

# ВИБІР ПЕРЕВАЖНИХ ПРОТОКОЛІВ МАРШРУТИЗАЦІЇ БЕЗДРОТОВОЇ СЕНСОРНО-АКТУАТОРНОЇ МЕРЕЖІ МЕТОДОМ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЇ

Безрук В.М., Скорик Ю.В., Власова В.О.

Кафедра «Мережі зв'язку», Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна, E-mail: valeriy\_bezruk@ukr.net, Skorik\_Y@list.ru, zlata\_ne@bk.ru

**Анотація** – Проведено аналіз протоколів маршрутизації, що використовуються у бездротових сенсорно-актуаторних мережах (БСАМ). Розглянуто процес вибору ефективного протоколу маршрутизації для застосування в польових сенсорних мережах з локалізацією елементів методом аналізу ієрархії. Виявлено енергоефективний протокол маршрутизації на основі місця розташування вузлів БСАМ.

**Ключові слова** – сенсорна мережа, маршрутизація, критерій вибору, енергоефективність, метод аналізу ієрархії.

## I. Вступ

В даний час активний розвиток отримали бездротові сенсорно-актуаторні мережі (БСАМ), які ефективно використовуються для вирішення прикладних завдань розподіленого збору інформації про контрольований параметр в мережах моніторингу та контролю. Такі мережі є гомогенними, здатними до самоорганізації, одноранговими, з чарунковою топологією, вузли яких здатні до ретрансляції інформації. Автономне джерело живлення у вигляді батареї в цих мережах накладає жорсткі обмеження по енергоефективності на всі протоколи маршрутизації, що застосовуються в сенсорних мережах. Тому для БСАМ важливим є завдання маршрутизації [1, 2], зокрема, пошуку оптимальних з точки зору енергоефективності маршрутів і пошуку маршрутів, що забезпечують максимальний час життя мережі. Розвиток БСАМ призвів до створення великого числа протоколів маршрутизації. Це визначає актуальність вибору кращого протоколу маршрутизації для конкретної реалізації. У даній роботі, зокрема, особливий інтерес представляє метод аналізу ієрархії [3, 4].

## II. Огляд алгоритмів маршрутизації і вибір переважного варіанту серед них методом аналізу ієрархії

*Sensor Protocols for Information via Negotiation* (SPIN) є адаптивним протоколом, який дозволяє будувати маршрути передачі інформації з високою енергетичною ефективністю.

*Directed Diffusion* – протокол, орієнтований на дані (data-centric). У мережах, що використовують даний протокол для маршрутизації, сенсорні вузли використовують зв'язку «атрибут-значення». Для отримання даних вузол генерує запит за певною схемою, подібно роботі бази даних, де вузли виступають в ролі осередків даних.

*Rumor Routing*. Цей алгоритм має на увазі використання запитів від БС, які поширюються по всій мережі вузлів, що спостерігали події, відображені в запиті.

*Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy* (LEACH). В алгоритмі LEACH вузли об'єднуються у кластери, а роль глави кластера періодично виконують різні вузли мережі для рівномірного використання енергії. Перевага LEACH у використанні циклів. У кожному циклі знову вибирається глава кластера з числа вузлів, які не були главами кластерів,

і для забезпечення відсотка глав кластерів щодо загального числа вузлів мережі.

*Threshold Sensitive Energy Efficient Sensor Network Protocol* (TEEN) на відміну від ієрархічних протоколів використовується для реактивних мереж, які негайно реагують на зміну різних параметрів.

*Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems* (PEGASIS) вважається поліпшенням алгоритму LEACH. Замість розподілу вузлів в кластери він передбачає формування ланцюжків сенсорних вузлів

*Self-Organizing Protocol* (SOP) протокол маршрутизації і самоорганізації використовується в гетерогенних сенсорних мережах з підтримкою як стаціонарних, так і мобільних вузлів.

*Geographic Adaptive Fidelity* (GAF) – протокол, спрямований на оптимізацію продуктивності БСАМ за рахунок пошуку еквівалентних вузлів, з точки зору передачі інформації. Еквівалентними вважаються такі вузли, що можуть підтримувати зв'язок з однією та тією ж множиною сусідніх вузлів.

*Geographic and Energy and Aware Routing* (GEAR) алгоритм маршрутизації, який також заснований на знанні розташування вузлів. Локалізація відбувається за допомогою систем глобального позиціонування або іншим систем.

*Sequential Assignment Routing* (SAR) один з перших протоколів маршрутизації в бездротових сенсорних мережах, який забезпечує поняття Quality Of Service (QoS – якість послуг) критеріїв маршрутизації.

*A Stateless Protocol for Real-Time Communication in Sensor Networks* (SPEED) – протокол, також забезпечує QoS. Для його роботи потрібно, щоб кожен вузол зберігав інформацію про своїх сусідів і використовував дані про їх географічне положення для пошуку шляхів.

Проаналізовані дані використані при порівнянні протоколів маршрутизації методом аналізу ієрархії, зокрема, при формуванні матриць парних порівнянь протоколів з урахуванням суджень експертів.

Метод аналізу ієрархії (МАІ) складається в декомпозиції проблеми вибору кращого варіанту протоколу маршрутизації на прості складові частини і отриманні суджень експертів по парним порівнянням елементів проблеми вибору [3, 4], які представляються у вигляді матриці. Оцінки парних порівнянь елементів знаходяться з використанням суб'єктивних суджень експертів, що чисельно визначено за шкалою відносної важливості елементів [3, 4].

В результаті обробки отриманої матриці отримують компоненти власного вектору  $V_j$  та вектору пріоритетів  $P_j$

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

де  $n$  – число порівнюваних варіантів протоколів маршрутизації,  $a_{ij}$  – оцінки парних порівнянь елементів.

За максимальним значенням компонентів вектору пріоритетів вибирається єдиний кращий варіант протоколу маршрутизації.

*V<sup>th</sup> International Scientific Practical Conference*

*“Physical and technological problems of transmission, processing and storage of information in infocommunication systems”*  
3–5 November 2016, Chernivtsi, Ukraine

## Результати вибору протоколу маршрутизації БСАС методом аналізу ієрархій

Розглянемо особливості застосування методу аналізу ієрархій для вибору єдиного кращого протоколу маршрутизації БСАС з урахуванням сукупності показників якості. Було взято 11 протоколів маршрутизації. Для кожного експерта складена матриця парних порівнянь протоколів маршрутизації, потім обчислені власний вектор і вектор пріоритетів. Відношення узгодженості для всіх матриць в нормі.

показателі качества [Текст]/ В.М. Безрук, Ю.В. Скорик// Радиоэлектроника и информатика. – Харьков: ХНУРЭ. – 2013. – С. 24-29.

- [4] Безрук В.М. Анализ эффективности методов многокритериального выбора предпочтительного варианта средств телекоммуникаций [Электронный ресурс]/ В.М. Безрук, Н.Н. Пономаренко, Ю.В. Скорик// Проблемы телекоммуникаций. – 2015. – №1(16). – С. 42–53. – Режим доступа до журн.: [http://pt.journal.kh.ua/2015/1/1/151\\_bezruk\\_analysis.pdf](http://pt.journal.kh.ua/2015/1/1/151_bezruk_analysis.pdf).

ТАБЛИЦЯ

Протоколи	Оцінки парних порівнянь 10 експертів ( $P_{ij}$ )										Середня оцінка вектору пріоритетів 10 експертів
	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	№9	№10	
N1	0,03	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,05	<b>0,0442</b>
N2	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	0,08	0,07	0,05	0,09	0,08	<b>0,077</b>
N3	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,08	0,06	0,04	<b>0,0589</b>
N4	0,10	0,10	0,13	0,05	0,11	0,1	0,1	0,11	0,14	0,10	<b>0,1103</b>
N5	0,14	0,16	0,09	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,10	0,15	<b>0,1426</b>
N6	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	<b>0,0237</b>
N7	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03	<b>0,0299</b>
N8	0,20	0,19	0,23	0,2	0,19	0,19	0,22	0,2	0,19	0,20	<b>0,2076</b>
N9	0,28	0,27	0,25	0,29	0,27	0,27	0,26	0,26	0,26	0,26	<b>0,2721</b>
N10	0,01	0,01	0,02	0,02	0,07	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	<b>0,023</b>
N11	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	<b>0,0145</b>

В результаті оброблені оцінки матриць парних порівнянь десяти експертів і вектор пріоритетів і потім обчислений середній вектор пріоритетів. Представлений вибір кращого варіанту протоколу маршрутизації з урахуванням думки експертів на основі МАІ.

Згідно МАІ кращим варіантом маршрутизації є протокол маршрутизації N9 – GEAR, що відповідає максимальній компоненті вектору пріоритетів.

Перевагою використання методу аналізу ієрархій для вибору кращого варіанту протоколу маршрутизації є облік суджень експертів і подальша формалізована процедура обробки отриманих даних для вирішення такого завдання вибору. Цей метод може бути застосований при проектуванні бездротових сенсорно-актуаторних мереж. Після відповідного доопрацювання цей метод також може бути використаний при порівнянні та виборі інших засобів телекомунікацій.

### III. Висновки

Проведено порівняльний аналіз характеристик 11 протоколів маршрутизації у БСАС. Розглянуто практичні особливості застосування методу аналізу ієрархій для вибору кращого варіанту протоколу маршрутизації в БСАС. В результаті застосування МАІ обраний кращий варіант протоколу маршрутизації – GEAR (протокол маршрутизації, заснований на знанні кожним вузлом свого місця розташування вузлів) для застосування в польових БСАС з локалізацією елементів.

### IV. Список літератури

- [1] Иваненко В. Анализ протоколов передачи данных от узлов в беспроводных сенсорных сетях [Текст]/ Виктория Иваненко// Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – Т. 2, N 10(50). – С. 9–12. – Режим доступа: DOI: 10.15587/1729-4061.2011.1860.
- [2] Безрук В.М. Выбор предпочтительных протоколов маршрутизации узлов беспроводной сенсорно-актуаторной сети [Текст]/ В.М. Безрук, А.Н. Зеленін, В.А. Власова, Ю.В. Скорик, Ю.Н. Колтун// Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2016. – №1/9 (79). – С. 4-9.
- [3] Безрук В.М. Применение метода анализа иерархий при выборе средств телекоммуникаций с учетом совокупности

## SELECT PREFERRED OF ROUTING PROTOCOL OF WIRELESS SENSOR AND ACTUATOR NETWORK BY THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS

V.M. Bezruk, U.V. Skorik, V.O. Vlasova  
Department of Communication Networks,  
Kharkiv National University of Radio Electronics.

The problems of routing to search for energy efficiency-optimal routes are important in wireless sensor and actuator networks. This determines the relevance of selecting a preferred option among many different routing protocols for a specific implementation. The paper considers the practical features of applying the analytic hierarchy process to select the preferred routing protocol for wireless sensor and actuator networks.

A comparative analysis of the characteristics of existing routing protocols in sensor networks is performed. Experts provided paired comparisons of characteristics of 11 routing protocols. The paired comparison matrices, which allowed computing the eigenvector and priority vector components are formed. According to the maximum values of the priority vector components, the preferred routing protocol – GEAR (Geographical and Energy-Aware Routing) is selected for use in field sensor and actuator networks with localization of elements.

The results confirm the applicability of the analytic hierarchy process to select the preferred routing protocol in the design of sensor and actuator networks taking into account the specified implementation requirements.

*V<sup>th</sup> International Scientific Practical Conference*

*“Physical and technological problems of transmission, processing and storage of information in infocommunication systems”*  
3–5 November 2016, Chernivtsi, Ukraine