sense of Orientation. Graduate School of Knowledge Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology (JAIST),* 2002. 6. Steven Y. Goldsmith and Rush Robinett, III. *Collective Search by Mobile Robots using Alpha-Beta Coordination. Sandia National Laboratories,* 1999. 7. Peter Stone, Manuela Veloso. *Multiagent Systems: A Survey from a Machine Learning Perspective. Computer Science Department, Carnegie Mellon University,* 1997. 8. Michael Wooldridge. *Introduction to MultiAgent Systems.* – John Wiley & Sons, 2002. – 256 с. 9. Gerhard Weiss. *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence.* – MIT Press, 2000. – 648 с. 10. Егоров Е.А. *Модели и реализация переговоров в мультиагентных системах. Магистерская диссертация. Санкт-петербургский государственный электротехнический университет ЛЭТИ,* 2001. 11. Джеймс Одделл. *Агенты и сложные системы // Открытые системы.* – 2002. – № 102.

УДК 681.3, 621.3

О.Ю. Бочкарьов, В.А. Голембо, Х.Р. Попадюк  
 Національний університет "Львівська політехніка",  
 кафедра електронних обчислювальних машин

## САМООРГАНІЗАЦІЯ КОЛЕКТИВУ МОБІЛЬНИХ АГЕНТІВ У ПРОСТОРИ: ФОРМУВАННЯ МНОГОКУТНИКА

© Бочкарьов О.Ю., Голембо В.А., Попадюк Х.Р., 2004

**Розглянуто актуальне питання формування правильних геометричних фігур колективом автономних робототехнічних агентів. Запропоновано розподілений алгоритм побудови заданого наказом многокутника за умов відсутності централізованого управління та необмеженого радіуса видимості засобів детектування сусідніх агентів.**

**Actual problem of forming regular patterns by collective of autonomous robotic agents is considered. Distributed algorithm of forming the specified by order polygon under the conditions of no centralized control and unlimited detection range of agents.**

**Вступ.** Тут розглядається одна з основних проблем розробки алгоритмічного забезпечення мобільних багатоагентних систем (колективів робототехнічних агентів). Елементом колективу є агент. Агентом будемо називати комп'ютерну систему, яка розміщується у деякому середовищі і здатна самостійно розв'язувати задачі, які ставить перед нею її розробник [1]. У цьому випадку агентом може бути комп'ютерна система керування мобільного робота (mobile robot), безпілотного літального апарата (unmanned flying vehicle) або автономного підводного апарата (autonomous underwater vehicle). Перед колективом таких робототехнічних агентів ставляться різні завдання,