

В. М. Безрук, В. О. Власова, Ю. В. Скорик,  
Ю. М. Колтун, А. І. Костромицький  
Харківський національний університет радіоелектроніки

## ВИБІР АЛГОРИТМУ САМООРГАНІЗАЦІЇ БЕЗДРОТОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ МЕТОДОМ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ

© Безрук В. М., Власова В. О., Скорик Ю. В., Колтун Ю. М., Костромицький А. І., 2016

Проведено оцінювання різних алгоритмів самоорганізації бездротових сенсорних мереж (БСМ). Досліджено особливості вибору переважного алгоритму самоорганізації сенсорної мережі методом аналізу ієрархій. За результатами порівняльного аналізу алгоритмів на основі суджень експертів методом аналізу ієрархій вибрано енергоефективний алгоритм самоорганізації БСМ. Цей алгоритм застосовує схему оплати, використовуючи потужність передавання як медіатор, досягаючи тим самим високої продуктивності.

**Ключові слова:** сенсорна мережа, самоорганізація, критерій вибору, енергоефективність, метод аналізу ієрархій, експерт.

V. Bezruk, V. Vlasova, U. Skorik, U. Koltun, A. Kostromitsky  
Kharkiv National University of Radio Electronics

## SELECT ALGORITHM OF SELF-ORGANIZING WIRELESS SENSOR NETWORK BY THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS

© Bezruk V., Vlasova V., Skorik U., Koltun U., Kostromitsky A., 2016

In wireless sensor networks (WSN) is important task of self-organization networks. There are many different algorithms for self-organization of such networks. This choice determines the relevance of pre-emptive self-algorithm network with the additional information obtained from experts. In the article features practical application of the analytic hierarchy process to select a preferred algorithm for self-organization in wireless sensor networks.

A comparative analysis of the characteristics of existing algorithms in sensor networks self. The maximum value vector components priorities selected preferred algorithm WSN self – Payment scheme algorithm. This self-algorithm, which uses payment scheme using transmission power as mediator, thus achieving a global high performance.

Thus, as a result of the research shows that the option to select a preferred self-organization WSN algorithm can be used the analytic hierarchy that gives the opportunity to build a formalized procedure for the use and handling of judgments of experts to form the equivalent of a criterion benefits.

**Key words:** sensor network, self-organization, selection criteria, energy efficiency, the analytic hierarchy process, expert.

### Вступ

Бездротові сенсорні мережі (БСМ) вже зайняли нішу автоматизації технічних засобів (як домашніх, так і промислових) з використанням глобальної мережі моніторингу і контролю. При цьому актуалізується питання про конфігурування великої кількості вузлів таких мереж – мотив. Налаштування комунікації у таких мережах є складним завданням. Датчики найчастіше мають

обмеження за локалізацією, а топологія мережі заздалегідь не відома. При цьому топологія може динамічно змінюватися з плином часу за рахунок руху вузлів або приєднання нових. Тому однією з вимог до сенсорних мереж є самоорганізація, яка є частиною ініціалізації мережі [1]. Під нею розуміють самоорганізований перехід від неструктурованих до структурованих бездротових multi-hop мереж з ефективним рівнем доступу до середовища. Це передбачає децентралізоване налаштування мережі та датчиків з використанням тільки локальної інформації. Для ефективної самоорганізації розроблені й продовжують розроблятися різні алгоритми. Більшість з них націлені на зменшення часу ініціалізації, на скорочення службового трафіку, на побудову оптимальної структури мережі тощо [2]. У зв'язку з цим актуальним завданням є вибір серед них переважного алгоритму самоорганізації для конкретних умов функціонування мережі з урахуванням додаткової інформації, одержуваної від експертів. Для вибору переважного варіанта алгоритму самоорганізації БСС використаний метод аналізу ієрархій (МАІ) [3].

### Аналіз літературних даних і формулювання проблеми

Алгоритми самоорганізації розвиваються шляхом забезпечення основних вимог БСМ. По-перше, це вимога масштабованості, яка означає, що мережа може складатися з десятків, навіть сотень тисяч вузлів, які з плином часу можуть виходити з ладу або, навпаки, приєднуються до мережі через додавання нових вузлів – мотів. Алгоритми самоорганізації повинні бути реактивними і підтримувати таку реструктуризацію. По-друге, алгоритми самоорганізації повинні бути розподіленими і децентралізованими, щоб виключити їх непрацездатність через відмову одного (або групи) вузлів. По-третє, як і в будь-якому іншому аспекті, має виконуватися вимога щодо енергоефективності, тому що енергія – найважливіший ресурс мережі з автономним живленням. Також, незважаючи на розвиток високошвидкісного бездротового доступу, пропускну здатність у середовищі передавання, що спільно використовується, продовжує залишатися вкрай обмеженим ресурсом.

Найефективнішими, з погляду структуризації, є алгоритми, основані на об'єднанні вузлів у кластери, які розглянуто в роботах [4–7]. Суть таких алгоритмів полягає у функціональній різномірності вузлів, тобто мережа за певними правилами поділяється на області, які називають кластерами (рис. 1).

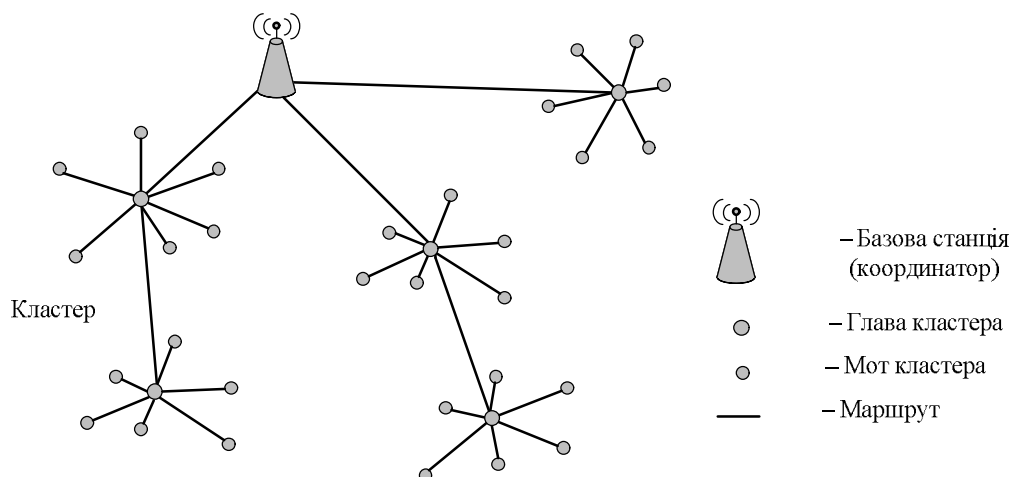


Рис. 1. Кластерна організація БСМ

Іншим видом алгоритмів самоорганізації є алгоритми побудови ланцюжків зв'язків, що описані в роботі [8]. Ключовою ідеєю таких алгоритмів є побудова ланцюжка маршрутів від вузла до вузла так, що кожен вузол обмінюється інформацією тільки з найближчим сусіднім мотом (рис. 2).

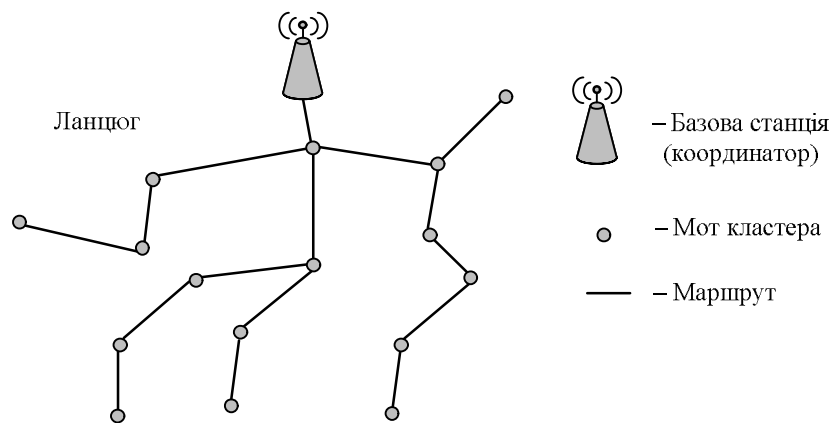


Рис. 2. Побудова ланцюжка зв'язків

До інших видів належать алгоритми створення деревоподібної та чарункової структури [9], також такі, що використовують дані про місцезнаходження, основані на гетерогенності вузлів, як в алгоритмі, представленою в роботі [10].

У цій статті з розглянутих алгоритмів самоорганізації вибрано для досліджень дев'ять алгоритмів, найпридатніших для використання в одноранговій гомогенній бездротовій сенсорній мережі з локалізацією вузлів. За результатами порівняльних досліджень методів вибору єдиного переважного проектного варіанта в роботі [11] визначено, що метод аналізу ієрархій ефективніший для вибору переважного варіанта алгоритму стосовно середньоквадратичної помилки прийняття рішень за інформацією, одержуваною від групи експертів інформації.

Як показує аналіз відомих робіт, задача порівняльних досліджень алгоритмів самоорганізації БСМ і подальшого вибору переважного алгоритму самоорганізації не розглядалася і є актуальною для проектування бездротових сенсорних мереж.

### Мета і завдання дослідження

Метою дослідження був вибір переважного алгоритму самоорганізації бездротових сенсорних мереж.

Завдання дослідження:

- огляд і порівняльний аналіз параметрів сучасних алгоритмів самоорганізації БСМ;
- вибір переважного алгоритму самоорганізації для тимчасової гомогенної БСМ на основі проаналізованих параметрів і суб'єктивних оцінок експертів з використанням методу аналізу ієрархій.

### Аналіз алгоритмів самоорганізації та методів вибору переважного варіанта серед них

Сенсорна мережа повинна бути здатна до самоорганізації на нижньому рівні, тобто вузли мають бути здатні об'єднуватися у структуровану multi-hop мережу без втручання людини і в короткі терміни.

Розвитком алгоритмів просторової кластеризації для самоорганізації однорангової сенсорної мережі є алгоритм Optics based [4]. Цей алгоритм самостійно організовує сенсорні вузли, формуючи кластер. Кластери формуються за допомогою процедури замовлення, яка схожа з процедурою в раніше відомому алгоритмі Optics.

Існують алгоритми кластеризації обмеженого розміру, основані на розширенні кільця пошуку. Алгоритм Expanding Ring [5] характеризується переходами між раундами, починаючи з максимальної межі хопу, що дорівнює одиниці.

В алгоритмі Rapid [5] ініціатору присвоюється бюджет  $B$ , частину якого він залишає собі, а решту розподіляє серед своїх сусідів, відправивши повідомлення кожному з них. Після того, як

бюджет вичерпано, батьківський вузол отримує інформацію про всі свої дочірні вузли і алгоритм завершується. Підтвердження можуть бути використані для отримання розміру і глибини дерева і максимальної кількості хопів. Алгоритм Persistent [5] є поліпшенням алгоритму Rapid і покращує поведінку в разі обмежень розміру кластера мережі.

Алгоритм Payment scheme [8] використовує схему оплати, використовуючи потужність передавання як медіатор, що потребує знання місця розташування вузлів. Кожен датчик на основі LQI (Link Quality Indicator) може розрахувати мінімально необхідну потужність для надійного передавання даних іншим мотам чи координатору. Існує потенціал для зниження цієї потужності передавання (а, отже, і збільшення часу життя вузла) за рахунок знаходження ретранслятора, який розміщений між цим мотом і одержувачем інформації.

Алгоритм Bio-Inspired Mechanisms based [9] – міждисциплінарний алгоритм з негативним зворотним зв'язком, оснований на перенесенні механізмів клітинної біології на мережеву взаємодію між вузлами сенсорної мережі з акцентом на самоорганізацію з можливістю роботи з ненадійними каналами зв'язку. Цей алгоритм дає змогу розв'язати задачу інформування мотів мережі про доступні ресурси і маршрутизації для передавання керуючих повідомлень.

Алгоритм SIDA (Self-Organized ID Assignment) [6] дає змогу оптимізувати обмін даними між датчиками і координатором за самоорганізації, використовуючи ідентифікацію (ID) змінної довжини. Основна ідея полягає в побудові бінарного дерева, що накладається.

Технологія надширококутового передавання (НШС) має певні переваги для використання за самоорганізації в сенсорних мережах, таких як простота і низька потужність передавання (енергоефективність). Використання UWB-TR [7] дає змогу знизити вимоги до жорсткої синхронізації та до якості бездротового каналу.

Алгоритм BOOTUP [10] дає змогу зберігати енергію за рахунок зменшення кількості повідомлень, необхідних для побудови мережі. Це досягається об'єднанням фази виявлення зв'язків з фазою приєднання зв'язку та усуненням необхідності в загальномережевій синхронізації.

### **Застосування методу аналізу ієрархії для вибору переважного алгоритму самоорганізації бездротової сенсорної мережі**

Суть методу аналізу ієрархій полягає у визначенні вектора глобальних пріоритетів, за максимальним значенням компонент якого визначається відповідний переважний алгоритм самоорганізації БСМ. Вектор глобальних пріоритетів визначається через головний власний вектор, що відповідає максимальному власному числу, яке обчислюється для матриці парних порівнянь

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} \mathbf{K} a_{1j} \dots a_{1n} \\ a_{21} \mathbf{K} a_{2j} \dots a_{2n} \\ \mathbf{K} \mathbf{K} a_{ij} \mathbf{K} \mathbf{K} \\ a_{n1} \mathbf{K} a_{nj} \mathbf{K} a_{nn} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

де  $a_{ij}$  – оцінки парних порівнянь алгоритмів самоорганізації, які дають експерти;  $n$  – кількість порівнюваних алгоритмів.

У результаті оброблення отриманої матриці (1) отримують компоненти власного вектора  $V_j$  і вектора глобальних пріоритетів  $P_j$

$$P_j = \frac{V_j}{S}, \quad V_j = n \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n a_{ij}}, \quad j = \overline{1, n}, \quad S = \sum_{j=1}^n V_j. \quad (2)$$

Після знаходження головного власного значення матриці парних порівнянь визначають оцінку узгодженості думок експертів  $OC$  [3]. Якщо  $OC \leq 0,15$ , то ступінь узгодженості суджень експертів вважається прийнятним. В іншому випадку експертам рекомендується переглянути свої судження.

### Результати вибору переважного алгоритму самоорганізації БСМ методом аналізу ієрархії

Формалізована процедура вибору переважно алгоритму самоорганізації БСМ на основі методу аналізу ієрархії була реалізована програмно в середовищі EXEL.

Для вибору переважного алгоритму самоорганізації БСМ використовувалися дані дев'яти алгоритмів самоорганізації: № 1 – Optics based algorithm; № 2 – Persistent algorithm; № 3 – Payment scheme algorithm; № 4 – Rapid algorithm; № 5 – Bio-inspired Mechanisms based algorithm; № 6 – SIDA algorithm; № 7 – UWB technology based algorithm; № 8 – Expanding ring algorithm; № 9 – BOOTUP algorithm.

У таблиці подано матрицю парних порівнянь алгоритмів самоорганізації БСМ згідно з (1), отриману на підставі суджень 26 експертів, а також наведено результати обробки цієї матриці, зокрема, результати обчислення компонент власного вектора  $V_j$  і вектора пріоритетів  $P_j$  згідно з (2) і (3). Отримана також оцінка узгодженості  $OC = 0,046$ , що в межах норми.

#### Вибір кращого алгоритму самоорганізації БСМ методом аналізу ієрархії

Експерт № 1–26	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8	№ 9	$V_j$	$P_j$
№ 1	1	0,16	0,14	0,19	0,32	1,75	2,57	0,24	0,47	0,45	0,03
№ 2	6,23	1	0,45	2,28	4,24	7,15	8,23	3,33	5,09	3,11	0,23
№ 3	7,15	2,23	1	3,14	5,63	8,23	9,13	4,32	6,13	4,35	0,32
№ 4	5,15	0,44	0,32	1	3,73	6,85	7,14	2,28	4,13	2,20	0,16
№ 5	3,13	0,24	0,18	0,27	1	4,12	5,38	0,42	2,14	0,96	0,07
№ 6	0,57	0,14	0,12	0,15	0,24	1	2,13	0,19	0,27	0,32	0,02
№ 7	0,39	0,12	0,11	0,14	0,19	0,47	1	0,16	0,24	0,24	0,02
№ 8	4,23	0,3	0,23	0,44	2,37	5,24	6,34	1	3,34	1,48	0,11
№ 9	2,15	0,19	0,16	0,24	0,47	3,67	4,12	0,29	1	0,69	0,04

OC=4,6%

Аналіз компонент вектора пріоритетів  $P_j$  (останній рядок таблиці показує, що кращим алгоритмом самоорганізації БСМ є алгоритм № 3 – Payment scheme algorithm, якому відповідає максимальна компонента вектора пріоритетів, що застосовує схему оплати, використовуючи потужність передавання як медіатор, і вимагає знання місця розташування вузлів.

#### Висновки

У результаті досліджень:

1. Проведено порівняльний аналіз характеристик дев'яти сучасних алгоритмів самоорганізації бездротової сенсорної мережі.
2. На основі цих даних отримано суб'єктивні оцінки експертів у вигляді парних порівнянь алгоритмів самоорганізації БСМ.
3. Згідно з методом аналізу ієрархії обчислено вектор пріоритетів, за максимальним значенням компонент якого вибрано кращий алгоритм самоорганізації БСМ.

1. Зеленин А. Н., Власова В. А. Фаза ініціалізації в безпроводних сенсорних сетях // Вісник Національного технічного університету "ХПІ": зб. наук. праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. 2012. № 26. С. 55–61. 2. Bein D. Self-Organizing and Self-Healing Schemes in Wireless Sensor Networks [Text]. London, England: Springer London, 2009. P. 293–304. DOI: 10.1007/978-1-84882-218-4\_11. 3. The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw Hill, 1980. 270 c. 4. Kalita H. K., Kar A. A New Algorithm of Self Organization in Wireless Sensor Network // Wireless Sensor Network. 2010. № 2. P. 43–47. DOI: 10.4236/wsn.2010.21006. 5. Krishnana R., Starobinski D.

*Efficient clustering algorithms for self-organizing wireless sensor networks // Ad Hoc Networks. 2006. Vol. 4. Issue 1. P. 36–59. DOI: 10.1016/j.adhoc.2004.04.002.* 6. Lin J., Liu Y., Ni L. M. *SIDA: Self-organized ID Assignment in Wireless Sensor Networks // Proc. IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems (MASS'2007), 2007. P. 1–8. DOI: 10.1109/MOBHOC.2007.4428604.* 7. Nekoogar F., Dowla F., Spiridon A. *Self Organization of Wireless Sensor Networks Using Ultra-Wideband Radios // Proc. Radio and Wireless Conference, 2004. P. 451–454. DOI: 10.1109/RAWCON.2004.1389174.* 8. Rogers A., David E., Jennings N. R. *Self-organized routing for wireless microsensor networks // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part A: Systems and Humans. 2005. Vol. 35. Issue 3. P. 349–359. DOI: 10.1109/TSMCA.2005.846382.* 9. Dressler F. *Bio-Inspired Networking – Self-Organizing Networked Embedded Systems. Berlin, Germany: Springer Berlin Heidelberg, 2008. P. 285–302. DOI: 10.1007/978-3-540-77657-4\_13.* 10. *Self Organizing Wireless Sensor Network / K. Sohrabi, J. Gao, V. Ailawadhi, G. Pottie// Proc. 37th Annu. Allerton Conference on Communication, Control and Computing, 1999. P. 1201–1210.* 11. Безрук В. М., Пономаренко Н. Н., Скорик Ю. В. *Анализ эффективности методов многокритериального выбора предпочтительного варианта средств телекоммуникаций // Проблемы телекомунікацій. 2015. № 1 (16). С. 42–53. URL: [http://pt.journal.kh.ua/2015/1/1/151\\_bezruk\\_analysis.pdf](http://pt.journal.kh.ua/2015/1/1/151_bezruk_analysis.pdf).*

### References

1. A. Zelenin, V. Vlasova. *Initialization phase in wireless sensor, Kharkiv, KhPI, 2012.* 2. D. Bein. *Self-Organizing and Self-Healing Schemes in Wireless Sensor Networks, London, England, 2009.* 3. T. L. Saaty. *The Analytic Hierarchy Process, New York: McGraw Hill, 1980.* 4. H. K. Kalita. *A New Algorithm of Self Organization in Wireless Sensor Network, Wireless Sensor Network, 2010.* 5. R. Krishnana. *Efficient clustering algorithms for self-organizing wireless sensor networks, Ad Hoc Networks, 2006.* 6. J. Lin. *SIDA: Self-organized ID Assignment in Wireless Sensor Networks, Proc. IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems (MASS'2007), 2007.* 7. F. Nekoogar. *Self Organization of Wireless Sensor Networks Using Ultra-Wideband Radios, Proc. Radio and Wireless Conference, 2004.* 8. A. Rogers, E. David, N. R. Jennings. *Self-organized routing for wireless microsensor networks, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, part A: Systems and Humans, 2005.* 9. F. Dressler. *Bio-Inspired Networking – Self-Organizing Networked Embedded Systems, Berlin, Germany: Springer Berlin Heidelberg, 2008.* 10. K. Sohrabi, J. Gao, V. Ailawadhi, G. Pottie, *Self Organizing Wireless Sensor Network, Proc. 37th Annu. Allerton Conference on Communication, Control and Computing, 1999.* 11. V. Bezruk, N. Ponomarenko, Yu. Skorik. *Analysis of the effectiveness of methods of multi-criteria selection of a preferred variant of telecommunication means, Kharkiv, 2015.*