

preserving iterative maxnet algorithm // *Neural Computation*. – 1992. – Vol. 4. – P. 224–233. 4. Wang J. Analogue Winner-take-all neural networks for determining maximum and minimum signals // *Int. J. Electronics*. – 1994. – Vol. 77. – №3. – P. 355–367. 5. Kaski S. and Kohonen T. Winner-take-all networks for physiological models of competitive learning // *Neural Networks*. – 1994. – Vol. 7. – № 6. – P. 973–984. 6. Hopfield J.J. Neurons with graded response have collective computational properties like those of two-state neurons // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 1984. – №81. – P. 3088–3092. 7. Lippmann R.P., Gold B. and Malpass M.L. A comparison of Hamming and Hopfield neural nets for pattern classification // *Technical Report TR-769, MIT Lincoln Laboratory, 1987*. 8. Kaszkurewicz E. and Bhaya A. *Matrix Diagonal Stability in Systems and Computation*. Birkhauser. – Boston, 2000. 9. Tymoshchuk P. and Kaszkurewicz E. A winner-take all circuit using neural networks as building blocks // *Neurocomputing*. – 2005. – Vol. 64. – P. 375–396. 10. Michel A.N., Farrell J.A. and Porod W. Qualitative analysis of neural networks // *IEEE Transactions on Circuits and Systems*. – 1989. – Vol. 36. – № 2. – P. 229–243. 11. Tymoshchuk P. and Kaszkurewicz E. A Winner-take-all circuit based on second order Hopfield neural networks as building blocks // *Proc. Int. Joint Conf. Neural Networks*. – 2003. – Vol. II. – Portland, OR., – P. 891–896. 12. Tymoshchuk P., Lobur M., Denysyuk P. and Lau G. Parametric synthesis of mathematical model of analog WTA neural network of second order by genetic algorithms // *Proc. Int. Conf. "Perspective technologies and methods in MEMS design"*. – Lviv-Polyana, Ukraine, May 25–28. – 2005. – P. 67–71. 13. Tymoshchuk P. and Lobur M. Optimization of WTA neural network by genetic algorithms // *Proc. Int. Workshop "East-West Design & Test"*, Odesa, Ukraine, Sept. 15–19. – 2005. – P. 156–159. 14. Yen J.-C. and Chang S. Improved Winner-take-all neural network // *Electronics Letters*. – 1992. – Vol. 28. – P. 662–664. 15. Fang Y. and Kincaid T.G. Global properties for a class of dynamical neural circuits // *J. Franklin Inst.* – 1998. – Vol. 335B. – № 1. – P. 163–17. 16. Tymoshchuk P. and Kaszkurewicz E. A Winner-take-all circuit using second order Hopfield neural networks as building blocks // *Technical Report TR-16, UFRJ NACAD Laboratory, 2002*. 17. Tymoshchuk P. and Kaszkurewicz E. Synthesis of continuous time second order Winner-take-all Hopfield neural networks using genetic algorithms // *Technical Report TR-17, UFRJ NACAD Laboratory, 2002*.

УДК 681.3, 621.3

А.О. Мельник, В.А. Голембо, О.Ю. Бочкарьов, О.П. Кусьпісь
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра електронних обчислювальних машин

ПРОБЛЕМА САМООРГАНІЗАЦІЇ БАГАТОАГЕНТНОЇ СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ТА ВІДСТЕЖЕННЯ ПОРУШНИКІВ

© Мельник А.О., Голембо В.А., Бочкарьов О.Ю., Кусьпісь О.П., 2005

Розглянуто передумови виникнення проблеми охорони деякої обмеженої території штучною системою охорони. Для вирішення цієї проблеми запропоновано концепцію охорони території на основі застосування багатоагентної системи виявлення та відстеження порушників, яка може знайти своє застосування як для цивільних, так і для військових потреб. Наведено постановку відповідної задачі виявлення та відстеження порушників колективом автономних агентів-вартових та обговорені підходи до її вирішення на основі принципів самоорганізації.

The pre-conditions of origin of problem of guarding some limited territory by artificial guarding system are considered. The concept of territory guarding based on multi-agent system technology is offered. The corresponding task statement of mobile intruders' detection and tracking by collective of guarding agents is proposed. The approaches to solve this task based on self-organization principles are discussed.

Вступ. Сьогодні проблема охорони території від вторгнення небажаних об'єктів (далі "порушників") стає все актуальнішою з огляду на розширення кордонів великих міждержавних

утворень (таких, наприклад, як Євросоюз) та глобальну загрозу тероризму. В доповіді наведена концепція охорони деякої обмеженої території, основана на використанні багатоагентної системи (БАС) [1,2]. У цій роботі під БАС ми розуміємо повністю децентралізований колектив однорідних автономних агентів-вартових, що здатний до самоорганізації для ефективнішого вирішення поставлених перед ним задач [3, 4, 5]. Використання децентралізованого управління (на противагу централізованому) у такому разі є принциповим у зв'язку з необхідністю забезпечити високу надійність роботи БАС із виявлення та відстеження порушників. Необхідність та доцільність такого підходу впливає з неможливості контролювати великі масиви територій за допомогою одних лише людей. На користь вибраного підходу вказують також важкі для вартового-людини кліматичні умови роботи, його порівняно низькі продуктивність та надійність, необхідність оплачувати його працю, і, головне, ризик для життя людини, при виконанні нею охоронних функцій.

Концепція. Згідно з базовим сценарієм початково деяка кількість вартових агентів розміщується (в першому наближенні випадково) в межах деякої території, що підлягає охороні. Після цього за допомогою вбудованих засобів безпроводного зв'язку і відповідного алгоритмічного забезпечення вартові агенти самостійно утворюють єдину децентралізовану систему охорони. У цьому контексті під вартовим агентом ми розуміємо створену штучно автономну сутність, яка спроможна до самостійних цілеспрямованих дій, зокрема у складі колективу, в інтересах власника (користувача). Кожний вартовий агент споряджений сенсорною підсистемою, за допомогою якої він здійснює свою основну функцію – виявлення порушника та відстеження його переміщень в зоні відповідальності цього вартового агента. Іншою основною функцією вартових агентів є сповіщення свого власника (користувача) про факт виявлення порушника та інформування про його переміщення. Передбачають, що існує деякий центр охорони з людським обслуговуючим персоналом або інша автономна система, яка користується інформацією, що надходить від вартових агентів (наприклад, автономна система наведення вогню). Центр охорони може бути розміщений як в межах, так і поза межами території, що підлягає охороні. Стосовно порушників передбачається, що вони є рухомими, і їхня загальна кількість не обмежується одним. Як елемент ускладнення багатоагентної системи виявлення порушників можна розглядати задачу забезпечення можливості розрізнити серед виявлених об'єктів "своїх та чужих" на основі відомих принципів аутентифікації та відповідних апаратних рішень (наприклад, на основі технології RFID (Radio Frequency Identification)).

Основними питаннями щодо наведеного базового сценарію є вартість такої системи охорони, а також надійність та якість її роботи. Стосовно вартості треба відзначити, що основним моментом з цього погляду є вибір між мобільними (рухомими) та статичними (нерухомими) вартовими агентами. Можна зробити припущення, що колектив мобільних вартових агентів здатний якісніше розв'язати задачі виявлення та відстеження порушників, але орієнтовна вартість такої системи сьогодні залишається занадто високою. Використання мобільних вартових агентів також пов'язано із значно більшими витратами енергоресурсів (що в певних умовах може призвести до зменшення надійності роботи такої системи). На відміну від мобільних – статичні вартові агенти дають змогу розглядати різні способи зменшення їхніх розмірів та забезпечення ефективних способів енергозбереження (зокрема способи поновлення енергозапасів за рахунок взаємодії з довкіллям). Цікавим, на наш погляд, є також дослідження комбінованих колективів, які частково складаються з мобільних і статичних вартових агентів. У такому разі можна вести розмову про пошук оптимального кількісного співвідношення вартових агентів обох типів, з урахуванням деякої вибраної системи критеріїв оцінки.

Стосовно надійності та якості роботи системи охорони треба вказати на проблему нестачі інформації про кількість та тактику дій (переміщень) потенційних порушників. Специфіка ситуації полягає в тому, що порушник максимально зацікавлений в тому, щоб залишитись непоміченим для системи охорони (тут можна вказати на аналогічні міркування про взаємини гравців у межах математичної теорії ігор). Спираючись на це, можна припустити, що передбачити наперед всі можливі способи вторгнення та подолання порушником (або групою порушників) території, яка

охороняється, неможливо. Саме тому ми пропонуємо використати технологію багатоагентних систем, яка, крім усього іншого, містить методи автономного цілеспрямованого подолання нестачі інформації про об'єкт спостереження та управління (яким у такому разі є порушник). Отже, основним "предметом" (рушієм) самоорганізації колективу вартових агентів є тактика дій порушників та зміни в довкіллі, в якому відбувається виявлення та відстеження переміщень цих порушників (наприклад, тимчасове різке погіршення якості радіозв'язку між вартовими агентами). Іншими словами, передбачається, що колектив вартових агентів буде здатний на основі вивчення свого супротивника та середовища знаходити найефективніші за деякою системою критеріїв способи виявлення та відстежування порушників.

Постановка задачі. Нехай ми маємо N статичних вартових агентів $\{A_i(R_{s,i}, R_{c,i})\}$, $i=1, \dots, N$, де $R_{s,i}$ – радіус надійного виявлення порушника сенсорною підсистемою i -го агента, $R_{c,i}$ – радіус дії засобів безпроводного зв'язку i -го агента (прийм–передача). Нехай в перший момент часу ($t=0$) вартові агенти розміщені випадково у двовимірному обмеженому метричному просторі території E , що підлягає охороні, де кожен з них може займати лише один дискрет цього простору. Відповідно розглядається множина початкових координат вартових агентів $\{A_i(x_i, y_i)\}$, $i=1, \dots, N$, які у разі статичних вартових агентів залишаються незмінними. Нехай загальна кількість дискретів території, що підлягає охороні, дорівнює M і $M \gg N$. Нехай також територія, що підлягає охороні, обмежується многокутником P з кількістю вершин $L < N$ і множиною координат вершин многокутника $V_k(x_k, y_k)$, $k=1, \dots, L$.

Припустимо, що на територію E з-поза її меж відбувається вторгнення K порушників $\{I_j\}$ в моменти часу $t_{inv,j}$, $j=1, \dots, K$ (час вторгнення). Будемо вважати, що $K \ll N$. Відповідно початкові координати порушників $\{I_j\}$ належать сторонам многокутника P . Припустимо також, що в кожний наступний після вторгнення момент часу кожний порушник здійснює переміщення в E , змінюючи поточні координати $r_{j,t} = I_j(x_{j,t}, y_{j,t})$, $j=1, \dots, K$, $t > 0$, і через деякий час $t_{st,j}$ (час перебування) залишає E назавжди (тобто "останні" координати порушників так само належать сторонам многокутника P). Переміщення порушника в E описується деякою функцією $r_{j,t+1} = f(r_{j,t}, t)$.

Перед колективом вартових агентів ставлять мету виявити кожний факт вторгнення з затримкою не більше ніж ε_1 , тобто вимагається, щоб $t_{dt,j} - t_{inv,j} < \varepsilon_1$, для всіх $j=1, \dots, K$, де $t_{dt,j}$ – час виявлення факту вторгнення j -го порушника, і сповістити про кожний факт вторгнення із затримкою не більше за ε_2 , тобто вимагається, щоб $t_{nt,j} - t_{dt,j} < \varepsilon_2$, для всіх $j=1, \dots, K$, де $t_{nt,j}$ – час сповіщення користувача про факт вторгнення j -го порушника. Крім цього, від колективу вартових агентів вимагають встановити траєкторію переміщення j -го порушника в E у вигляді функції $\phi(r_{j,t}, t)$ як відображення функції $f(r_{j,t}, t)$, мінімізувавши різницю між ними згідно з деяким заданим показником точності ε_3 .

Розв'язання задачі. Для розв'язання наведеної і подібних до неї за змістом задач вартові агенти мають бути здатні самостійно організовувати обмін службовою інформацією та утворювати канали передачі цільової інформації користувачу. З такого погляду, зважаючи на децентралізованість колективу вартових агентів, на перший план виступають однорангові (peer-to-peer) протоколи інформаційної взаємодії. У межах протоколів цього класу мають бути встановлені (досліджені) найефективніші принципи обміну інформацією між вартовими агентами та розроблено відповідне алгоритмічне забезпечення. Іншим проблемним питанням є організація доставки (ретрансляції) інформації про факти виявлених вторгнень та траєкторії порушників користувачу. Окремо підкреслимо також проблему децентралізованої синхронізації колективу вартових агентів (тобто синхронізації за відсутності так званого "зовнішнього годинника").

Критичним в плані надійності та тривалості роботи багатоагентної системи охорони є питання організації процесів енергоспоживання в колективі автономних вартових агентів. Можуть розглядатись різні варіанти постановки відповідних підзадач, зокрема збереження енергії при обміні інформацією, розробка розподілених алгоритмів розподілу енергоресурсу в часі, розробка алгоритмічного забезпечення процесів енергоспоживання окремого вартового агента тощо.

Центральною проблемою залишається власне розробка алгоритмів колективної поведінки вартових агентів, які були б здатні вивчати на основі накопиченого досвіду своє оточення (середовище) та тактику дій порушників (як своїх супротивників). Наступним кроком в роботі цих алгоритмів повинна бути цілеспрямована реорганізація (самоорганізація) для вдосконалення (підвищення якості) процесів виявлення та відстеження порушників на основі результатів самонавчання.

Проблема підвищення ефективності. З погляду підвищення ефективності БАС охорони розглянемо такі пропозиції.

1. Можна запропонувати комплектувати кожного агента сенсорами різної фізичної природи. Наприклад, сукупність сейсмічного, інфрачервоного, акустичного та інших сенсорів, дає можливість достовірніше розпізнавати порушника. Варто зауважити, що із збільшенням різноманітності фізичних типів сенсорів зростає імовірність розпізнавання.

2. Ще одна пропозиція полягає в тому, що підвищувати надійність БАС охорони території можна за рахунок використання надлишкової кількості агентів. Взагалі, питання оптимальної за низкою критеріїв кількості вартових агентів для заданої обмеженої території становить собою окремих предмет додаткових досліджень.

3. Можна запропонувати використовувати теорію аналізу сцен [6], із тією істотною відмінністю, що аналіз сцени виконує не один агент, а колектив агентів, що виконують колективне розпізнавання. Цікаво, що, мабуть вперше, проблема аналізу сцени колективом була розглянута в художній літературі, наприклад, у притчі персидського поета Джалаледдіна Румі [7], в якому декілька спостерігачів намагалися на дотик визначити в темряві невідомий об'єкт, в ролі якого виступав слон.

4. Для того, щоб забезпечити більшу ефективність розпізнавання порушника колективом агентів, пропонується використовувати простіші класифікаційні ознаки, типу: порушники-люди пересуваються на двох ногах, а об'єкти (наприклад, тварини), що пересуваються на чотирьох ногах, не ідентифікуються як порушники. Звертаємо увагу на те, що ця класифікаційна ознака, використана у відомому творі Джорджа Оруелла "Тваринний двір": "1. Кожний, хто ходить на двох ногах, – ворог; 2. Кожний, хто ходить на чотирьох ногах..., – друг" [8].

5. Можна запропонувати використовувати два режими роботи БАС охорони: з відсутністю та наявністю зв'язку з користувачем. Необхідність зв'язку з користувачем виникає у двох випадках: при виявленні порушника та при зменшенні кількості агентів нижче від припустимого значення, що визначають під час самоорганізації колективу, підраховуючи тих вартових агентів, які ще продовжують функціонувати.

3.2. Проблема управління енергоспоживанням. Як можливі способи вирішення проблеми управління енергоспоживанням в БАС охорони розглянемо таких пропозицій.

1. Для економії енергії у наведених випадках можна запропонувати використовувати режим "самопожертви" агента, за аналогією із самопожертвою бджоли, яка жалить (передбачається, що порушник здатний виявляти потужні джерела радіохвиль і знищувати їх, відповідно агент, який виходить на зв'язок, ризикує бути знищеним). У першому випадку такого агента вибирають жеребкуванням з підмножини тих агентів, що брали участь у виявленні порушника. В другому випадку такого агента вибирають з підмножини всіх агентів, що продовжують функціонувати. Агент, що переходить в режим "самопожертви", перемикається в режим віддаленого радіозв'язку з центром охорони. Всі інші агенти працюють в енергоощадному режимі з обмеженим радіусом зв'язку.

2. Значної економії можна досягти за рахунок використання в роботі вартового агента режиму резервного очікування (standby mode). У такому режимі відбувається тимчасове відімкнення у агента деякої обмеженої кількості енерговитратних сенсорів (наприклад, двох із трьох сенсорів: акустичного та сейсмічного, залишивши працювати інфрачервоний). Останній у разі появи нової інформації, на який зреагує сенсор, "будить" інші сенсори, що забезпечує об'єктивнішу оцінку ситуації, що склалася.

3. Економію енергії можна досягнути також розподілом усіх агентів на "пасіонарних" (тобто тих, що розташовані по периметру території, що охороняється) та "субпасіонарних" (тобто тих, що розташовані всередині цієї території). "Пасіонарні" агенти, які виступають першою лінією охорони, споживають більше енергії, на відміну від "субпасіонарних", які в цей час можуть перебувати в режимі резервного очікування.

Висновки. В роботі розглянуто передумови виникнення проблеми охорони деякої обмеженої території штучною системою охорони. Для вирішення цієї проблеми запропоновано концепцію охорони території на основі застосування БАС, яка може знайти застосування як для цивільних, так і для військових потреб. Наведено також постановку відповідної задачі виявлення та відстеження порушників та обговорені підходи до її розв'язання. Запропоновано також низку способів, які мають на меті збільшити загальну ефективність застосування запропонованої концепції та вирішити проблему управління енергоспоживанням в БАС охорони.

1. *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, by Gerhard Weiss (Editor), MIT Press, 2000. 2. *Michael Woolridge, An Introduction to MultiAgent Systems*, John Wiley & Sons, 2002. 3. *Melnyk A., Golembo V., Botchkariov A., Kuspis O. Multiagent system for intruders' detection and tracking: tasks and solutions // Konferencja "Aktualne Problemy w Elektrotechnice i Informatyce", Ameliówka, 17–18 czerwca, 2005, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach. – P. 109–114.* 4. *Бочкарьов О.Ю., Голембо В.А. Система розподілених контактних вимірювань на основі автономних мобільних інтелектуальних агентів // Вісник НУ "Львівська політехніка" "Комп'ютерні системи та мережі", 2001, № 437. – С.14–20.* 5. *Бочкарьов О.Ю., Голембо В.А., Мельник А.О. Нові принципи побудови вимірювально-обчислювальних мереж на основі інтелектуальних агентів // Вісник НУ "Львівська політехніка" "Комп'ютерні системи та мережі", 2003, № 492. – С.100–107.* 6. *Duda R., Hart P., Pattern recognition and scene analysis, New York, 1973.* 7. *Джалаледдин Руми (1207–1273), Притчи: "Спор о слоне", с. 235 // Лирики востока: Переводы / Составитель М.А. Курганцев. – М.: Правда, 1983.* 8. *Оруэлл Д. Проза отчаяния и надежды: Роман, сказка, эссе. – Л.: Лениздат, 1990.*

УДК 621.3

М.В. Черкаський, Хуссейн Халіл Мурад
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра електронних обчислювальних машин

АНАЛІЗ СКЛАДНОСТІ ПРИСТРОЇВ МНОЖЕННЯ

© Черкаський М.В., Мурад Хуссейн Халіл, 2005

Розглянуто три схеми пристроїв множення. Проаналізовано характеристики складності. Показано, що значення характеристик складності взаємозалежні. На основі аналізу сформульовані рекомендації з оптимального вибору структур перемножувачів.

Three is considered schemes of multiplicative devices. The analysis of characteristics of complexity is conducted. It is shown that the values of characteristics of complexity are interdependent. On the basis of analysis recommendations on the optimization of structures of multiplicative device are formulated.

Проблема аналізу складності операційних пристроїв. Проблема синтезу та аналізу архітектурних комп'ютерних побудов з метою їхньої оптимізації сьогодні залишається актуальною. Розв'язання її пов'язане з розробкою методів, які б допомогли мінімізувати втручання людини в комп'ютерне проектування. Для цього потрібні кількісні характеристики оцінки проектів. Але досі аналіз архітектурних комп'ютерних побудов здійснюють, здебільшого, за