

АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОРІДНИХ ПРОТОКОЛІВ МАРШРУТИЗАЦІЇ БЕЗДРОВОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

Розглядаються характеристики популярних «однорідних» протоколів маршрутизації безпроводних сенсорних мереж, в яких всі вузли інтерпретуються однаковими і рівномірно беруть участь в процесі маршрутизації. Аналізуються протоколи обміну даних та час функціонування мережі.

Ключові слова: сенсорні мережі, енергозбереження, комунікаційні протоколи.

Descriptions of popular «homogeneous» protocols of routing of off-wire sensory networks in which all of knots are interpreted identical and evenly take part in the process of routing are examined. Protocols of exchange of information and time of functioning of network are analysed.

Keywords: sensory networks, energy effective, communication protocols.

Вступ

Більшість протоколів маршрутизації безпроводних сенсорних мереж прийнято ділити на однорідні або ієрархічні. У однорідній структурі мережі (рис.1) протоколами маршрутизації всі вузли інтерпретуються однаковими і вони рівномірно беруть участь в процесі маршрутизації. Проте, чим ближче сенсор знаходиться до головного вузла, тим частіше він бере участь в трансмісії, що призводить до швидшого вичерпання його енергетичних ресурсів.

Метою роботи є аналіз популярних протоколів однорідної маршрутизації та їх можливості для забезпечення функціональності мережі та максимально можливого часу її дії.

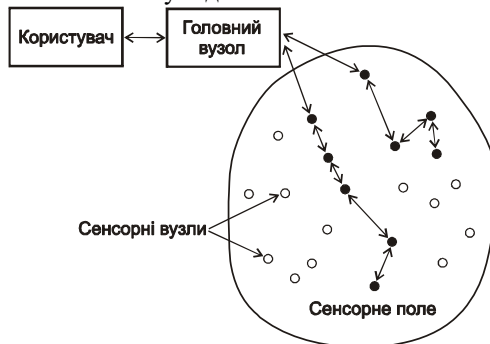


Рис.1. Принцип функціонування однорідних протоколів маршрутизації

¹⁾ Українська академія друкарства

²⁾ Національний університет „Львівська політехніка”

Характеристики однорідних протоколів маршрутизації

Протоколи *flooding* і *gossiping* [1] були двома першими протоколами, встановленими для сенсорних мереж. Функціонування протоколу *flooding* дуже просте і реалізується на так званому „залитті” або передачі кожної інформації до всіх своїх вузлів-сусідів. З часом виявилося, що протокол має дуже багато недоліків і практично не надається для застосування в сенсорних мережах. Головними вадами протоколу *flooding* є повторення інформації (*implosion*) і перекривання вузлів (*overlap*) у випадку, коли два вузли мають однакові дані і передають їх далі. Додатково слід відмітити, що протокол „сліпий” до існуючих ресурсів вузлів, що може викликати їх численні пошкодження. Тому застосування протоколу викликає надмірну витрату енергії і смуги мережі.

Протокол *gossiping* запобігає повторення інформації шляхом випадкового вибору вузлів (одного або групи) до яких повинна бути передана інформація, проте це рішення вводить додаткову затримку розповсюдження. *Flooding* і *gossiping* не були створені спеціально для сенсорних мереж і вирішення важливих для них енергетичних питань.

Протокол *SPIN* (*Sensor Protocol for Information via Negotiation*) це сенсорний протокол отримання інформації шляхом переговорів, який був першим протоколом маршрутизації, створеним спеціально для сенсорних мереж. Він відноситься до протоколів, що ініціюються джерелом, використовує однорідну структуру мережі з реактивною маршрутизацією (*source initiated, flat, reactive*). Базується на переговорах між вузлами під час поширення інформації (*negotiation-based*) і є особливо пристосованим для функціонування безпроводних сенсорних мереж. *SPIN* був створений на базі конвенційних протоколів поширення інформації, таких як *flooding*, шляхом аналізу їх слабких місць і переваг. Як раніше згадувалось, ці протоколи мають численні недоліки: повторення інформації, перекривання вузлів а також відсутність аналізу ресурсів вузла. У зв'язку з цим в протоколі *SPIN* були використані два механізми, які дозволяють їх подолати. Перший з них це переговори перед виконанням трансмісії (*negotiation*), що дозволяє пересилати тільки важливу і необхідну інформацію. Під час переговорів вузол, що володіє даними, розсилає інформацію, що описує їх суть (*meta-data*), а приймальний вузол може дати бажання їх прийому, чи навпаки – відкинути. Другим механізмом є менеджер ресурсів (*resource manager*), який використовується в кожному вузлі, аналізує енергетичні ресурси вузла і у випадку малої кількості енергії обмежує його активність.

Під час функціонування *SPIN* використовує три типи повідомлень для комунікації: поширення – *ADV*, запиту – *REQ* і дані – *DATA*. Повідомлення «поширення» інформує про інформацію, повідомлення «запит» заявляє дані для трансмісії, а повідомлення «дані» містить дані, які необхідно передати. Протокол починає діяти коли вузол отримує нові дані і хоче їх передати. Тоді вузол розсилає до всіх своїх сусідів повідомлення *ADV*, надаючи інформацію

про наявні для передачі дані. Якщо вузол-сусід зацікавлений цими даними, то відсилає повідомлення REQ, після якого вузол транслює дані – DATA. Надалі вузол-сусід повторює цей процес для своїх сусідів, поки кожен зацікавлений даними вузол не отримає інформацію. Функціонування протоколу SPIN представлено на рис.2.

Протокол SPIN не позбавлений недоліків. Його найбільшим недоліком є створення величезного числа повідомлень у випадку, коли дані вузла потрібні всім іншим вузлам мережі.

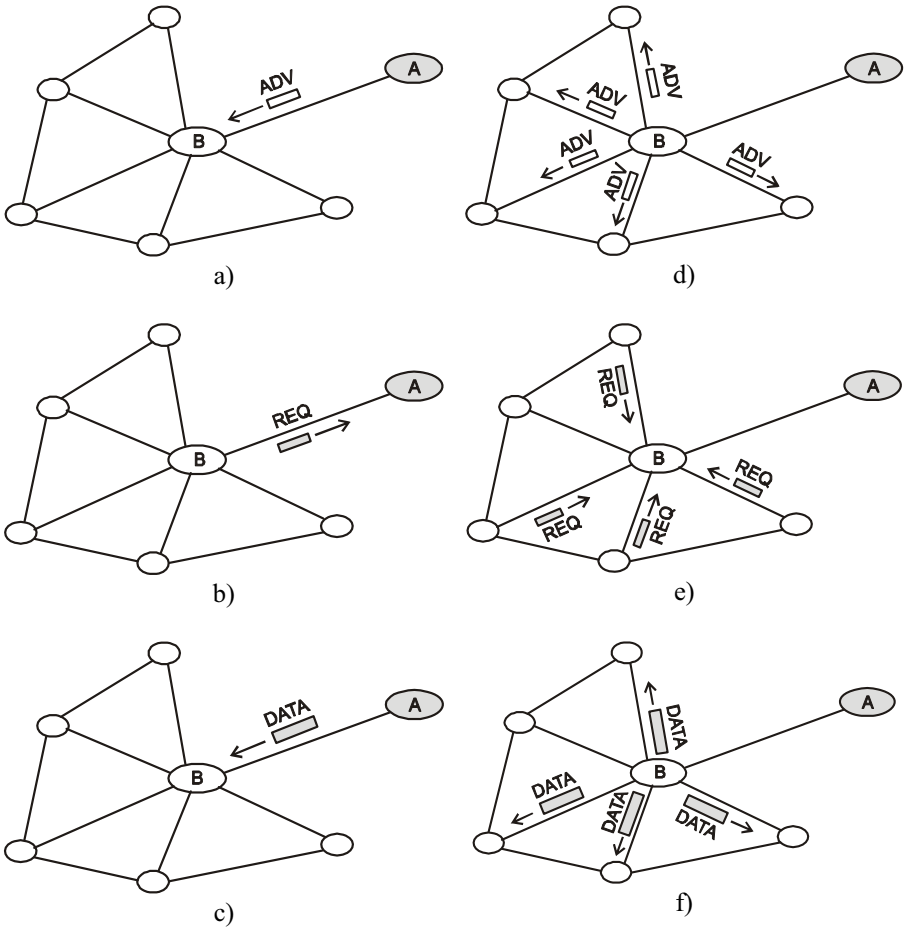


Рис.2. Протокол SPIN. Вузол А оголошує вміст своєї інформації вузлу В (а). Вузол В відповідає висилаючи згоду отримання інформації від вузла А (b). Після отримання інформації (c), вузол В опитує своїх сусідів (d), які відповідають згодою, то висилає до них дані (e, f)

Протокол використовує неперервну модель рапорту даних (*time-driven*) замість випадкової і функціонує завдяки пересиланням повідомлення поширення (ADV) навіть у випадку, коли немає нових даних в мережі. Іншою проблемою протоколу SPIN є те, що у випадку, коли вузли між ключовим вузлом і головним не попросять дані, то вони ніколи не дійдуть до головного вузла. На практиці протокол SPIN використовується тільки якщо мережа порівняно мала (до 100 вузлів).

Протокол Directed Diffusion [2] є напевно найбільш відомим протоколом маршрутизації в безпроводних сенсорних мережах, а багато інших протоколів базуються на ньому. Протокол відноситься до протоколів, що ініціюються метою, використовує однорідну структуру мережі для реактивної маршрутизації (*destination initiated, flat, reactive*). Він досить ефективно функціонує відносно енергії вузлів і є масштабованим. Додатково орієнтований на дані в такому сенсі, що всі дані, що генеруються сенсорними вузлами, описуються парою «атрибут-вартість». Це дозволяє проводити агрегування даних, а тому дозволяє енергетично ефективно їх пересилати. На відміну від традиційної маршрутизації, що спирається на адреси вузлів (*AC – adress centric*), не аналізує вміст пакетів. Directed Diffusion є протоколом з маршрутизацією даних (*DC – data-centric*), в якому запит направляється лише у визначений регіон мережі, а не в усю мережу. Завдяки такому рішенню може використовувати функцію агрегування даних і виключати повторення.

Протокол складається з декількох елементів: запиту, інформації яка описана за допомогою пари „атрибут-вартість”, градієнта – „вказівника”, показуючи звідки прийшов запит, а також алгоритму вибору шляху згідно з градієнтами (*reinforcement*). Повідомлення „запит” визначає, які дані споживач хоче отримувати. Звичайно в сенсорній мережі „відповідь” (дані) це виміряна або перетворена вузлом інформація під час дослідження чи контролю якогось явища.

Під час процесу розповсюдження запиту в кожному вузлі сенсорної мережі створюється градієнт, який визначає напрям до вузла, з якого прийшов запит. Надалі проводиться процес організації мережі разом зі встановленням багатьох шляхів від ключового до цільового вузла. Щоб не використовувати надмірно мережу і не вводити алгоритм покриваючого дерева, вибирається один шлях (максимально декілька) для трансляції даних. Весь процес показаний на рис.3 і базується на алгоритмі *reinforcement*.

У сенсорній мережі вузли виконують вимірювання і збирають інформацію про різні явища, зміни стану чи появу визначених об'єктів на даній території. Головний (запитуючий) вузол генерує запит. Він може бути переданий в мережі різними способами: шляхом розсіювання до всіх вузлів, на основі географічного положення вузлів (фільтрація розташування) чи іншим шляхом, що залежить від застосування. Фактично запит визначає, яке завдання повинно бути виконане мережею (рис.4).

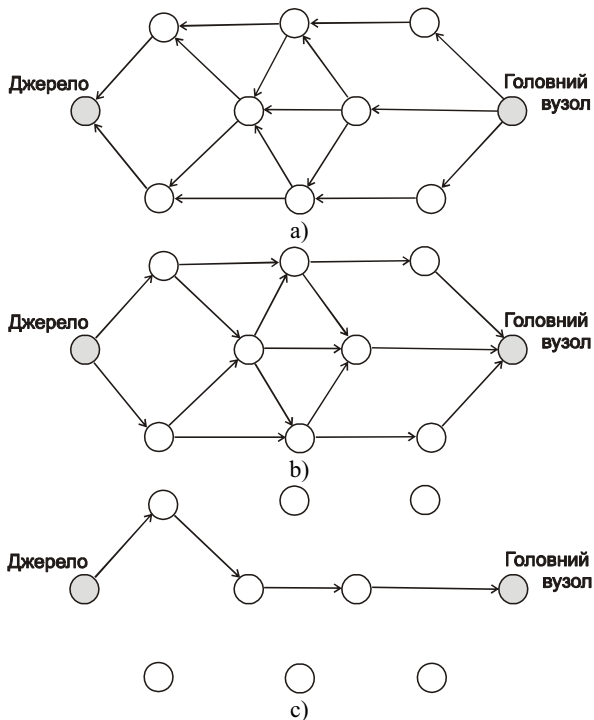


Рис.3. Функціонування протоколу Directed Diffusion: а) розповсюдження запиту б) співставлення градієнтів в) висилання даних згідно алгоритму *reinforcement*

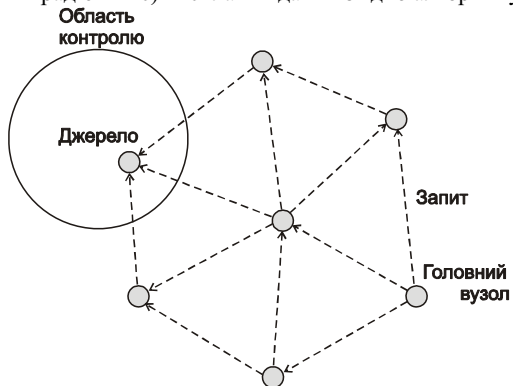


Рис.4. Розповсюдження запиту

Приклад запиту може виглядати наступним: кожні 20 ms в наступні 10 секунд пересилати головному вузлу позиції кожного транспортного засобу, який знаходиться в регіоні $[-100, 100, 200, 400]$ простору сенсорної мережі. Структура такого запиту подана на рис.5.

Typ = transport	// Знайти координати транспорту
FR = 20 ms	// Пересилати дані кожні 20 мс
Time = 10 s	// Час виконання завдання 10 с
Region [-100, 100, 200, 400]	// Від сенсорів в заданій області

Рис.5. Приклад запиту

Коли вузол сенсорної мережі отримує запит, він перевіряє його вміст і визначає чи має дані, що вимагаються, або чи в стані виконати завдання із запиту. Якщо ні, пересилає запит далі згідно з правилом розсіювання. У іншому випадку вузол перетворює запит, використовуючи пам'ять, спеціалізовану для запитів (*interest cache*). Вузол виконує запис в цю пам'ять, перевіряючи при цьому, чи немає в ній вже подібного запису. У випадку його наявності обидва записи стануть загреговані, завдяки чому мережа діятиме більше ефективно.

Під час перетворення запиту вузлами в кожному з них встановлюються градієнти, щоб дані, які виконують запит, могли переслатися до запитуючого вузла (*sink*). Кожен сенсор, який отримає запит, встановлює градієнт в сторону вузла, з якого отримав запит. Причому градієнт, встановлюваний від вузла А до вузла В, складається з двох величин <швидкості трансмісії – відповідає полю *Інтервал(FR)* із запиту, напрям – канал до вузла В>. Цей процес продовжується до того часу, поки градієнти не будуть встановлені на всіх вузлах від ключових до запитуючого – рис.6.

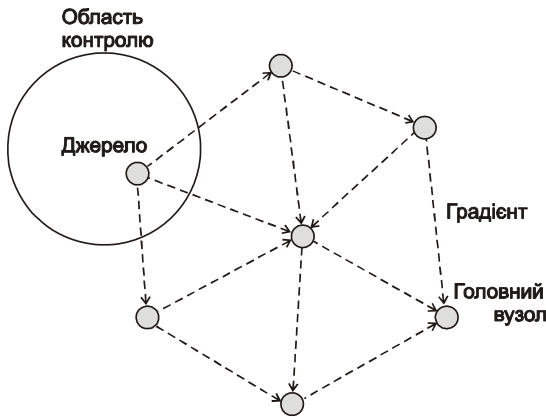


Рис. 7. Встановлення градієнтів

Якщо вузол хоче відповісти, що має інформацію, яка відповідає запиту, то генерує в сторону запитуючого (*sink*) вузла повідомлення, використовуючи для цього величину градієнту до сусідів. Відповідь, наприклад, поданого раніше запиту, може виглядати, як на рис. 7.

Typ = transport	// Тип знайденого об'єкту
Localization = [125, 220]	// Місце виявлення
Intense = 0..6	// Амплітуда виміряного сигналу
Probability = 0.85	// Ймовірність знаходження
Time Localization = 01:20:40	// Час генерації результату

Рис.7. Відповідь на запит з рис. 5

Вузол, що є посередником в трансмісії, отримує вислані дані і перетворює їх. Спочатку перевіряє пам'ять, перевіряючи запис про запит. Якщо не знайде запису, що відповідає отриманим даним, ці дані усуваються. Якщо відповідний запис є, вузол перевіряє пам'ять, пов'язану з даними (*data cache*), яка чітко зв'язана з пам'яттю запитів і містить шляхи переданих за останній час даних. Якщо в пам'яті з даними є запис, який відповідає перетворюваним даним, ці дані усуваються. У іншому випадку робиться запис в пам'яті даних і дані пересилаються до сусідів, де процедура повторюється. Потрібно відмітити, що записи в пам'яті даних є одним з механізмів, забезпечуючи відсутність виникнення петель в мережі. Остаточно дані досягають запитуючий вузол – рис. 8.

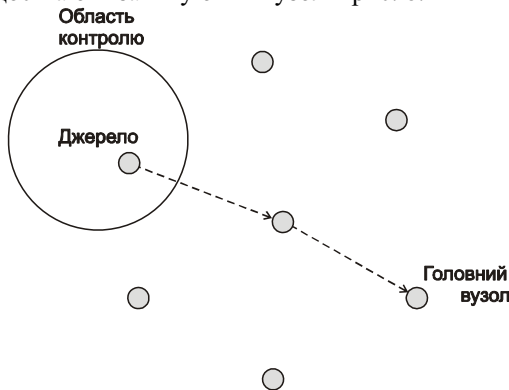


Рис.8. Дані, передані до головного вузла

Запитуючий вузол, отримуючи перші дані, що виконують запит, розпочинає формування оптимальної шляху між ним і ключовим вузлом. Тому при отриманні перших даних трансмісії встановлюються так звані вступні градієнти і дані проходять через мережу із дещо зменшеною швидкістю, оскільки шлях проходження є не найшвидшим, а тим більше не оптимальним енергетично. Крім того, дані можуть доходити до запитуючого вузла багатьма шляхами. Щоб радикально прискорити трансмісію даних і швидкість їх генерації, запитуючий вузол пересилає новий запит із збільшеним параметром швидкості генерації даних, що вимагає також швидшої трансмісії.

При реалізації слід звертати увагу на недоліки і переваги протоколу. До головних переваг Directed Diffusion слід віднести:

- агрегацію даних, яка значно зменшує споживання енергії;
- алгоритм, що вибирає найкращий з можливих шляхів;
- мале число ретрансляцій під час передачі запиту.
Як головні недоліки без сумніву слід оцінити:
- фазу складання градієнтів, яка енергетично дуже втрата;
- великі вимоги до пам'яті вузлів – кожен вузол записує всі запити, які отримав;
- відсутність енергетичної орієнтації – найкращий шлях від джерела до головного вузла може використовуватись занадто часто.

Протокол Rumor Routing [1] отриманий з протоколу Directed Diffusion, є протоколом, що ініціюється метою, використовує однорідну структуру мережі з гібридною маршрутизацією (*destination initiated, flat, hybrid*). Завданням протоколу є передача шляхом „залиття” (*flooding*) змін параметрів, а не запитів, що мало місце в Directed Diffusion. Головна ідея цього рішення – запити можуть бути маршрутизовані тільки до вузлів, які спостерігають записані в запиті параметри, а не до всіх вузлів в мережі. Щоб передавати зміни параметрів Rumor Routing використовує пакети, які містять спеціальне поле TTL (*time to live*), і називаються агентами. Якщо вузол вимірює певний параметр, він додає його до своєї таблиці вимірних параметрів і транслює агента з полем TTL. Агент містить таблицю з відміченими параметрами вузла. Під час своєї подорожі через мережу всі вузли, отримуючі агента, активують свою таблицю параметрів. Якщо агент відмітить інший параметр, то активується своя таблиці параметрів і передається нове значення параметру разом з оригінальним. У процесі наступного вибирання вузла, до якого агент буде транслюваний, агент використовує списки вузлів, які вже відвідав. Коли прибуває до нового вузла, вибирає сусіда цього вузла, який не знаходиться в списку. Додатково під час прибуття до нового вузла декрементується поле TTL. Якщо воно стає 0, то агент знищується. Під час висилання запиту від головного вузла (*sink*) агент випадково пересилається до наступних вузлів, поки не буде знайдено шлях до вимірювача параметру, що вимагається.

Rumor Routing призначений для мереж з невеликим числом параметрів, але великим числом запитів. У протилежному випадку він вважається неефективний енергетично. Це пов'язано з величиною пакету агента, який може стати дуже великим з завдяки вмісту таблиці параметрів і списку відвіданих вузлів. Таблиця і список можуть дуже вирости за короткий часі. Іншим недоліком протоколу є те, що агент створює тільки один шлях і у випадку багатьох запитів до цього вимірювача вузли вздовж шляху можуть дуже швидко вичерпати свої енергетичні запаси.

Протокол MCFA (Minimum Cost Forwarding Algorithm) [3] базується на тому, що напрям маршрутизації завжди відомий. Класифікуючи його властивості можна сказати, що він ініціюється джерелом, використовує

однорідну структуру мережі з проактивною маршрутизацією (*source initiated, flat, proactive*). Мережеві вузли не володіють спеціальними ідентифікаторами (*ID*) і замість управляти таблицею маршрутизації підраховують якнайменші витрати на передачу даних від них до головного вузла. Головний вузол встановлює свої мінімальні витрати нульовим, а всі інші вузли в мережі встановлюють свої початкові витрати на нескінченність. Далі головний вузол поширює інформацію зі своїми витратами шляху. Вузол, відбираючий інформацію, змінює вартість шляху до головного вузла, якщо витрати в прийнятій інформації плюс витрати шляху менші від встановлених. Вартістю шляху може бути число вузлів, затримка або інша метрика. Якщо нові витрати менші, то вузол розсилає інформацію, а в протилежному разі її знищує. Таким чином встановлюються мінімальні витрати в кожному вузлі мережі.

Якщо вузол має намір вислати повідомлення, то робить запит про це до всіх своїх сусідів. Вузол, який приймає повідомлення, перевіряє чи знаходиться він на шляху найменшої вартості до головного вузла. Якщо це так, розсилає повідомлення до всіх своїх вузлів-сусідів. Ці дії повторюються до того часу, поки повідомлення не досягне головного вузла.

Великою проблемою алгоритму MCFA є те, що вздовж визначеного шляху може наступити надмірне використання енергії, якщо в метриці витрат немає періоду активності. Інша проблема алгоритму може наступити у випадку, якщо витрати будуть визначені числом вузлів або якщо вузли будуть розміщені послідовно і витрати енергії означатиме витрати метрики. Тоді багато вузлів будуть трактувати себе як вузол з мінімальною вартістю шляху і протокол стане протоколом *flooding*.

Протокол Energy Aware Routing [4] ініціюється метою, використовує однорідну структуру мережі з проактивною маршрутизацією (*destination initiated, flat, proactive*). Крім того, дуже подібний на представлений вище протокол Directed Diffusion, хоча кожен вузол керує багатьма шляхами замість однієї. Шляхи вибираються між джерелом і метою і кожному шляху приписується імовірність, яка залежить від енергетичної метрики. З кожним випадком пересилання даних один з шляхів вибирається випадково в залежності від імовірності.

Протокол складається з трьох фаз: співставлення, пересилання даних і управління шляхами. Під час першої фази, що виконується за допомогою протоколу локалізованого «розпливання» (*localized flooding*), будуються таблиці маршрутизації для кожного вузла. Під час другої фази дані пересилається з джерела до мети. Остання фаза, це фаза управління шляхами, під час якої також використовується протокол локалізованого «розпливання» (*localized flooding*).

Головний недолік цього протоколу - в основі його функціонування. Приймається, що всі вузли локалізовані і запити пересилаються тільки до вузлів, які ближчі до джерела, а пізніше далі від мети в напрямі джерела. Іншим недоліком є вимога наявності у вузлах двох передавачів. Слід

зазначити, що фаза формування топології дуже ускладнена, враховуючи вимоги адресації вузлів, беручи до уваги їх локалізацію і тип вузлів.

Протокол *Random Walks* [5] це багатошляховий протокол маршрутизації, який забезпечує керування трафіку. Протокол ініціюється метою, використовує однорідну структуру мережі з і проводить реактивну маршрутизацію (*destination initialized, flat, reactive*). Як визначили автори протоколу, він призначений спеціально для великих мереж із статичними вузлами, що локалізуються в пунктах перетину сітки на площині. Кожен вузол в мережі має унікальний ідентифікатор ID. Для знаходження оптимальної шляху використовується версія алгоритму Беллмана-Форда. Проміжні вузли завжди вибирають сусіда, який є найближчий до мети, використовуючи їх з певною імовірністю. Напрямок трафіку вибирається, керуючись цією імовірністю.

Головною проблемою протоколу є вимога до відповідної форми топології мережі, яка в багатьох випадках дуже непрактична.

Протокол *MECN (Minimum Energy Communication Network)* [6], [7] є протоколом маршрутизації, що базується на локалізації вузлів і старається досягти енергетичної ефективності шляхом мінімізації споживання енергії під час трансмісії. Класифікується як протокол, що ініціюється джерелом, використовує однорідну структуру мережі з реактивною маршрутизацією (*source initiated, flat, reactive*). Під час функціонування протоколу для кожного вузла створюється трансмісійний регіон. Він складається з вузлів, через які вибраний вузол може транслювати дані в напрямі до головного вузла, забезпечуючи максимальне збереження енергії. Потужність передавача, необхідна для досягнення вузла на відстані d в кожній безпровідній радіосистемі, пропорційна величині d^α , де α – коефіцієнт втрат, що приймається в межах ($2 \leq \alpha \leq 4$). Враховуючи це, протокол вибирає шлях від джерела до головного вузла, який має більше проміжних вузлів з меншою трансмісійною відстанню. Додатково врахована різна величина потужності передавача в кожному вузлі. Протокол також приймає, що кожен вузол в мережі є в межах трансмісії всіх вузлів мережі. Вузли мережі локалізуються за допомогою приймачів GPS. Вимога наявності приймача GPS призводить до значного споживання енергії в кожному вузлі, а вимога бути в зоні досяжності всіх вузлів приводить до того, що протокол є мало придатний для сенсорних мереж.

Висновки

Аналіз показує, що головними *перевагами* однорідних протоколів маршрутизації є [8]:

- масштабованість – завдяки однорідній структурі мережі кожен вузол приймає однакову участь в процесі маршрутизації;
- простота – завдяки однорідній структурі мережі протоколи маршрутизації нескладні, з невеликими додатковими витратами і без

використання ускладнених алгоритмів ієрархії вузлів.

До **недоліків** слід віднести:

- нерівномірне використання вузлів – під час однорідної локалізації вузлів мережі вузли, що оточують головний вузол, більше використовуються енергетично і швидше вичерпують свої ресурси, тому що весь трафік в мережі передається через них.

1. *Braginsky D., Estron D. „Rumor Routing Algorithm For Sensor Networks”, Proceedings of the first Workshop on Sensor Networks and Applications, Atlanta, USA, 2002, p. 22-31.*
2. *Intanagonwiwat C., Govindan R., Estron D. „Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks,” Proceedings of the 6th International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom), Boston, USA, 2000, p. 56-67.*
3. *Ilyas M., Mahgoub I. „Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems”, CRC Press, New York, 2005.*
4. *Shah R. C., Rabaey J. „Energy Aware Routing for Low Energy Ad Hoc Sensor Networks”, Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Orlando, USA, 2002, p. 350-355.*
5. *Al-Karaki J. N., Kamal A.E. „Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A survey”, IEEE Wireless Communications, 2004, vol. 11, no. 6, p. 6-28.*
6. *Leuschner C. J. „The design of a simple energy efficient routing protocol to improve wireless sensor network lifetime”, University of Pretoria, 2005.*
7. *Heinzelman W., Chandrakasan A., Balakrishnan H. „Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks”, Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences, Hawaii, USA, 2000, p. 1-10.*
8. *Тимченко О.В., Зеляновський М.Ю. Методи і протоколи обміну даними сенсорних мереж // Зб. наук. пр. ІПМЕ НАН України. – Вип.46. – К.: 2008. – С. 176-183.*

Поступила 20.09.2010р.

УДК 621.3

Л.С. Сікора, д.т.н., НУ «ЛП», А. Квас, студент, НУ «ЛП»

КОГНІТИВНІ МОДЕЛІ СПРИЙНЯТТЯ ЗМІСТУ ДОКУМЕНТАЦІЇ ПРИ ІНШОМОВНИХ ТРАНСЛЯЦІЯХ НА ОСНОВІ ЛОГІКО- ЛІНГВІСТИЧНИХ СТРУКТУР ІЗ ЗАДАНИМ ЗМІСТОМ

Анотація. Розглянута когнітивна модель сприйняття змісту документації як засіб підвищення ефективності різномовного діалогу.

Аннотация. Рассмотрена когнитивная модель восприятия содержания документации как способ повышения эффективности разноязычного диалога.

Abstract. Cognitive model of content perception of documentation as the way to improve an efficiency of multilingual dialog is studied.