

УДК 004.75

БЕСПРОВОДНЫЕ СЕНСОРНЫЕ СЕТИ НА ОСНОВЕ МОДУЛЬНОЙ АРИФМЕТИКИ**Ц. ЧЕН^{1,4}, В. ЯЦКИВ², А. САЧЕНКО^{2,3}, Ц. СУ⁴**¹*Хубэйский университет,
Китай, Ухань, Хубэй*²*Тернопольский национальный экономический университет,
Украина, Тернополь, 46020, ул. Львовская, 11*³*Силезский технологический университет,
Польша, Гливице, Силезия*⁴*Хубэйский технологический университет,
Китай, Ухань, Хубэй*

Аннотация. Предложен метод кодирования данных в беспроводных сенсорных сетях (БСС), основанных на преобразовании в системе счисления в остатках и многопутевой маршрутизации. Он дает возможность эффективно использовать полосу частот коммуникационного канала при уменьшении времени доставки сообщений. Описан «муравьиный алгоритм» поиска оптимального маршрута передачи данных в БСС. Введенные ограничения на радиус связи беспроводной системы позволили сократить число режимов поиска решений беспроводным узлом и повысить точность моделирования БСС. Разработано соответствующее программное обеспечение, позволяющее исследовать динамику поиска путей передачи в БСС при различных установках алгоритма и исследовать влияние «элитных муравьев» на точность поиска путей.

Ключевые слова: беспроводная сенсорная сеть; система счисления в остатках; многопутевая маршрутизация; муравьиный алгоритм

ВВЕДЕНИЕ

Беспроводные сенсорные сети (БСС, wireless sensor network, WSN) являются одной из многообещающих реализаций отказоустойчивых распределенных самонастраиваемых систем мониторинга и управления ресурсами и процессами [1, 2]. Однако использование БСС в некоторых областях, в частности автоматизированные системы управления технологическими процессами, охраняемые системы и системы мониторинга в режиме реального времени требует высокой надежности работы на всех уровнях модели OSI.

Для повышения надежности передачи данных используются следующие подходы: передача данных на основе сигналов распределен-

ного спектра (DSSS, FHSS), коды коррекции ошибок CRC (cyclical redundancy check), коды Рида–Соломона, коды Боуза–Чоудхури–Хоквингема BCH (Bose–Chaudhuri–Nocquenghem) и др. [3, 4].

Разработан модифицированный метод [5], основанный на расширении спектра сигнала с помощью метода расширения спектра со скачкообразной перестройкой частоты сигнала и преобразования в системе счисления в остатках RNS (residue number system). Этот метод дает возможность внедрить шумоподавляющее кодирование или параллельную обработку информации без значительного усложнения оборудования. Однако указанные подходы

DOI: [10.20535/S002134701705003X](https://doi.org/10.20535/S002134701705003X)

© Ц. Чен, В. Яцкив, А. Саченко, Ц. Су, 2017

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Fahmy, H. M. A. *Wireless Sensor Networks*. Springer, 2016. ISBN: 978-981-10-0412-4 (Online).
2. Yu, Kan; Gidlund, M.; Akerberg, J.; Bjorkman, M. Reliable and low latency transmission in industrial wireless sensor networks. *Procedia Computer Science*, Vol. 5, p. 866–873, 2011. DOI: [10.1016/j.procs.2011.07.120](https://doi.org/10.1016/j.procs.2011.07.120).
3. IEEE Standard for Part 15.4: Wireless Medium Access Control Layer (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), IEEE Std 802.15.4™ – 2006.
4. Okdem S. A cross-layer adaptive mechanism for low-power wireless personal area networks. *Computer Communications*, 78, 2016, p.16-27.
5. Sаченко, А.; Яцкив, В.; Крепыч, Р. Modified method of noise-immune data transmission in wireless sensors networks. *Proc. of Int. Conf. on Networks Security, Wireless Communications and Trusted Computing*, NSWCTC, 25-26 Apr. 2009, Wuhan, Hubei, China. IEEE, Vol. 2, p. 847–850, 2009. DOI: [10.1109/NSWCTC.2009.391](https://doi.org/10.1109/NSWCTC.2009.391).
6. Lou, W. An efficient N-to-1 mutlipath routing protocol in wireless sensor networks. *Proc. of IEEE Int. Conf. on Mobile Adhoc and Sensor Systems*, 7 Nov. 2005, Washington, DC, USA. IEEE, 2005, p. 664–672. DOI: [10.1109/MAHSS.2005.1542857](https://doi.org/10.1109/MAHSS.2005.1542857).
7. Li S., Zhao S., Wang X., Zhang K., Li L. Adaptive and secure load-balancing routing protocol for service-oriented wireless sensor networks. *IEEE Systems Journal* 8.3, 2014, p. 858–867.
8. Chervyakov N. I., Lyakhov P. A., Babenko M. G., Garyanina A. I., Lavrinenko I. N., Lavrinenko A. V., Deryabin M. A. An efficient method of error correction in fault-tolerant modular neurocomputers. *Neurocomputing*, 205, 2016, p. 32–44.
9. Gui T.C. Wang Ma F., Wilkins D.E.. Survey On Swarm Intelligence based Routing Protocols for Wireless Sensor Networks: An Extensive Study. In *Proceeding to the IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, 2016, p. 1944–1949.
10. Kumar N., Singh Y. Routing Protocols in Wireless Sensor Networks." *Handbook of Research on Advanced Wireless Sensor Network Applications, Protocols, and Architectures*. 2016.
11. Amgoth T., Prasanta K. J. Energy-aware routing algorithm for wireless sensor networks. *Computers & Electrical Engineering* 41, 2015, p.357–367.
12. Lin, Chi; Wu, Guowei; Xia, Feng; Li, Mingchu; Yao, Lin; Pei, Zhongyi. Energy efficient ant colony algorithms for data aggregation in wireless sensor networks. *J. Comput. Syst. Sci.*, Vol. 78, No. 6, p. 1686–1702, 2012. DOI: [10.1016/j.jcss.2011.10.017](https://doi.org/10.1016/j.jcss.2011.10.017).

13. Yatskiv, V., Jun, Su; Yatskiv, N.; Sachenko, A. Nonlinear data coding in wireless sensor networks. *Int. J. Computing*, Vol. 10, No. 4, p. 383–390, 2011. URL: <http://www.computingonline.net/index.php/computing/article/view/768>.

14. Cai, X.; Duan, Y.; He, Y.; Yang, J.; Li, C. Bee-sensor-C: an energy-efficient and scalable multipath routing protocol for wireless sensor networks. *Int. J. Distributed Sensor Networks*, Vol. 11, No. 3, p. 976127, 2015. DOI: [10.1155/2015/976127](https://doi.org/10.1155/2015/976127).

15. Gui, T., Ma, C., Wang, F., Wilkins, D. E. Survey on swarm intelligence based routing protocols for wireless sensor networks: An extensive study. *Industrial*

Technology (ICIT), 2016 IEEE International Conference on. IEEE, 2016, p. 1944–1949.

16. Mohan, PV Ananda. “Specialized Residue Number Systems.” *Residue Number Systems*. Springer International Publishing, 2016, p.177–193.

17. Yatskiv, V.; Sachenko, A.; Jun, Su. The code translator of parallel binary code into Residue Number Classes code. UA Patent 104912. *Bull. Izobr.*, No. 6, 25.03.2014.

18. Du, Ke-Lin, M. N. S. Swamy. “Ant Colony Optimization.” *Search and Optimization by Metaheuristics*. Springer International Publishing, 2016, p.191–199.

Поступила в редакцию 22.12.2015 После переработки 03.03.2017