

УДК 621.391:006

Позняк В. О.

## ВИКОРИСТАННЯ КОМБІНОВАНОГО АЛГОРИТМУ МАРШРУТИЗАЦІЇ ДЛЯ МЕРЕЖІ AD HOC

**Позняк В. О. Використання комбінованого алгоритму маршрутизації для мережі Ad hoc.** На основі протоколів маршрутизації AODV і OLSR запропонований комбінований алгоритм маршрутизації для мережі Ad hoc. Розглянуті питання ефективної взаємодії цих протоколів з урахуванням властивостей мережі, виду трафіку, а також мобільності хостів.

**Ключові слова:** СЕТЬ AD HOC, МАРШРУТИЗАЦІЯ, ПРОТОКОЛ AODV, ПРОТОКОЛ OLSR, МОБІЛЬНИЙ ХОСТ

**Позняк В. О., Использование комбинированного алгоритма маршрутизации для сети Ad hoc.** На основе протоколов маршрутизации AODV и OLSR предложен комбинированный алгоритм маршрутизации для сети Ad hoc. Рассмотрены вопросы эффективного взаимодействия этих протоколов с учетом свойств сети, вида трафика, а также мобильности хостов

**Ключевые слова:** СЕТЬ AD HOC, МАРШРУТИЗАЦИЯ, ПРОТОКОЛ AODV, ПРОТОКОЛ OLSR, МОБІЛЬНИЙ ХОСТ

**Pozniak V. O. Using a combined routing algorithm for Ad hoc network.** On the basis of AODV and OLSR routing protocols a combined routing algorithm for Ad hoc network is proposed. Issues are considered of effective protocol interoperability taking network features, traffic type and host mobility into account.

**Key words:** AD HOC NETWORK, ROUTING, AODV PROTOCOL, OLSR PROTOCOL, MOBILE HOST

**Постановка задачі.** Мережа Ad hoc має бути здатна до самоорганізації і самоналагоджування. Мобільні вузли мають обмежений діапазон і відсилають повідомлення іншим вузлам, що не належать діапазону передачі відправного вузла. Ці повідомлення повинні бути направлені через мережу, використовуючи інші вузли в якості маршрутизаторів для їх доставки через мережу. Ефективність протоколів маршрутизації визначається такими вимогами: *розподілені операції; відсутність петель; запит операцій; проактивні операції; безпека; період “сну” операції; підтримка зв’язку в багатьох напрямках.*

Розподілені операції означають, що будь-який вузол може зайти або покинути мережу, коли забажає. Свобода від петель – це запобігання посилки інформації, що створює втрати. Операції, засновані на запиті надають змогу протоколу адаптувати схему руху до його зниження і використовувати більш ефективно ресурси пропускну здатності, але це все призводить до росту затримки пошуку маршруту. Проактивні операції протилежні до операцій по запиту. Вони можуть бути використані, коли операції по запиту непридатні або є достатньо пропускну здатності та ресурсів енергії для проактивних операцій. Безпека розглядається з погляду на уразливість сучасних комунікаційних та мобільних приладів до шпигування при трансляції. Головна ідея періоду “сну” є зменшення енергії, що використовується вузлами. Протоколи мають використовувати цей період без будь-яких наслідків [1, 2]. В мережах Ad hoc широке використання знайшли Ad hoc протоколи маршрутизації Ad hoc On-Demand Distance Vector (надалі AODV) та Optimized Link-State Routing (надалі OLSR), кожен із яких має свої особливості, переваги і недоліки. На основі аналізу механізмів роботи цих протоколів та їх ефективності пропонується комбінований протокол маршрутизації для мережі Ad hoc. Розглянемо ці протоколи.

**Протокол AODV.** Протокол AODV є реактивним протоколом, тобто маршрути складаються й підтримуються тільки тоді, коли вони потрібні. Таблиця маршрутизації містить інформацію про наступний стрибок до призначення та порядковий номер, що отримується від призначення, і індикатор свіжості отриманої інформації.

Вибір маршруту здійснюється розсилкою повідомлень Route Request (надалі RREQ) сусідам з потрібним порядковим номером, що запобігає використанню старої інформації і проблемі петлі, що є природною для традиційних протоколів вектору відстані. Кожен пройдений вузол оновлює свою таблицю маршрутизації відповідно до вузлу запиту. Вузли

оновлюють і записують нову інформацію тільки тоді, коли порядковий номер більший чи такий самий, і розмір стрибка менший [3]. Коли спостерігається розрив маршруту, вузол посилає повідомлення Route Error (надалі RERR) до сусідів. Для підтримки маршрутної інформації періодично посилаються HELLO-повідомлення.

Протокол AODV не потребує центральної адміністративної системи для управління процесом маршрутизації. Він, як правило зменшує рух контрольних повідомлень та витрати на рахунок зростаючої латентності в заходженні нових маршрутів [2]. Також, він намагається зберігати невелику надмірність повідомлень. Надмірність буде мінімальною, якщо вузол має маршрутну інформацію в таблиці маршрутизації про активні маршрути в мережі. RREQ та RREP повідомлення, що відповідають за знаходження маршруту, не значно збільшують надмірність цих контрольних повідомлень. Протокол AODV реагує швидко відносно змін топології в мережі і оновлює тільки вузли, що можуть бути постраждати від змін, використовуючи RERR повідомлення. HELLO-повідомлення, що відповідають за утримання маршруту, також лімітовані, тобто теж не спричиняють непотрібну надмірність в мережі. Протокол вільний від петель, в ньому використовуються порядкові номери, що дозволяє уникнути багатьох проблем [1, 3].

**Протокол OLSR.** OLSR є проактивним протоколом, тобто маршрути завжди доступні, коли вони потрібні. Топологічні зміни спричиняють розсилку топологічної інформації всім доступним вузлам у мережі. Для зменшення надмірності в мережі, протокол використовує процедуру Multipoint Relays (надалі MPR). Ідея MPR має корінь в зменшенні багатократних розсилок в певних регіонах мережі. Інший спосіб зменшення надмірності – це забезпечення найкоротшого шляху. Зменшення інтервалу часу для контрольних повідомлень передачі може забезпечити більшу реактивність топологічних змін [1, 4, 5].

Протокол OLSR використовує два типи контрольних повідомлень: HELLO та Topology Control (надалі TC). HELLO-повідомлення використовуються для знаходження інформації про статус зв'язку та сусідні вузли. За допомогою HELLO-повідомлень складається набір Multipoint Relays Selector (надалі MPR Selector), що описує сусідів, що були обрані цим вузлом для MPR і, використовуючи цю інформацію, вузол може обчислити його власний набір MPRs. HELLO-повідомлення посилаються тільки сусіду одного стрибку, а TC розсилаються по всій мережі. TC-повідомлення використовуються для розсилки інформації про сусідів, що містяться в списку MPR Selector. TC-повідомлення розсилаються періодично, і тільки MPR вузли можуть пересилати їх [1, 5].

Також існують Multiple Interface Declaration (надалі MID) повідомлення, що використовуються для інформування інших вузлів про те, що анонсований вузол може мати помножену адресу інтерфейсу OLSR. MID-повідомлення розсилаються по всій мережі тільки MPRs. Також існують Host and Network Association (надалі HNA) повідомлення, що забезпечують зовнішню інформацію маршрутизації, даючи можливість для маршрутизації зовнішнім адресам. HNA-повідомлення забезпечують інформацію про адреси мережі і маски, тому вузол може розглядати оголошений вузол як шлюз для оголошеного набору адрес [6].

Даний протокол не потребує центральної адміністративної системи для керування процесом маршрутизації. Кожен вузол посилає оновлену інформацію топології по всій мережі, що збільшує використання пропускну здатності. Але розсилка мінімізується MPRs.

Реактивність топологічних змін може бути регульована зміною часового інтервалу розсилки HELLO-повідомлень. Це збільшує придатність протоколу для мереж Ad hoc зі швидкими змінами джерела та пар призначення. Також протокол OLSR не вимагає надійності зв'язку для контрольних повідомлень, через те, що повідомлення відсилаються періодично і доставка не повинна бути послідовною.

Протокол OLSR легко інтегрувати в існуючі операційні системи без зміни формату заголовку IP повідомлень. Протокол взаємодіє тільки з маршрутною таблицею вузла [7].

Цей протокол надає можливість маршрутизації зовнішніх адрес, що дає можливість мати вузли в мережі Ad hoc, що можуть діяти як шлюзи для іншої можливої мережі.

**Порівняння протоколів.** Протокол OLSR зменшує надмірність використанням MPR для поширення оновлень статусу зв'язку. Недоліком цього є те, що вони мають містити таблиці маршрутизації для всіх можливих маршрутів, що не має значення в маленьких мережах, але коли зростає кількість мобільних вузлів, зростає і надмірність від посилення контрольних повідомлень. Це обмежує масштабність протоколу OLSR. Він працює найбільш ефективно в щільних мережах. Надмірність протоколу AODV пов'язана зі знаходженням нового маршруту та оновленням маршрутів. Тобто в мережах з легким рухом та низькою мобільністю цей протокол відмінно працює. Небажаним середовищем для цього протоколу є мережа з великим рухом з великою кількістю призначень з високою мобільністю. Ця ситуація призводить до того, що велика кількість маршрутів обірве результативні знаходження маршрутів та звіти про помилки в мережі.

Можемо зробити висновок, що проактивний протокол OLSR забезпечує вищу маршрутну ефективність, ніж реактивний протокол AODV в мережі з розсіяним рухом. Тому що оновлення є періодичними і ніяких додаткових надмірностей не відбувається для знаходження нових маршрутів, але проактивний протокол використовує більшу пропускну здатність та ресурси, ніж реактивний протокол. Таким чином проактивний протокол не може бути використаний при критичних рішеннях. Протокол AODV потребує дослідження маршруту у відповідності до висланої інформації, тобто пошук латентності впливає на протокол AODV, OLSR не потребує робити велику роботу по пошуку маршруту, що забезпечує низьку латентність розсилки одиничного пакету. Недоліком OLSR є те, що він використовує сталу пропускну здатність, а AODV намагається тримати використання пропускну здатності низькою для підтримання маршруту [1].

Однією з найбільших переваг OLSR є те, що він негайно знає статус зв'язку і його здатність розширити якість сервісу інформації, тобто вузол знає якість маршруту, що взагалі не можливо в протоколі AODV через його реактивність. Але це призводить до додаткової латентності та надмірності [1, 7].

Протокол AODV працює найкраще з незначними перевагами в загальній пропускну здатності і нижчій загальній затримки за пакет. OLSR показує хороші результати з вузлами, що постійно змінюються, тобто структура мережі постійно змінюється. AODV протокол може витримувати великі надмірності при встановленні маршрутів в мережі з високою мобільністю і ретрансляцією пакетів в бідному комунікаційному середовищі. У випадку OLSR надмірність є незалежною від профілів руху, тобто він має фіксовану верхню межу для надмірності в мережі незалежно від руху. Таким чином AODV працює краще в мережах з статичним рухом, а OLSR має переваги в мережах з високою мобільністю і високим рухом. Але їх масштабність лімітована з ростом розміру мережі. У випадку протоколу AODV велика розсилка пакетів відбувається для пошуку маршруту. У випадку протоколу OLSR розмір таблиці маршрутизації зростає нелінійно і контрольні повідомлення можуть заблокувати актуальні пакети даних.

Складність зберігання протоколу OLSR пов'язана з тим, скільки вузлів в мережі, а протоколу AODV – з кількістю комунікаційних пар. Це пояснюється тим, що OLSR повинний мати всі можливі маршрути в таблиці маршрутизації, в той час як для AODV необхідні активні маршрути. Також OLSR має тримати інформацію про топологію в топологічному наборі, інформацію MPR в наборі MPR Selector, а також оновлювати інформацію про зв'язки та сусідів. Таким чином OLSR має містити інформацію про вузли, які є непотрібними.

Функція періодичної ремонтпридатності маршрутів споживає багато ресурсів. В AODV це виконується періодичними HELLO-повідомленнями, а в OLSR – TC-повідомленнями.

Протокол AODV намагається мінімізувати рух розгляданням тільки тих вузлів, що беруть участь у комунікації до періодичних HELLO-повідомлень з лімітом стрибків один, а OLSR – дозволом розсилки інформації в мережі тільки MPR. OLSR також використовує HELLO-повідомлення для підтримання статусу сусіда. Але в AODV HELLO-повідомлення лімітовані і розмір контрольних повідомлень менший, ніж у OLSR, отже використовується менша пропускна здатність для обслуговування маршруту.

Таким чином OLSR використовує більшу кількість ресурсів, ніж AODV в тих випадках, коли середовище відповідає протоколу.

**Комбінований алгоритм маршрутизації.** Комбінований алгоритм маршрутизації дозволяє об'єднати переваги протоколів AODV та OLSR, забезпечивши поліпшення транспортних характеристик мережі. Підставою для цього служить той факт, що в різні моменти часу динамічна мережа може мати різні властивості, і перевагами буде володіти то один, то інший підхід. Неоднорідність може носити не тільки тимчасовий, але й просторовий характер, коли певна частина мережі є статичною, а інша частина постійно змінюється.

Саме тому, ефективним є перемикання роботи протоколу з одного режиму в інший. Комбінований алгоритм повинен складатися з двох частин і визначати правила їхньої активації. В якості початкового режиму роботи використовується проактивний протокол OLSR. Причинами для цього є те, що OLSR негайно знає статус зв'язку і його здатність розширити якість сервісу інформації, тобто вузол знає якість маршруту, він не потребує робити велику роботу по пошуку маршруту, що забезпечує низьку латентність розсилки одиничного пакету, він має високу пропускну здатність та відношення доставки пакетів.

Але проактивний протокол не може бути використаний при критичних рішеннях, він не дає можливості оперативно реагувати на ситуації "обриву", тобто критичної зміни топології, при якому цільовий або проміжний вузол повністю змінив своє розташування. Саме в такому випадку, коли з якої-небудь причини маршрут, складений на основі статичних таблиць, непрацездатний, починає діяти реактивний протокол AODV. Запускає його в дію вузол, що виявив "обрив". Він посилає відправникові службове повідомлення "невірний маршрут", що змушує всіх учасників даного маршруту видалити неробочий запис зі своїх таблиць. Потім відправник починає пошук нового маршруту відповідно до принципів реактивного підходу.

Це має високу ефективність через те, що протокол AODV швидше знайде маршрут саме в таких критичних ситуаціях, ніж протокол OLSR. Це пояснюється тим, що протокол AODV використовує для знаходження маршруту набагато менше ресурсів, адже він намагається тримати використання пропускну здатності низькою для підтримання маршруту. Також протокол AODV має вищу стійкість до затримок.

**Графічні залежності.** На рис.1 показані порівняльні графіки пропускну здатності комбінованого та OLSR, AODV протоколів

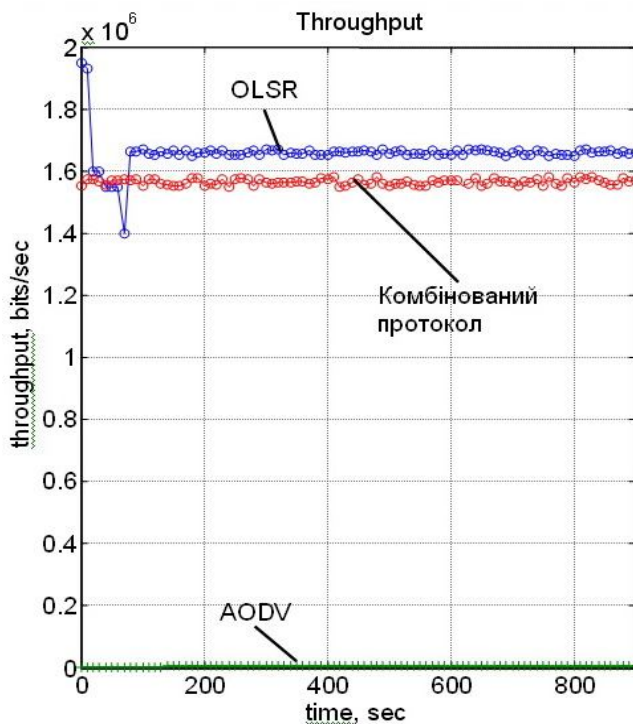


Рис.1. Пропускна здатність комбінованого та OLSR, AODV протоколів маршрутизації

маршрутизації. Як видно з графіку, протокол OLSR має вищу пропускну здатність, ніж AODV (тобто більшу кількість маршрутних пакетів, що були отримані успішно). Комбінований алгоритм має сталу пропускну здатність протягом всього часу симуляції.

На рис. 2 показані графіки затримок передачі пакетів між кінцевими вузлами з'єднання. Протокол OLSR має нижчу стійкість до затримок, що складає 0,0004 секунди, в той час, як для протоколу AODV – 0,0015 секунди [8]. Комбінований алгоритм має найвищу стійкість до затримок.

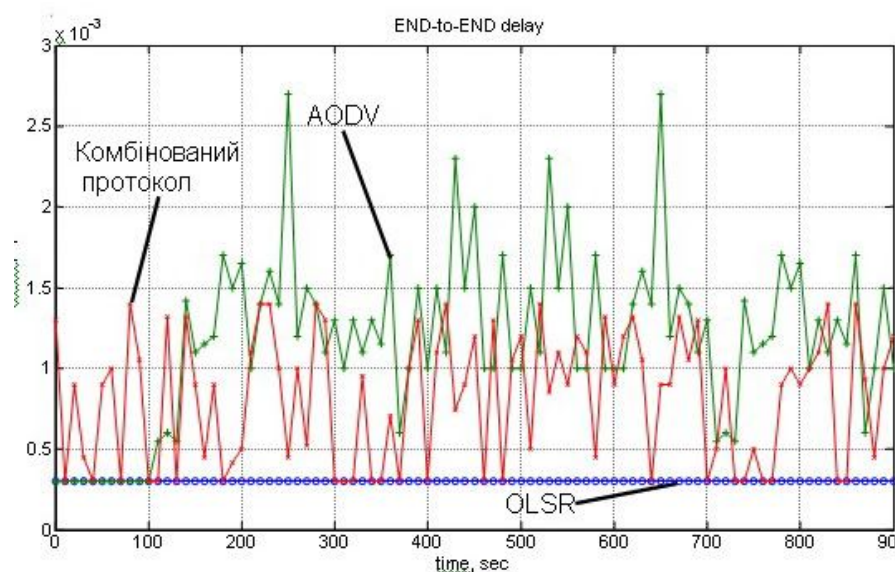


Рис.2. Затримка з кінця в кінець протоколів OLSR, AODV та комбінованого протоколу

**Висновки.** Запропонований комбінований алгоритм маршрутизації використовує декілька переваг протоколу маршрутизації OLSR, а саме: наявність інформації про статус зв'язку, швидкий пошук маршруту, висока пропускну здатність

Переваги протоколу AODV: швидке знаходження маршруту в критичних ситуаціях, підтримка низького використання пропускну здатності, висока стійкість до затримок.

Особливо високу ефективність комбінований протокол маршрутизації проявляє в мережах з великою кількістю вузлів та високою мобільністю. Саме в таких мережах його і слід використовувати.

### Література

1. Xiaoyan Hong, Kaixin Xu and Mario Gerla "Scalable Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks." Computer Science Department, University of California, Los Angeles, August 2002.
2. P. Jacquet, P. Muhlethaler, T. Clausen, A. Laouiti, A. Qayyum and L. Viennot "Optimized Link State Protocol for Ad Hoc Networks." IEEE INMIC Pakistan 2001.
3. C. Perkins, E. Belding-Royer and S. Das "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing." RFC 3561, IETF Network Working Group, July 2003.
4. P. Jacquet, A. Laouiti, P. Minet and L. Viennot "Performance of multipoint relaying in ad hoc mobile routing protocols." Networking 2002. Pise(Italy)2002.
5. A. Laouiti, A. Qayyum and L. Viennot "Multipoint Relaying for Flooding Broadcast Messages in Mobile Wireless Networks." 35th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'2002)
6. T. Clausen and P. Jacquet "Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)." RFC 3626, IETF Network Working Group, October 2003.
7. Ying Ge, Thomas Kunz and Louise Lamont "Quality of Service Routing in Ad-Hoc Networks Using OLSR". Proceeding of the 36th Hawaii International Conference on System Science(HICSS'03)
8. Julian Hsu, Sameer Bhatia, Dr. Mineo Takai, Dr. Rajive Bagrodia "Performance of Mobile Ad Hoc Networking Routing Protocols in Realistic Scenarios". Scalable Network Technologies, Inc., Culver City, CA.