

# ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА МЕРЕЖІ

УДК 621.391

Б. М. Стрихалюк, Ю. В. Климаш, І. І. Болюбаш  
Національний університет “Львівська політехніка”

## АЛГОРИТМ МАКСИМІЗАЦІЇ ЧАСУ ЖИТТЯ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ З ВИКОРИСТАННЯМ КОНЦЕПЦІЇ ВІРТУАЛЬНИХ ВУЗЛІВ

© Стрихалюк Б. М., Климаш Ю. В., Болюбаш І. І., 2016

Розглянуто концепцію віртуальних вузлів, які є копіями реальних вузлів, кожен з яких здатний виконувати певне завдання і відправляти отримані дані до наступного віртуального вузла. Представлено функції витрат енергії для зчитування, оброблення та передавання інформації. Введено умову обмеження, яка необхідна, коли географічна зона контролюється певною кількістю вузлів, проте не потрібна інформація від усіх вузлів. Запропоновано алгоритм щодо максимізації часу життя безпроводних сенсорних мереж, який дає змогу звести до мінімуму витрати енергії вузлів.

Ключові слова: безпроводна сенсорна мережа, віртуальні вузли, кластер, енергоспоживання.

B. Strykhalyuk, Yu. Klymash, I. Bolyubash  
Lviv Polytechnic National University

## THE ALGORITHM OF SENSOR NETWORK LIFETIME MAXIMIZATION USING THE CONCEPT OF VIRTUAL NODES

© Strykhalyuk B., Klymash Yu., Bolyubash I., 2016

One of the main problems of the requirements of quality of service of wireless sensor networks is to provide fault tolerance. Based on research on energy nodes and routing data, efficiency is paramount to increase the lifetime of the network [1]. In this paper an algorithm of network lifetime maximization is proposed as a promising solution towards a distributed application deployment in wireless sensor networks. There are three cost functions: reading, processing and transmission information; the concept of virtual nodes, which are copies of real nodes. To assess the effectiveness of the algorithm considers three cases the tests are the most common, such as: 1) uniform power consumption and uniform primary energy in each node; 2) irregular power consumption and uniform primary energy in each node; 3) uniform power consumption and uneven primary energy in each node. Nodes are randomly following a uniform distribution. Each unit is equipped with sensors to measure temperature, humidity and light. To minimize energy consumption must have exact information about the network topology, the distance between them and the number of parameters: energy consumption in the processing, reading and transmission of information, residual energy node, the working frequency, data rate. Modeling was performed for two cases: A) when the information is processed and stored on the receiving node and B) when data from this node is analyzed and processed by specialists, while the node itself provides only basic processing. In cases B2 and B3, units selected to perform the proposed algorithm processing, will be those who weigh less on the network, regardless of whether they are heads of clusters or not. In particular, the best results in terms of energy consumption networks with diverse options that are the most

**common type of network in real conditions. In the case of A, where more detailed processing and the number of instructions for each process higher energy savings lower than B.**

**Key words: wireless sensor networks, energy consumption, cluster, sensor.**

### Вступ

Сенсорна мережа (СМ) являє собою самоконфігуровану розподілену безпроводну мережу, яка складається з автономних інтелектуальних пристроїв – сенсорів, кожен з яких має мікроконтролер, елемент живлення з обмеженим запасом енергії та набір датчиків для вимірювання параметрів навколишнього середовища. Заміна елементів живлення потребує значних затрат, особливо у випадку, коли сенсори розміщені у важкодоступних місцях, тому більшість мереж цього типу припиняє функціонування після закінчення енергії. Оптимізація енергоспоживання є важливим завданням, оскільки дає змогу збільшити час життя мережі. Дослідження споживання енергії сенсорами останніми роками показують актуальність та важливість цього завдання [1]. Використовуються різні підходи для досягнення такої оптимізації. В [2] подано модель оптимізації продуктивності СМ на основі визначення оптимального діапазону передавання даних, часу життя лічильника та частини активних режимів вузлів. Автори робіт [3–5] розглянули можливість регулювання областей моніторингу і дальності передавання для продовження часу життя мережі. В роботі [6] представлена стратегія передавання для максимізації об'єму передаваних даних за обмежений період часу за умови обмеження енергії сенсорів, у [7] описано нову парадигму рухливості вузла для диференціального зменшення споживаної енергії, якщо вузли у позиціях високого енергоспоживання без зміни наявної топології. Проаналізовано найпоширеніші випадки початкової енергії та її споживання у СМ [8], параметри IEEE 802.15.4 [9]. Мета статті – розроблення алгоритму оптимізації енергоспоживання сенсорної мережі з використанням концепції віртуальних вузлів, що дасть змогу збільшити час життя мережі та поліпшити якість обслуговування.

### Максимізація часу життя сенсорної мережі

Щоб оцінити енергоспоживання сенсорів, розглянемо функції вартості зчитування, оброблення та передавання інформації. Функція вартості зчитування для вузла  $i$  має вигляд:

$$P_i^{sens} = f_i^{out} \times g_i \times e_i^{sens} \times y_i, \quad (1)$$

де  $y_i = 1$  – під час зчитування,  $0$  – в іншому випадку;  $e_i^{sens}$  – енергоспоживання під час зчитування;  $f_i^{out}$  – частота вихідного трафіка з вузла, що являє собою частоту зчитування;  $g_i$  – коефіцієнт в зворотній пропорції до залишкової енергії  $e_i^{res}$  від вузла  $i$ . Цей коефіцієнт введено для того, щоб використовувати додаток розгортання вузлів з вищою залишковою енергією.

Під час проведення експериментів значення  $g_i = 1$ , коли батарея повністю заряджена,  $5$  – коли рівень заряду батареї нижчий за  $20\%$  від повного заряду. Від  $1$  до  $5$  цей коефіцієнт змінюється лінійно. Функція вартості обробки даних виглядає так:

$$P_i^{proc} = \sum_{h=1}^H f_{ih}^{out} \times g_i \times e_{ih}^{proc}(t_s, \Theta_i^{in}) \times v_i, \quad (2)$$

де  $v_i = 1$  під час зчитування;  $e_{ih}^{proc}$  – енергоспоживання під час оброблення, що залежить від енергії  $e_i^{ins}$ , яку витрачає вузол  $i$ , виконуючи одну інструкцію;  $\Theta_i^{in}$  – отримані дані.

Оскільки  $P_i^{proc}$  залежить від інтенсивності обслуговування, що виконує вузол  $i$ , то ця функція пропорційна до частоти  $f_{ih}^{out}$  кожного з  $H$  – вихідних потоків трафіку, де  $H$  має розмір  $\Theta_i^{out}$ . Кількість прикладів для розрахунку  $e_i^{proc}$  визначали по-різному для кожного виду обробки. Для просторової обробки їх кількість дорівнює кількості вхідних потоків трафіку; для часової обробки – є співвідношенням між частотою надходження  $f_{ih}^{in}$  і частотою обробки  $f_{ih}^{out}$  для кожного потоку вихідного трафіку.

Для обчислення вузлом просторового та часового середнього значення отриманих даних вводиться поняття віртуальних вузлів, які відповідають первинному вузлу та перебувають у стані оброблення. Загальна функція вартості енергії має такий вигляд:

$$P^{tot} = \sum_{i=1}^N (P_i^{sens} + P_i^{proc} + P_i^{tx}) \quad (3)$$

Метою максимізації є визначення набору станів  $S = \{s_1, \mathbf{K}, s_i, \mathbf{K}, s_N\}$  вузлів, що зводять до мінімуму функцію витрат енергії мережі. Отже, завданням оптимізації є мінімізація (3) за умови  $Q_{min} \leq \sum_{i=1}^N g_{il} \leq Q_{max}$ .

Введена умова є стримуючим фактором на  $Q_{min}$  і  $Q_{max}$  вузлів, які повинні виконувати завдання  $t_l$ . Це може бути необхідно, коли географічна зона контролюється певною кількістю вузлів, проте інформація не потрібна від усіх вузлів.

Запропонований алгоритм повинен знати точну топологію мережі, тобто як вузли з'єднані один з одним (матриця  $E_x$ ) і яка відстань між будь-якими двома з них (матриця  $\Delta$ ). Для обчислення загальної функції вартості потрібна додаткова інформація, така як параметри для моделювання радіоканалу, передавання, приймання, зчитування і оброблення споживання енергії кожного вузла, залишкова енергія кожного вузла, робоча частота і швидкість передавання даних.



Рис. 1. Блок-схема пропонованого алгоритму

### Аналіз ефективності пропонованого алгоритму

Для оцінки ефективності пропонованого алгоритму розглянуто три найпоширеніші випадки випробувань:

В. 1: рівномірне споживання енергії та рівномірна початкова енергія ( $E_1$ ) у кожному вузлі (однакові характеристики і термін служби батареї для кожного вузла);

В. 2: нерівномірне споживання енергії і рівномірна початкова енергія ( $E_2$ ) в кожному вузлі (різні характеристики, але однаковий термін служби батареї для кожного вузла). Споживання енергії у вузлах призначено відповідно до рівномірного розподілу від 60 % до 100 % для В. 1;

В. 3: рівномірне споживання енергії та нерівномірна початкова енергія (E3) у кожному вузлі (однакові характеристики, але різний термін життя батареї для вузла). Заряд батареї випадково розподілено відповідно до рівномірного розподілу від 20 % до 100 % від загального заряду.

Вузли розташовані довільно після рівномірного розподілу.

Аналіз зосереджено на таких двох підходах:

1. А: розрахунок і зберігання у приймальному вузлі часових і просторових середніх значень температури, вологості й освітленості протягом години, починаючи від значень, що реєструються кожні 10 хвилин від кожної зони.

2. В: агрегація трафіку, що знаходить з різних зон мережі, та передавання інформації про температуру, вологість і освітленість до приймача для подальшого аналізу за допомогою кваліфікованого персоналу.

Ці підходи вибрано для порівняння випадків, коли мережа повинна виконувати істотні обробки даних (А) і вузли повинні виконувати тільки базову обробку даних, але можуть істотно зменшити обсяг переданих даних, об'єднавши дані (В).

Завдання для А і В:  $t_1$  – температура, вологість і освітленість для зони 1,  $t_2$  – температура, вологість і освітленість для області 2 і т. д. для кожної зони,  $t_3$  – середнє часове,  $t_4$  – середнє просторове.

Таблиця 1

**Завдання А і В для двох контрольованих зон**

	А	В
$t_1$	температура, вологість і освітленість для зони 1	
$t_2$	температура, вологість і освітленість для зони 2	
$t_3$	середнє часове	агрегація зразків
$t_4$	середнє просторове	–

У табл. 2 подано значення параметрів моделювання, яке здійснювалось в MatLab. Детальніше параметри IEEE 802.15.4 представлено в [9].

Таблиця 2

**Значення параметрів моделювання**

Параметр	Значення
Частота	2400 МГц
Швидкість передавання даних	250 кбіт/с
Пакети заголовка	12 байт
Пакети корисного навантаження	125 байт

Алгоритм застосовано до кожного з випадків В1–В3. Підсумкове значення витрат енергії порівняно з:

1) величиною витрат, у разі, якщо дані обробляються тільки приймачем. Це означає, що кожен потік трафіку, згенерований датчиками, передається без будь-якої обробки на проміжні вузли;

2) дані обробляються (в міру необхідності) кожним головою кластера, що знайдено на шляху до приймача;

3) середнім значенням витрат для всіх можливих рішень, які можуть бути виявлені. Це зроблено для порівняння, коли обробка даних виконується на фіксованих вузлах, що, як очікується, нададуть результати, які відповідатимуть середньому рішенню.

На рис. 2 показані отримані результати.

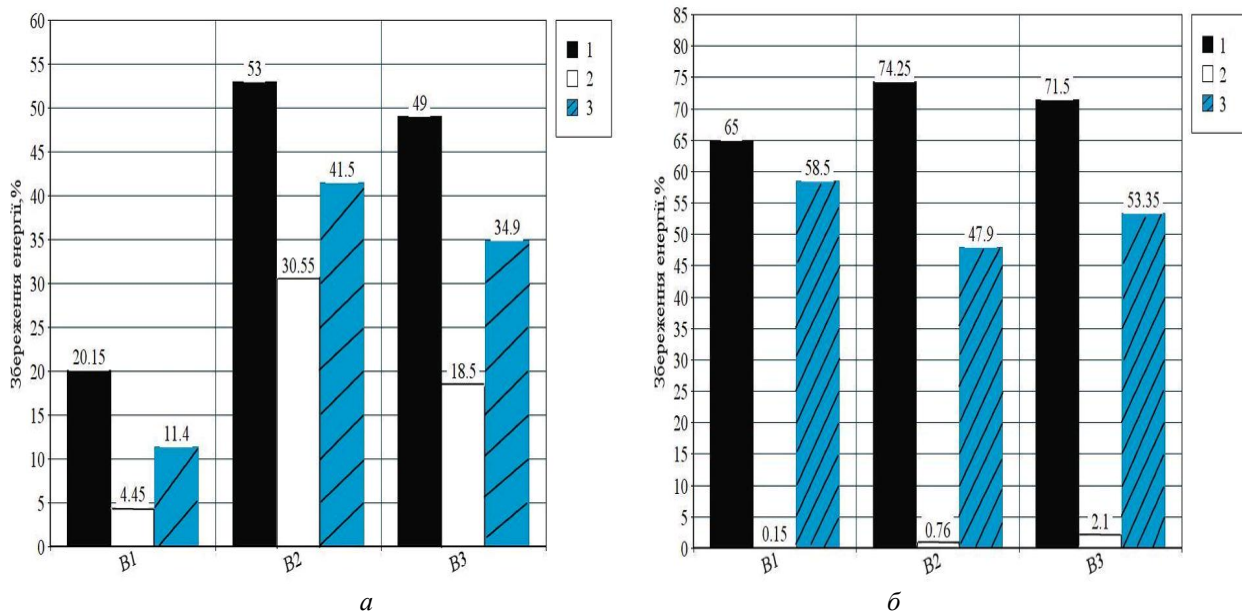


Рис. 2. Збереження енергії з використанням пропонованого алгоритму для А і В: а – для А; б – для В

Графіки В2 та В3 показують істотне покращення у разі використання пропонованого алгоритму. Коли всі вузли мають однакові параметри, і, отже, рівномірне споживання енергії і ту саму початкову енергію, вибір вузла, який виконуватиме обробку, зводиться до вибору голови кластера.

Використання голів кластера є зручним рішенням, оскільки агрегування кадрів, що надходять з різних шляхів, приводить до зниження енергоспоживання мережі, проте цей підхід вимагає, щоб кожен вузол у мережі мав змогу виконувати обробку даних, що не завжди можливо.

### Висновок

Запропоновано алгоритм максимізації часу життя сенсорної мережі з використанням концепції віртуальних вузлів. Що нижчі витрати енергії, необхідної для обробки, тим легше її здійснювати у кожній голові кластера, і відповідно, тим більший буде час життя мережі. У випадках В2 і В3 вузли, вибрані пропонованим алгоритмом для виконання обробки, будуть тими, чия вага менша в мережі, незалежно від того, чи є вони головами кластерів, чи ні. Отже, визначаються кращі результати з погляду енергоспоживання для мереж з різними параметрами, які є найпоширенішим типом мереж у реальних умовах.

1. Anastasi G., Conti M., *Energy conservation in wireless sensor networks: A survey* // *Ad Hoc Networks*. 2009. Vol. 7. С. 537–568. 2. Гнатушенко В. *Модель оптимізації продуктивності бездротової сенсорної мережі за оптимальністю вибору діапазону передавання й розкладу режимів активності/очікування сенсорів* // *Вісник Національного університету “Львівська політехніка”*. Серія : Комп’ютерні науки та інформаційні технології: [зб. наук. пр.]. 2015. № 826. С. 142–149. 3. Ерзин А. И., Залюбовский В. В. *Задача выбора совокупности связанных покрытий в беспроводных сенсорных сетях* // *Труды ИВМиМГ СО РАН. Новосибирск. Серия: Информатика*. Вып. 8, 2008. С. 23–28. 4. Wu J., Yang S. *Energy-Efficient Node Scheduling Models in Sensor Networks with Adjustable Ranges* // *Int. J. of Foundations of Computer Science*. 2005. Vol. 16. No. 1. P. 3–17. 5. Астраков С. Н., Ерзин А. И., Залюбовский В. В. *Сенсорные сети и покрытие плоскости кругами* // *Дискретный анализ и исследование операций*. Т. 16. № 3. 2009. С. 3–19. 6. Tutuncuoglu K., Yener A. *Optimum transmission policies for battery limited energy harvesting nodes* // *IEEE Transactions on Wireless Communications*. Mar. 2012. Vol. 11. No. 3. P. 1180–1189. 7. Fatme El-Moukaddem Fatme, Torng Eric, Xing Guoliang. *Maximization network topology lifetime using mobile node rotation* // *IEEE*

*Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 2009. Vol. 26. no. 7. P. 1958–1970. 8. Heinzelman W., Chandrakasan A., Balakrishnan H. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks // *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2002. Vol. P. 660–670. 9. Alliance Z. Zigbee specification // ZigBee document 053474r06, 2006.

### References

1. Anastasi G. (2009) “Energy conservation in wireless sensor network”, *Ad Hoc Networks*, vol. 7, pp. 537–568. 2. Hnatushenko B. (2015) “The optimization model the performance of wireless sensor network at an optimum range selection transmission and scheduling modes of activity / standby sensors, visnyk Natsionalnoho universytetu “Lvivska politexnika”, no. 826, pp. 142–149. 3. Erzin A., Zalyubovskiy V. (2008) “The task choosing a set of connected surfaces in wireless sensor networks”, *Trudy YVMYMG SO RAN. Novosybyrsk*, vol. 8, pp. 23–28. 4. Wu J., Yang S.(2005) “Energy-Efficient Node Scheduling Models in Sensor Networks with Adjustable Ranges“, *Int. J. of Foundations of Computer Science*, v.16, no. 1, pp. 3–17. 5. Astrakov S. N, Erzin A. I., Zalyubovskiy V. V. (2009) “Sensor networks and covering of plane by discs”, *Discrete Analysis and Operations Research*, t.16, no.3, pp. 3–19. 6. Tutuncuoglu K., Yener A. (2012) “Optimum transmission policies for battery limited energy harvesting nodes”, *IEEE Transactions on Wireless Communications*. vol. 11. no. 3. P. 1180–1189. 7. El-Moukaddem Fatme, Torng Eric, Xing Guoliang (2015) “Maximization network topology lifetime using mobile node rotation“, *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, vol. 26, no. 7, pp. 1958–1970. 8. Heinzelman W., Chandrakasan A. and Balakrishnan H. (2002), “An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 1, pp. 660–670. 9. Alliance Z. (2006) Zigbee specification, ZigBee document 053474r06.