

ОСОБЛИВОСТІ МАРШРУТИЗАЦІЇ В БЕЗДРОТОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ

Розглядаються особливості методів маршрутизації в безпроводних сенсорних мережах та їх можливості, які гарантують максимально можливий час функціонування мережі.

The features of methods of routing in off-wire sensory networks and their possibilities which guarantee maximally possible functioning time of network are examined.

1. ВСТУП

Маршрутизація в безпроводних сенсорних мережах (Wireless Sensor Networks – WSN), враховуючи їх специфічні характеристики є проблемою дуже складною. Значні відмінності між бездротовими сенсорними мережами і мережами ad-hoc чи стільниковими мережами роблять неможливий використання протоколів маршрутизації, діючих в цих мережах.

Основні причини цього:

– дуже велике число вузлів сенсорних мереж робить неможливим надання кожному вузлу глобальної ідентифікуючої адреси. Додатково таке рішення вводило б дуже велику інформаційну надбавку в мережу. Відсутність ідентифікаторів виключає можливість використання протоколів маршрутизації з мережі IP.

– вузли сенсорних мереж дуже обмежені відносно енергетичних ресурсів, перетворення даних і ємності операційної пам'яті, тому необхідним є чітке управління енергією вузлів, чого не беруть до уваги існуючі протоколи.

– сенсорні мережі є практично-орієнтованими і вимоги, що ставляться до них, залежать від застосування та використання. Отже необхідна певна гамма протоколів маршрутизації, які виконають вимоги конкретних застосувань.

– дані, що пересилаються сенсорними мережами, є наслідком переважно різних вимірювань одного явища і тому між собою дуже корельовані. Можна говорити про певну міру надмірності, якою можна скористатись для більш ефективного управління енергією чи використання доступної смуги.

¹ Українська академія друкарства

² Національний університет «Львівська політехніка»

– у традиційних мережах дані пересилаються з конкретного вузла до іншого конкретного вузла, натомість в сенсорних мережах дані можуть переслатися шляхом запиту про ті дані, що мають певні атрибути, наприклад, запит: переслати дані лише з тих сенсорів, в яких виміряна температура більша за 60° С.

– сенсорні мусять себе самоорганізовувати, тому що дуже часто розміщені випадково і діють неконтрольовано. Вся конфігурація і організація сенсорних мереж мусять проводитися автоматично.

Таким чином, при вирішенні задач проектування сенсорних мереж слід провести попередній аналіз методів і встановлення маршрутів передачі даних, враховуючи завдання, що вирішується мережею.

2. ЗАВДАННЯ ПРОТОКОЛІВ МАРШРУТИЗАЦІЇ В СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ

Під час проектування протоколів маршрутизації для сенсорної мережі до уваги мусять бути взято багато чинників, щоб забезпечити ефектну комунікацію в мережі, гарантуючи як найдовший час її життя:

– *розміщення вузлів* – сенсорні вузли розміщені зовсім випадково і протокол маршрутизації мусять вміти працювати з таким розподілом вузлів, забезпечуючи комунікацію між ними. Система, крім того, мусять пристосовуватися до частих змін в мережі, що викликаються, наприклад, пошкодженням вузла чи вичерпанням енергетичних ресурсів.

– *використання енергії* – вузол сенсорній мережі залежить від енергетичних ресурсів, якими володіє під час комунікації чи обробки даних. Економне використання енергії є особливо важливе і має основний вплив на час життя вузла. У сенсорній мережі одиничний вузол грає роль одночасно відправника даних і маршрутизатора. Тому у випадку вичерпання енергетичних ресурсів настає зміна топології мережі, що може вимагати повторної маршрутизації пакетів і реорганізації мережі.

– *обчислювана потужність* – сенсорні вузли мають обмежену обчислювану потужність і тому в них не можна застосувати ускладнені протоколи маршрутизації.

– *межі* – комунікація між вузлами обмежена і тому складний шлях для передачі інформації є майже завжди є багатовузловим (*multihop*).

– *нечутливість до помилок* – деякі вузли можуть перестати діяти або стануть заблоковані (вичерпання енергії, знищення чи інтерференція). Вимикання певних вузлів не може мати впливу на дію мережі і не може припинити виконання завдання дорученого мережі. Тому протоколи маршрутизації і протоколи MAC мусять давати можливість створення нових з'єднань, щоб забезпечити передачу даних. Протоколи зобов'язані також своєчасно стежити за енергетичними ресурсами окремих вузлів і динамі-

чно перемикає існуючий шлях на шлях, що складаються з вузлів з великими енергетичними ресурсами.

– *масштабованість* – число сенсорних вузлів, діючих на визначеному просторі, може коливатися від сотень до тисяч або більше. Протоколи маршрутизації мусять забезпечити роботу мережі незалежно від густоти вузлів, величини мережі чи змін в топології.

– *середовище передачі* – в багатовузлових сенсорних мережах вузли підтримують зв'язок за допомогою безпроводного середовища. З цієї причини в трансмісійному каналі виявляються традиційні проблеми (зникнення сигналу, багатошляховість чи високий рівень помилок), що може мати значний вплив на дію мережі.

– *агрегація даних* – сенсорні вузли, діючи в одному застосуванні, генерують багато подібних даних, які можна агрегувати, а це призведе до зменшення числа трансмісії. Завдяки застосуванню спеціальних функцій агрегації даних чи відповідного перетворення сигналів, можна забезпечити значне збереження енергії в сенсорній мережі.

– *модель рапорту даних* – проведення вимірювань і передача даних в сенсорних мережах залежить від застосування. Можна виділити чотири способи рапорту даних: неперервне (*time-driven*), такі, що викликані настанням певного випадку (*event-driven*), викликані запитом (*query-driven*) або гібридні рапорти. Неперервна модель призначена для випадку моніторингового неперервного застосування: даний параметр, вимірюваний сенсором, за встановленим розкладом пересилається до головного вузла, причому, пересилаються лише потрібні дані. Це робиться тільки в ситуації, коли величина вимірюваного параметру значно змінилася. Рапорт за запитом ініціюється головним вузлом. Гібридна модель дозволяє об'єднати вказані вище моделі. Слід зазначити, що спосіб рапорту даних має дуже великий вплив на протоколи маршрутизації.

– *якість послуги в мережі (Quality of Service)* – в певних застосуваннях дані необхідно доставити за час, чітко визначений від моменту вимірювання, інакше вони стають непотрібні. Крім цього, в багатьох застосуваннях економія енергії, забезпечуюча продовження часу функціонування мережі, є важливішою, ніж якість даних. Часто застосовується практика, в якій якість даних падає разом з кількістю енергії у вузлах, щоб продовжити час життя мережі.

3. КЛАСИФІКАЦІЯ ПРОТОКОЛІВ МАРШРУТИЗАЦІЇ

Протоколи маршрутизації для сенсорних мереж можуть класифікуватися трьома способами: в залежності від способу створення трансмісійної шляху, в залежності від структури мережі і в залежності від ініціатора комунікації. Вказана класифікація протоколів представлена на рис. 1.



Рис. 1. Класифікація протоколів маршрутизації в сенсорних мережах

Поділ, враховуючий шлях

Шлях маршрутизації може складатись трьома способами: проактивно, реактивно або гібридно.

Проактивні протоколи маршрутизації призначають всі шляхи до їх використання, а надалі вони зберігаються в таблицях маршрутизації кожного сенсорного вузла. У випадку зміни шляху ця зміна мусить бути розповсюджена на всю мережу, що у випадку мереж, що складаються з великого числа вузлів, займає досить великий час, так само як управління величезною таблицею маршрутизації. Тому протоколи цього виду не відповідають вимогам великих мереж.

Протоколи реактивної маршрутизації перераховують шлях, лише коли потрібна трансмісія і весь процес проводиться динамічно.

Натомість гібридні протоколи маршрутизації використовують одночасно спосіб підрахування шляху з проактивних і реактивних протоколів. Можна сказати, що спочатку перераховують всі шляхи, а пізніше їх вдосконалюють під час вимоги трансмісії.

Поділ, враховуючий структуру мережі

Можна виділити три основні структури мережі: однорідну (*flat*), ієрархічну (*hierarchical*) а також безпосередню (*direct*) (рис. 2).

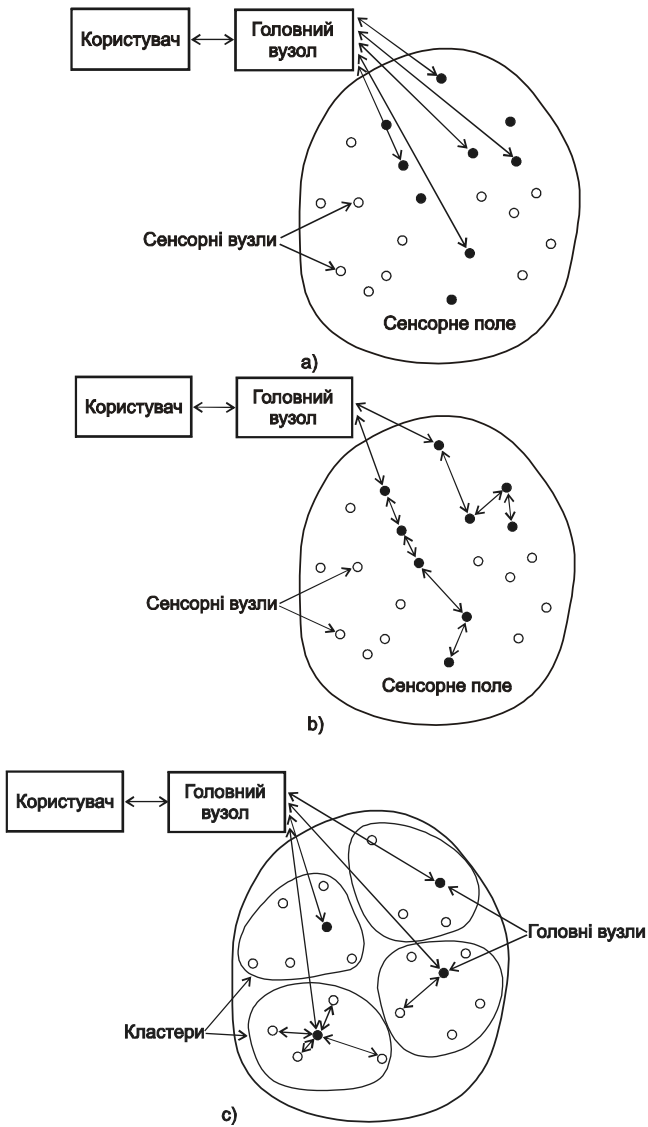


Рис. 2. Основні структури мережі:
 а) безпосередня,
 б) однорідна,
 в) ієрархічна

Комунікація в безпосередній структурі (рис.2а) непрактична і до-сить рідко застосовується в сенсорних мережах. В ній використовується безпосереднє з'єднання кожного сенсора з головним вузлом, що може бути нездійсненне, коли сенсор далеко віддалений від головного вузла.

У однорідній структурі мережі (рис.2b) протоколами маршрутизації всі вузли інтерпретуються однаковими і вони рівномірно беруть участь в процесі маршрутизації. Можна тільки відмітити, що чим ближче сенсор до головного вузла, тим частіше він бере участь в трансмісії, ніж сенсори, віддалені далі.

Ієрархічні протоколи (рис.2c) ділять мережу на кластери, що складаються з груп вузлів. Один з вузлів в кластері отримує статус головного, а інші вузли в мережі підтримують зв'язок усередині кластера тільки з ним. Лише головний вузол пересилає інформацію далі до головного вузла в мережі і лише він підтримує з ним зв'язок.

Поділ, враховуючий ініціатора комунікації

Комунікація в сенсорній мережі може ініціюватися джерелом даних, яким є сенсор або головним вузлом, який є адресатом даних для сенсорів. Протоколи маршрутизації, які ініціюються джерелом, пересилають дані до головного вузла тільки тоді коли є необхідні дані (напр. вимірювання фізичних явищ). Ці протоколи використовують неперервну (*time-driven*) або випадкову (*event-driven*) моделі рапорту даних.

Протоколи маршрутизації, що ініціюється головним вузлом, генерують запити (*query-driven*), які примушують сенсори відповідати. Недоліком таких протоколів є велика надлишковість даних в мережі, тому що вони передають запити до кожного вузла мережі шляхом запиту до всіх (*flooding*).

4. ВИСНОВКИ

Більшість протоколів маршрутизації безпроводних сенсорних мереж на найвищому рівні діляться на однорідні або ієрархічні. Аналіз показує, що більший час життя мережі забезпечують ієрархічні, наприклад, кластерні методи маршрутизації, ініційовані джерелом даних. Проте при проектуванні мереж слід враховувати велику складність і час організації даної топології, що може призвести до значної початкової витрати енергії вузлів. Окрім того, якщо вузли мають певну мобільність, то це приведе до зміни границь кластерів та додаткових витрат енергії.

1. Al-Karaki J. N., Kamal A.E.: „Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A survey”, *IEEE Wireless Communications*, 2004, vol. 11, no. 6, s. 6–28.
2. Тимченко О.В., Зеляновський М.Ю. Методи і протоколи обміну даними сенсорних мереж // *Зб. наук. пр. ПІМЕ НАН України*. – Вип.46. – К.: 2008. – С. 176-183.
3. Колодій Р.С., Тимченко О.В. Використання безпроводних технологій для потреб екстреної медицини // *Моделювання та інформаційні технології*. *Зб. наук. пр. ПІМЕ НАН України*. – Вип.53. – К.: 2009. – С. 181-185.
4. Колодій Р.С., Тимченко О.В. Методи побудови сенсорних мереж мобільного моніторингу ЕКГ // *Радіоелектроніка та телекомунікації. Вісник НУ “Львівська політехніка”*, №645. – Львів: 2009. – С.46-55.
5. Тимченко О., Зеляновський М. Принципи побудови бездротових сенсорних мереж для контролю виробничих умов // *Комп’ютерні технології друкарства*. *Зб. наук. пр.* – Вип. 24. – Львів: УАД. – 2010. –С.145-154.