

## **ЗАСТОСУВАННЯ МУЛЬТИМЕТРИЧНИХ ПРОТОКОЛІВ ТА МІЖШАРОВОГО ПІДХОДУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ**

**Новіков В.І.<sup>1</sup>, Дворська С.В.<sup>1</sup>, Дакова Л.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

<sup>2</sup> *Державний університет телекомунікацій, Україна*

*E-mail: novikov1967@ukr.net, dvorskaya80@ukr.net, dacova@ukr.net*

### **STAGNATION OF MULTIMETRIC PROTOCOLS AND MULTI-BALL APPROACH FOR THE ADVANCEMENT OF ENERGY-EFFICIENT FUNCTION OF WIRELESS SENSOR FENCES**

In addition, there are presented business procedures for reaching compromises between business goals in wireless sensor networks, including energy savings. An algorithm has been propagated that will allow you to unify the re-routing of the system.

Мультиметричні (багатометричні) протоколи використовують різні мережеві вимірювання для задоволення кількох потреб у застосуванні. Наприклад, протоколи маршрутизації, що стосуються конкретних програм, пропонують поєднувати енергоефективність із вимогами QoS [1–2]. Ці дослідницькі роботи враховують запаси енергії вузлів разом із спотворенням даних, швидкістю помилок пакетів або стану вузла. Однак такий різновидовий протокол викликає нові проблеми. Зазвичай протоколи маршрутизації покладаються на вагову функцію різних показників, а коригування даних часто проводиться за методологією проб і помилок. Більше того, мультиметричні протоколи маршрутизації вимагають визначення вичерпних показників та їх підтримку у кожному вузлі, що створює додатковий обмін повідомленнями. Наприклад, якість посилання може бути оцінена лише статично за допомогою індикатора рівня отриманого сигналу RSSI (Received Signal Strength Indicator), індикатора якості радіоканалу LQI (Link Quality Indicator) або показника швидкості прийому пакетів, який змінюється з часом. Таким чином, ці протоколи мають недоліки у вигляді додаткових накладних витрат, але з іншого боку, вони дозволяють вдосконалити адаптацію до змін стану мережі, оскільки рішення вузлів базуються на показниках, зміна яких відображає стан мережі. Нижче представлено аналіз деяких багатометричних протоколів з точки зору їх енергоефективності:

1). Маршрутизація за допомогою протоколу ATSR, де рішення про маршрутизацію приймаються локально на основі вагової функції, яка враховує залишкову енергію сусідніх вузлів, їх розташування та довіру. Для оцінки рівня зношення сусіднього датчика використовується такі показники безпеки, як стан

вузла, автентифікація та цілісність повідомлення для виявлення шкідливих вузлів. Протокол вимагає додаткових керуючих повідомлень для оцінки енергії сусідніх вузлів, а рівень довіри та ваги повинні бути відрегульовані для обміну безпекою та енергією.

2) ERTLD – протокол удосконаленої маршрутизації в режимі реального часу з розподілом навантаження на вузли, де оптимальні рішення щодо переадресації приймаються на основі RSSI. Протокол ERTLD може доставляти пакети в терміни від кінця до кінця, підвищуючи гнучкість, оскільки це може уникнути проблеми маршрутизації пустих місць. Більше того, він має більш високий коефіцієнт доставки і споживає менше енергії, ніж сучасні рішення.

3) PEMuR – це ієрархічний протокол маршрутизації пакетів через стаціонарну WSN, задовольняючий як енергоефективність, так і вимоги QoS. У цьому рішенні головний вузол СН (Cluster Head) вибирає шлях до базової станції BS (Base Station), рівень енергії якої, що залишилася після передачі, буде найвищою серед усіх можливих шляхів. Якщо доступної пропускну здатності недостатньо, СН може вирішити скинути менш значні пакети відповідно до їх впливу на загальне псування даних. Протокол PEMuR добре підходить для програм спостереження, контролю руху та моніторингу стану здоров'я. Однак формування кластерів є централізованою процедурою, тому воно створює додаткові накладні витрати: кожен вузол надсилає інформацію про свою енергію та місце розташування до BS.

4) Алгоритм InRout вирішує вибір маршруту для промислових безпроводових сенсорних мереж, щоб забезпечити високу надійність, враховуючи обмежені ресурси сенсорних вузлів. Рішення використовує Q-навчання для вибору найкращого можливого маршруту, виходячи з поточних мережеских умов та налаштувань програми. Вузол вибере маршрут, який максимізує його успіх щодо коефіцієнта помилок пакетів (PER) та енергії вузла.

У випадку використання міжшарового підходу було проведено багато досліджень для вирішення споживання енергії на всіх шарах, особливо в мережі MAC та фізичних шарах. Очікується, що інтегрована міжшарова конструкція може значно підвищити енергоефективність, а також адаптованість до динамічних середовищ. Дійсно, міжшарові рішення використовують взаємодію між різними шарами для оптимізації роботи мережі. Вимоги до датчиків (QoS, маршрутизація, термін експлуатації, безпека тощо) тісно пов'язані між собою і потребують всебічного вивчення існуючих компромісів. Різномішарові рішення дозволяють вирішити взаємозалежність цих проблем. В якості конкретного прикладу можна відстежувати рівень стану акумулятора на фізичному рівні і використовувати цю інформацію на рівні MAC для справедливого призначення слотів зв'язку для вузлів. Аналогічно можна розглянути графік завад при маршрутизації даних для оптимізації передачі затримки. Зміни топології, ймовірно, відбудуться у WSN та можуть скористатися підходом міжшарового рівня.

Наприклад, після додавання чи видалення вузла змінюється щільність

мережі та кількість перешкод на фізичному рівні. Таким чином, може знадобитися перерозподіл слотів або відповідна зміна на рівні MAC, створюючи різні можливості для вибору шляху на сегменті маршрутизації. В роботі [3] автори в спільній маршрутизації протоколів MAC та фізичному рівні, для розподілу енергії в кооперативних мережах датчиків зв'язку під заданою швидкістю пакетної помилки (PER) пропонують енергоефективний алгоритм вибору координатора PAN у сенсорних мережах на базі IEEE 802.15.4 Вони поєднують процедуру формування мережі, визначену на рівні MAC, з алгоритмом реконфігурації топології, що працює на мережевому рівні. За рахунок мінімізації висоти їхнього кластеру алгоритм може зменшити затримку і продовжити термін служби мережі.

В роботі [4] автори пропонують вигляд мережі між сегментами маршрутизації та MAC. Їх протокол маршрутизації на основі кластерів врівноважує навантаження між вузлами, будуючи кілька шляхів, заснованих на силі сигналу та кількості стрибків. У протоколі MAC на основі TDMA голова кластера адаптивно призначає слоти активним вузлам на основі типу трафіку. Їх рішення зменшує споживання енергії та затримку, і досягає високих коефіцієнтів пропускну здатності та доставки пакетів, вибираючи шляхи з кращою якістю зв'язку та уникаючи зіткнень та перешкод.

Запропоновано алгоритм, коли вузол датчика знає власне географічне розташування, використовуючи GPS, а також знає про всі місця своїх сусідніх датчиків. Крім того, кожен вузол знає місцезположення низхідного вузла. Удосконалена версія цього алгоритму пропонується у посиланнях, який використовує ємність буфера і порівнює буфер вузлів, що в свою чергу сприятиме уникненню перенавантажень. У інших дослідженнях для того, щоб використовувати багатосмугову маршрутизацію, тобто балансування навантаження, пропонується збільшити пропускну здатність мережі. Більше того, запропонований алгоритм є гібридним, тобто таким, який виконує уникнення перевантажень із використанням удосконаленої маршрутизації. Він також нормалізує довжину черги та глибину кінцевого вузла від сенсорних вузлів. Іншими словами, він підтримує таблицю маршрутизації для найменшої глибини або найкоротшого маршруту.

### Література

1. S. Sudevalayam, P. Kulkarni, Energy Harvesting Sensor Nodes: Survey and Implications, *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 13 (2011) 443–461 с.
2. A. Prayati, C. Antonopoulos, T. Stoyanova, C. Koulamas, G. Papadopoulos, A modeling approach on the TelosB WSN platform power consumption, *Journal of Systems and Software* 83 (2010), 202–207 с.
3. J. Ко, C. Lu, M. B. Srivastava, J. A. Stankovic, A. Terzis, M. Welsh, *Wireless Sensor Networks for Healthcare*, *Proceedings of the IEEE* 98 (2010) 1947–1960 с.
4. A. Hadjidj, M. Souil, A. Bouabdallah, Y. Challal, H. Owen, *Wireless Sensor Networks for Rehabilitation Application: Challenges and Opportunities*, *J. of Network and Computer Applications* 36 (2013) 1–15 с.