

Г. Ф. Кривуля, В. В. Токарев, І. В. Ільїна, В. Є. Кравець

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

ВЗАЄМОДІЯ МІЖ «S-BOTS» ОДНІЄЇ «SWARM-BOT» SYSTEM У ФІЗИЧНОМУ НЕОРГАНІЗОВАНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Анотація. З появою принципово нових «Swarm-bot» systems, з перебудовуваною структурою та програмованою логікою, виникла необхідність урахування факторів, які взаємодіють з фізичним неорганізованим середовищем, збільшенням числа елементів, що входять до їх складу, а також, числом внутрішніх зв'язків. Особливістю нових «Swarm-bot» systems є те, що їх функції, параметри, структури та поведінка при впливі внутрішніх або зовнішніх факторів на різних часових інтервалах життєвого циклу можуть змінюватися або програмним, або апаратним способом. В даний час доведено, що вирішення складних завдань є більш ефективним тоді, коли застосовуються «Swarm-bot» systems в цілому, а не окремі елементи, що входять до їх складу, наприклад, окремі «s-bots», так як при застосуванні «Swarm-bot» systems значно збільшується радіус дії за рахунок розосередження «s-bots», що входять до складу цієї «Swarm-bot» system по всій заданій поверхні, що значно підвищує шанси покрити всю поверхню без зон пропуску (так званих сліпих зон), у яких Drones не зможуть здійснити комунікацію між собою. Ця стаття присвячена вирішенню задачі покриття заданої поверхні регулярними багатокунниками, вписаними в коло.

Ключові слова: «Swarm-bots» system, «s-bot», embedded systems, локальна взаємодія, комунікація, система обробки інформації, система формування команд.

Вступ

З появою нових архітектур різного призначення, стали з'являтися принципово нові «Swarm-bot» systems зі структурою, що перебудовується, і програмованою логікою. Це пов'язано з різноманітністю інформаційних потоків, проектуванням принципово нових інтелектуальних систем управління, що вбудовуються, в таких областях, як оборонна промисловість; зелена енергетика; робототехніка; біомедицина інженерія і т.д.

Ускладнення нових «Swarm-bot» систем викликано необхідністю обліку факторів, які взаємодіють з фізичним неорганізованим середовищем, збільшенням числа елементів, що входять до їх складу, а також, числом внутрішніх зв'язків. Особливістю нових «Swarm-bot» systems є те, що їх функції; параметри; структури; поведінка при впливі внутрішніх або зовнішніх факторів на різних часових інтервалах життєвого циклу можуть змінюватися, або програмним, або апаратним засобами.

На практиці може виникнути ситуація, за якої потрібні будь-які зміни в структурній динаміці різної природи або реконфігурація архітектурних рішень «Swarm-bot» system. У разі виникнення вище вказаних ситуацій, забезпечення наступних факторів, таких як надійність; живучість; катастрофостійкість «Swarm-bot» systems в цілому та їх елементів окремо, для виконання запрограмованих функцій на якомусь із етапів життєвого циклу є одним із актуальних стратегічних напрямків розвитку нових технічних систем [1].

Опис проблеми у загальному вигляді

В даний час науково обґрунтовано, що вирішення складних завдань є більш ефективним тоді, коли застосовуються «Swarm-bot» systems в цілому, а не окремі елементи, що входять до їх складу,

наприклад, окремі «s-bots». Тоді, при застосуванні «Swarm-bot» systems значно збільшується радіус дії за рахунок розосередження «s-bots», що входять до складу цієї «Swarm-bot» system, по всій поверхні. Це значно підвищує шанси досягти поставленої мети – покрити задану поверхню бездротовою мережею, для забезпечення ефективної комунікації [2]. Коли «s-bots» однієї «Swarm-bot» system спільно виконують якесь завдання, між ними виникає взаємодія. Методи вирішення задачі взаємодії показано на рис.1.

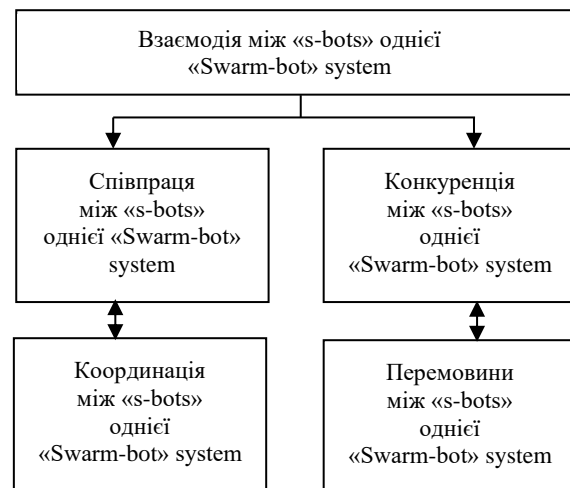


Рис. 1 - Схема вирішення завдань взаємодії

У процесі виконання завдання взаємодії, перший крок – це етап планування, тобто визначення, які задачі мають бути виконані, наприклад, коли виконується рятувальна операція, а саме:

- задача №1 дослідження зони пошуку;
- задача №2 виконання пошуку цілей;
- задача №3 діагностика виявлених цілей;
- задача №4 виконання евакуації цілей.

Другий крок - це розподіл за якимось алгоритмом підзавдань між «s-bots» однієї «Swarm-bot» system для досягнення спочатку поставленої задачі, а потім - глобальної мети.

При виконанні завдань виявлення цілей, евакуації в одній «Swarm-bot» system між «s-bots», щоб не виникла конкуренція, застосовуються спеціальні алгоритми розподілу підзадач між «s-bots» однієї «Swarm-bot» system з використанням переговорів на локальному рівні. Третій крок - це планування траєкторій руху «s-bots».

Аналіз останніх досліджень та публікацій

У наукових роботах Barcis A., Blender T., Dhanaraj N., показано, що один інтелектуальний мобільний «s-bot» не завжди може ефективно виконати завдання однієї «Swarm-bot» system, зокрема, через невеликий, як правило, радіус дії, обмежений енергетичний ресурс, обмежену кількість операцій, які він здатний виконувати, і, нарешті, невисоку ймовірність досягнення мети в екстремальних умовах, пов'язаних із можливістю виходу з ладу одного інтелектуального мобільного «s-bot» [3-5].

Колективом дослідників Barabash O., Serkov A., опубліковані результати, які показують, що при появі зовнішніх або внутрішніх деструктивних впливів на «Swarm-bot» systems найбільш ефективним рішенням для підвищення живучості є застосування одночасно групи інтелектуальних мобільних «s-bots», що входять в одну «Swarm-bot» system. Застосування такої складної системи дозволяє:

- збільшити радіус дії за рахунок розосередження інтелектуальних мобільних «s-bots» по всій робочій площині;
- розширити набір функцій, які можуть бути виконані;
- забезпечити більш високу ймовірність вирішення поставленого завдання, за рахунок підвищення функціональної стійкості «Swarm-bot» systems [6-9].

Провідними вченими Vagnato A, Arvin F., Nagarajan M. опубліковані роботи, в яких представлений матеріал, який показує, що при використанні інтелектуальних мобільних «s-bots», оснащених автономною системою пересування та навігації та здатних до виконання певних функцій, виникають складні завдання, пов'язані насамперед із проблемою управління такими засобами та організацією колективної їх взаємодії для найбільш ефективного досягнення поставленого завдання [10- 14].

Постановка завдання дослідження

Проблемі взаємодії між «s-bots» однієї «Swarm-bot» system приділяється багато часу, тому що це одне з найбільш важливих завдань, рішення якого необхідне для досягнення глобальної мети, а саме - для успішного функціонування "Swarm-bot" system в режимі реального часу і яка повинна забезпечувати:

- обмін даними між «s-bots» «Swarm-bot» system;
- локальні перемовини між «s-bots» однієї «Swarm-bot» system;
- виконання перерозподілу підзадач між «s-bots» однієї «Swarm-bot» system.

На рис. 2 показано існуючі методи взаємодії. В даний час ці методи використовуються для створення високоефективних платформ комунікації між «s-bots» однієї «Swarm-bot» system. Для створення високоефективних платформ комунікації між «s-bots» однієї «Swarm-bot» system необхідно вирішити вузькоспеціалізоване завдання розрахунку покриття заданої поверхні бездротовою мережею, для забезпечення ефективної комунікації. Комунікація виконується із застосуванням Drones, які виступають у ролі "s-bots" однієї "Swarm-bot" system. Завдання полягає в тому, щоб розподілити Drones однієї Swarm-bot system так, щоб вони покрили всю задану поверхню. Принцип покриття заданої поверхні полягає в наступному. У статичному стані Drones однієї «Swarm-bot» system повинні покривати всю задану поверхню без зон пропуску (так званих сліпих зон), в яких Drones не зможуть здійснити комунікацію між собою. Області з великою зоною перекриття (повтореннями) мають бути мінімізовані з метою економії ресурсів Drones. Загальні області покриття Drones повинні відповідати певним обмеженням для забезпечення можливості передачі необхідних даних.

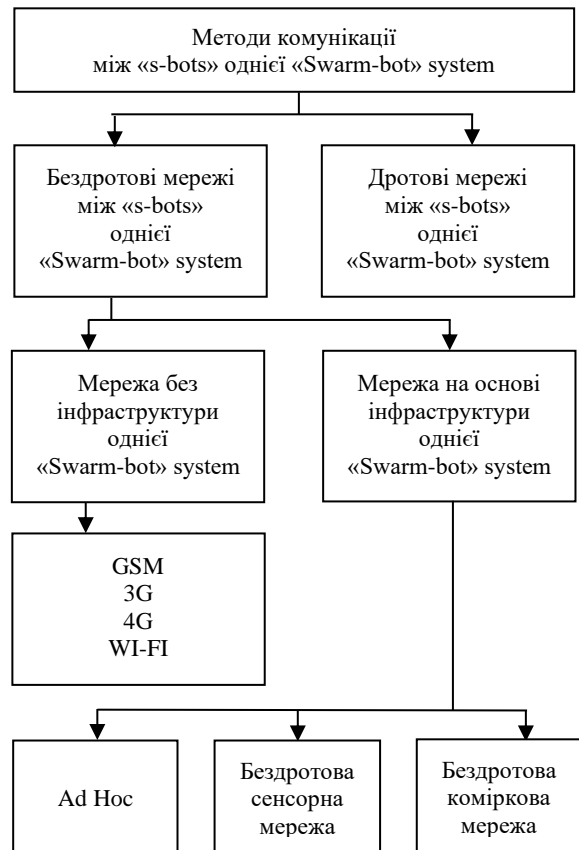


Рис. 2 - Існуючі методи взаємодії.

Пропонований алгоритм вирішення поставленого завдання

Щоб Drones однієї «Swarm-bot» system змогли виконати ефективну комунікацію між собою у фізичному неорганізованому середовищі за умови, що буде задіяно мінімальна кількість Drones однієї «Swarm-bot» system, пропонується виконати поділ заданої поверхні на багатокутники (або багатогран-

ники у тривимірному випадку), тобто здійснити покриття заданої поверхні регулярними багатокутниками, вписаними у кола. Введемо позначення. Нехай k - це вершини багатокутників, за допомогою яких буде виконано покриття заданої поверхні. Припустимо, що якась кількість d цих багатокутників мають загальну вершину. Тоді:

$$d \frac{(k-2) \cdot \pi}{k} = 2\pi, \quad (1)$$

де d та k - позитивні цілі числа, $d > 2$, та $k > 2$. Тоді, отримаємо рівняння, обмежене нерівностями:

$$d > 2; k > 2; d \frac{(k-2) \cdot \pi}{k} = 2\pi. \quad (2)$$

Розв'язавши рівняння за формулою (2) отримаємо:

$$\begin{cases} d=6, k=3; \\ d=4, k=4; \\ d=3, k=6. \end{cases}$$

Це означає, що існують три варіанти покриття заданої площини одними і тими ж багатокутниками. Якщо покрити площину колами одного радіусу з вписаними багатокутниками, що мають k вершин тоді відношення T загальної площі двох суміжних кіл до площі одного кола дорівнює:

$$T = 2 \frac{\frac{1}{2} \left(\frac{2\pi}{k} \right) r^2 - \frac{1}{2} \sin \left(\frac{2\pi}{k} \right) r^2}{\pi r^2}, \quad (3)$$

Підставивши отримані значення $k=3,4,6$ при розв'язанні рівняння за формулою (2) отримаємо:

$$\begin{cases} k=6, T=5.68\% \\ k=4, T=19.17\% \\ k=3, T=38.8\% \end{cases}$$

На рис. 3 показано кола з різними вписаними у них фігурами, тобто різними вписаними багатокутниками, для виконання процедури покриття заданої поверхні. Як видно з проведених розрахунків, для того, щоб мінімальна кількість Drones однієї «Swarm-bot» system покрили всю задану поверхню у фізичному неорганізованому середовищі без зон пропуску (так званих сліпих зон), для зменшення повторень оптимальний варіант представлений на рис. 3, в (коло з вписаним багатокутником, коли $k = 6$ та $T = 5.68\%$).

Проведемо імітаційне моделювання у середовищі Matlab 7. Наприклад, нехай існує якась кількість R_{Drones} однієї «Swarm-bot» system, у яких радіус покриття складає $r = 100$ і покривають задану прямокутну поверхню $M \times N$, де $M = 2000$, $N = 1000$. Необхідно знайти мінімальну кількість R_{Drones_min} однієї «Swarm-bot» system, щоб вони покрили всю задану прямокутну поверхню за допомогою фігури, представленої на рис. 3, в.

Будемо використовувати декартову систему координат OXY . Тоді кількість $R_{X-Drones}$ вздовж осі

абсцис OX можна обчислити за формулою:

$$1.5r \cdot (R_{X-Drones} - 1) + r = 2000, \quad (4)$$

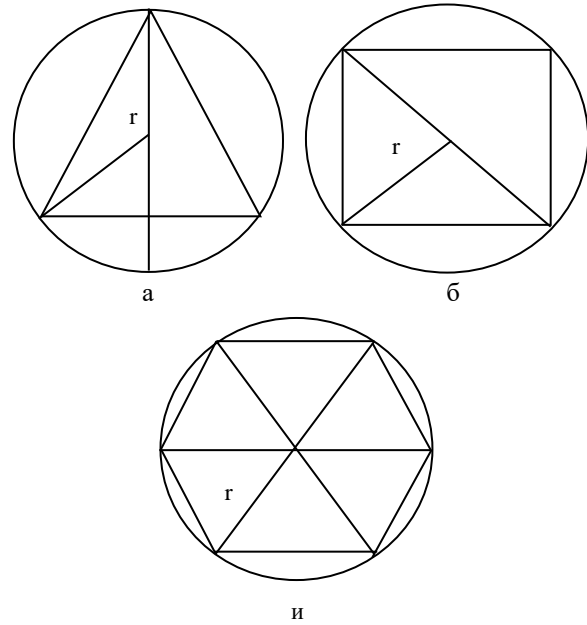


Рис. 3 - Коло з вписаним багатокутником, коли: $k = 3$ (а), $k = 4$ (б), $k = 6$ (в),

Розв'язавши рівняння за формулою (4), отримаємо $R_{X-Drones} = 13.67$. Кількість $R_{Y-Drones}$ вздовж осі ординат OY можна обчислити за формулою:

$$\sqrt{3}r \cdot (R_{Y-Drones} - 1) = 1000, \quad (5)$$

Розв'язавши рівняння за формулою (5), отримаємо $R_{Y-Drones} = 5.774$. Округливши значення, отримаємо:

$$R_{X-Drones} = 14; R_{Y-Drones} = 6.$$

Виконавши обчислення, отримуємо, що ще сім ділянок заданої прямокутної поверхні залишилися у сліпій зоні. Тоді мінімальна необхідна кількість R_{Drones} «Swarm-bot» system можна обчислити як

$$R_{Drones} = R_{X-Drones} \cdot R_{Y-Drones} + 7, \quad (6)$$

Виконавши обчислення, отримуємо:

$$R_{Drones_min} = 91.$$

Координати центрів кола, представленого на рис. 3, в, можна обчислити за формулою:

$$x_i = \frac{r}{2} + 1.5r \cdot (i-1); \quad y_j = \sqrt{3}r \cdot (j-1), \quad (7)$$

де $i=1,2,3,\dots,14$; $j=1,2,3,\dots,7$.

Висновки

Для створення високоєфективних платформ комунікації між «s-bots» однієї «Swarm-bot» system у статті вирішується вузькоспеціалізоване завдання розрахунку покриття заданої поверхні бездротовою мережею, для забезпечення ефективної комунікації. Комунікація виконується із застосуванням Drones, які виступають у ролі «s-bots» однієї «Swarm-bot» system.

Завдання полягає в тому, щоб розподілити Drones однієї «Swarm-bot» system так, щоб вони покрили всю задану поверхню. У роботі пропонується здійснити покриття заданої поверхні регулярними багатокутниками, вписаними в кола. Були проведені математичні розрахунки, які показали, що для того, щоб мінімальна кількість Drones однієї Swarm-bot system покрили всю задану поверхню у фізичному неорганізованому середовищі без зон пропуску (так званих сліпих зон), для зменшення повторень оптимальним варіантом є коло з вписаним до нього шестикутником.

Виходячи з цього, можна зробити висновок, що застосування такої геометричної фігури дозволить повністю покрити задану поверхню без зон пропуску. Було проведено імітаційне моделювання в середовищі Matlab 7. Отримані результати показали, що для того, щоб здійснити ефективну взаємодію між «s-bots» однієї «Swarm-bot» system необхідно $R_{Drones_min} = 91$. Передбачається продовжити дослідження у цьому напрямі, оскільки на сьогоднішній день воно є одним із актуальних.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. G. Krivoulya, V. Tokariiev, I. Ilina, O. Lebediev, V. Shcherbak. Algorithm of Iterations of Distribution of Subtasks Between «S-Bot» in One «Swarm-Bot» System // Proceedings of the 6th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems: (COLINS 2022). CEUR Workshop Proc., 12-13 may. 2022. - Gliwice, Poland, 2022. - P. 1531-1541
2. G. Krivoulya, I. Ilina, V. Tokariiev, V. Shcherbak. Mathematical Model for Finding Probability of Detecting Victims of Man-Made Disasters Using Distributed Computer System with Reconfigurable Structure and Programmable Logic // IEEE Int. S.-P. Conf. Problems of Infocommunications, Science and Technology: (PIC S&T), 06-09 oct. 2020y. - Kharkiv, 2020. - P.573 - 576.
3. Barcis A., Barcis M., and Bettstetter C. Robots that sync and swarm: a proof of concept in ROS 2 // in Proceedings of the International Symposium on Multi-Robot and Multi-Agent Systems (New Brunswick, NJ: IEEE), 2019. P.98–104.
4. Blender T., Buchner T., Fernandez B., Pichlmaier B., and Schlegel C. Managing a mobile agricultural robot swarm for a seeding task // IEEE Industrial Electronics Society (Florence), 2019. P.6879–6886. Doi: 10.1109/IECON.2016.7793638.
5. Dhanaraj N., Hewitt N., Edmonds-Estes C., Jarman R., Seo J., Gunner H., et al. Adaptable platform for interactive swarm robotics (apis): a human-swarm interaction research testbed // in Proceedings of the 19th International Conference on Advanced Robotics (Belo Horizonte), 2019. P.720–726. Doi: 10.1109/ICAR46387.2019.8981628.
6. Serkov A., Kravets V., Yakovenko I., Churyumov G., Tokariiev V., Nannan W. Ultra Wideband Signals in Control Systems of Unmanned Aerial Vehicles // The 10th IEEE International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies: (DESSERT'2019), 5-7 june, 2019 y. - Leeds, 2019. - P.26 - 29.
7. Serkov A., Pustovoitov P., Yakovenko I., Lazurenko B., Churyumov G., Tokariiev V., Nannan. W. Ultra wideband technologies in mobile object management systems / Сучасні інформаційні системи. - 2019. - Т.3, №2. - С.22-27.
8. Serkov A., Breslavets V., Tolkachov M., Kravets V. Method of coding information distributed by wireless communication lines under conditions of interference // Advanced Information Systems. - 2018. – Vol.2, No.2. pp. 145-148, available at: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.25>.
9. Серков О.А., Князев В.В., Лазуренко Б.О., Яковенко І.В., Чурюмов Г.І., Токарев В.В. Надширокосмугові технології в задачах забезпечення електромагнітної сумісності рухомих об'єктів // Проблеми електромагнітної сумісності перспективних бездротових мереж зв'язку (EMC-2019), 24 жовт. 2019 р. - Харків, 2019. - С. 55-57.
10. Bagnato A., Biro R. K., Bonino D., Pastrone C., Elmenreich W., Reiners R., et al. Designing swarms of cyber-physical systems: the H2020 CP Swarm project: invited paper // in Proceedings of the Computing Frontiers Conference (New York, NY: Association for Computing Machinery), 2017. P.305–312. Doi: 10.1145/3075564.3077628.
11. Arvin F., Watson S., Turgut A. E., Espinosa J., Krajník T., and Lennox B. Perpetual robot swarm: long-term autonomy of mobile robots using on-the-fly inductive charging. J. Intell. Robot. Syst. 2017. Vol.92. P.1–18. Doi: 10.1007/s10846-017-0673-8.
12. Arvin F., Espinosa J., Bird B., West A., Watson S., and Lennox. An affordable open-source mobile robot for education and research // J. Intell. Robot. Syst. 2019. Vol.94 P.761–775. Doi: 10.1007/s10846-018-0866-9.
13. Albani D., Manoni T., Arik A., Nardi D., and Trianni V. Field coverage for weed mapping: toward experiments with a UAV swarm // in Proceedings of the 11th EAI International Conference on Bio-inspired Information and Communications Technologies (Cham). 2019. P.1–16. Doi: 10.1007/978-3-030-24202-2_10.
14. Narayan M. H., and Tuci E. Cooperative object transport with a swarm of e-puck robots. Robustness and scalability of evolved collective strategies // Swarm Intell. 2017. Vol. 11. P.185–209. Doi: 10.1007/s11721-017-0135-8.

Received (Надійшла) 23.12.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 22.02.2023

Interaction between «s-bots» one «Swarm-bot» system in a physical unorganized environment

G. Krivoulya, V. Tokariiev, I. Ilina, V. Kravets

Abstract. With the advent fundamentally new «Swarm-bot» systems, with a tunable structure and programmable logic, it became necessary to take into account the factors that interact with physical unorganized environment, an increase in the number of their constituent elements, as well as the number of internal bonds. A feature of the new «Swarm-bot» systems is that their functions, parameters, structures and behavior under the influence of internal or external factors at different time intervals of the life cycle can change, either in software or in hardware. It has now been proven that solving complex problems is more effective when «Swarm-bot» systems are used as a whole, and not individual elements that make up them, for example, individual «s-bots», since when using «Swarm-bot» systems significantly increases the range due to the dispersion of «s-bots» that are part of this «Swarm-bot» system over the entire given surface, which significantly increases the chances cover all surface without pass zones (the so-called blind zones), in which Drones unable to communicate with each other. This article is about solving the problem of covering a given surfaces regular polygons inscribed in circles.

Keywords: «Swarm-bot» system, «s-bots», embedded systems, local interaction, communication, information processing system, command formation system