

УДК 004.057.4

**Н.В. Червінська (канд. техн. наук, доц.), І.О. Клімов,
Є.Г. Ігнатенко (канд. техн. наук, доц.)**

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Донецьк
кафедра автоматики і телекомунікацій

E-mail: chervinskayanata@gmail.com, g.h.o.s.t_@mail.ru, ignatenko.evgeniya@gmail.com

АНАЛІЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОТОКОЛІВ МАРШРУТИЗАЦІЇ ДЛЯ БЕЗДРОТОВИХ AD-НОС МЕРЕЖ

Виконано аналіз протоколів маршрутизації, що можуть бути застосовані для mesh/MANET мереж. Проведено моделювання роботи протоколів на прикладі AODV, OLSR та HWMP. За результатами моделювання проаналізовано роботу зазначених протоколів за параметрами співвідношення відправлених, отриманих та втрачених повідомлень, величини затримки, визначено кумулятивні кількісні характеристики та залежність пропускну здатності від кількості вузлів. За результатами досліджень запропоновано побудову нового протоколу маршрутизації на базі розглянутих.

Ключові слова: бездротова мережа, моделювання, пропускну здатність, протокол маршрутизації, mesh/MANET мережа.

Загальна постановка проблеми

Поточний стан інформаційних та телекомунікаційних технологій характеризується стрімким розвитком. В першу чергу, це обумовлено постійно зростаючим попитом і потребою людей у забезпеченні їх різноманітними видами інформаційних послуг та сервісів. Такі сервіси стають дедалі зручнішими, а люди отримують нові можливості для роботи, розваг тощо.

Одним з показників, що характеризує такий стрімкий розвиток, є неухильне зростання трафіку від мобільних пристроїв. Ця тенденція спонукає розвиненню рухомих мереж і відповідного обладнання, яке зможе якісно обслуговувати та підтримувати цей зростаючий стан. Провідні групи розробників в галузі стандартизації телекомунікаційних систем (ITU, IETF та ін.) [1] та інженери світових брендів щодня розробляють і вдосконалюють існуючі протоколи, стандарти, технології в цілому.

Аналізуючи наявні телекомунікаційні можливості нашої країни, можна зробити висновок, що існуючі технології не в змозі повністю задовольнити всіх існуючих та потенціальних клієнтів. Зважаючи на всі вищезазначені тенденції та проблеми, які полягають, передусім, у невідповідності сучасним вимогам рівня доступності до послуг та якості їх надання, постає проблема пошуку нових рішень, напрямів в галузі зв'язку, що покращували б процеси надання клієнтам доступу до телекомунікаційних послуг.

Одним з таких підходів до проектування та побудови бездротових телекомунікаційних мереж абонентського доступу практично будь-якої складності та масштабу є підхід децентралізованих мереж MANET (Mobile Ad-Hoc Networking) [1]. Переваги децентралізованих мереж полягають в тому, що вони дуже надійні, самовідновлювальні, а їх розгортання та модифікація набагато простіші у порівнянні із дротовими системами. Маючи доступ до такої бездротової мережі, користувачі зможуть підключатися до неї в будь-якій точці в межах площі покриття та, незалежно від пересування, отримувати практично ті ж самі здатності, що і в дротових мережах.

Також слід зазначити, що розгортання таких мереж дуже спрощується, якщо за основу взяти набір стандартів IEEE 802.11 [2]. Це також надасть змогу використовувати вже існуючі

мобільні пристрої з підтримкою Wi-Fi, тим самим дозволяючи позбавитись від необхідності впроваджувати підтримку нових стандартів зв'язку у клієнтські апаратні рішення.

Треба відзначити, що деякі відомі світові компанії активно просувають свої бездротові рішення, на базі яких можна розгортати повноцінні mesh мережі, але поки що співвідношення ціна/якість не відповідає бажаному рівню. В першу чергу, це пов'язано із тим, що підтримка mesh сильно завантажує процесор таких пристроїв, чим не дозволяє при наявному потенціалі повністю його розкрити.

Постановка задачі досліджень

Зважаючи на зазначені проблеми, розробка та вдосконалення системи маршрутизації в бездротових мережах зі змінною топологією є актуальною задачею, вирішення якої надасть таким мережам змогу стати альтернативним рішенням в побудові бездротових мереж нового класу. У рамках вирішення даної задачі пропонується розробити такі альтернативні рішення з розгортання бездротових мереж абонентського доступу, що зможуть забезпечити необхідний рівень якості обслуговування зростаючого трафіку, бути максимально наближеними до характеристик дротових мереж чи навіть ефективнішими та, головне, бути спроможними легко встановлюватися та модернізуватися із мінімальними затратами.

Для розробки таких комплексних рішень спочатку необхідно провести аналіз та дослідження протоколів маршрутизації, що можуть використовуватись для бездротових повнозв'язних мереж, з метою виявлення їхніх переваг і недоліків, та запропонувати найкращий варіант з існуючих або при відсутності такого розробити на їх основі новий.

Вирішення задачі

Обрана тема має невелику популярність серед вітчизняних вчених, проте іноземні вчені нею зацікавлені більш глибоко. Так, серед російських науковців можна виділити таких як Шамін П. Ю., Тухтамірзаєв А. Ю., Вишневский В., Ляхов А. І. Гайнулін А. Г.[3]. Серед іноземних можна виділити Tony Larsson, Nicklas Hedman, Luis Gironés Quesada, Yuming Jiang, Мухаммад Шоаб Сиддик, Сон Чон Хонго, Anna Farahmand, Michael Webber та ряд інших [4-7]. Однак проблеми загальної пропускну здатності мереж та ефективності застосовуваних методів маршрутизації досі є актуальними, оскільки не мають єдиного ефективного рішення.

Протоколи маршрутизації для mesh/MANET мереж відіграють дуже важливу роль, оскільки при їх неефективній роботі всі переваги таких мереж одразу втрачаються, а показники роботи стають ще гіршими, ніж в існуючих бездротових мережах. Вони мають враховувати всі особливості multi-hop мереж, пристосовуватися до їх бездротової та динамічної природи. Протоколи маршрутизації, що використовуються в дротових мережах, не підходять для таких мереж [9,10]. Протоколи маршрутизації для бездротових mesh мереж беруть свій початок від таких для MANET, розроблених через військову необхідність взаємозв'язку між різними об'єктами збройних сил. Не зважаючи на те, що мережі дійсно мають багато спільного, протоколи мають бути адаптовані саме для використання їх у mesh.

На сьогодні протоколи маршрутизації для бездротових повнозв'язних мереж можна класифікувати за трьома групами:

- реактивні (за запитом): AODV (Ad hoc On-demand Distance Vector), DSR (Dynamic Source Routing), TORA (Temporally Ordered Routing Algorithm) та ін.;
- проактивні (або табличні): OLSR (Optimized Link State Routing Protocol), DSDV (Dynamic Destination Sequenced Distance Vector), OSPF (Open Shortest Path First) та ін.;
- гібридні: HWMP (Hybrid Wireless Mesh Protocol), ZRP (Zone Routing Protocol).

Так, проактивні протоколи засновуються на класичній схемі маршрутизації, при якій кожен вузол має свою таблицю маршрутизації, яку постійно оновлює, навіть коли немає необхідності в передачі пакетів даних. Звичайно протоколи використовують розподілені алгоритми маршрутизації на основі стану каналів (link state), та базуються на існуючих алгоритмах знаходження найкоротшого шляху до вузлів (shortest path).

Реактивні протоколи обчислюють маршрути тільки при необхідності (за запитом). Коли вузол-джерело хоче відправити дані в місце призначення, формується маршрут, за яким пересилаються корисні пакети даних. Цей маршрут деякий час зберігається в таблиці маршрутизації, але якщо передача більше не проводиться, то він видаляється з неї. Первісно такі протоколи є дистанційно векторними протоколами, тобто метрика розраховується на основі кількості вузлів (хопів), які треба пройти, щоб досягнути мережі призначення [3].

На відміну від реактивних, табличні протоколи зазвичай побудовані на стані каналів, тому в них метрика може бути визначена набагато точніше. Вона може враховувати пропускну здатність каналу, завадостійкість того чи іншого каналу, затримку в передачі даних і т.ін., що більш точно відображає роботу бездротової мережі. Так, наприклад, запропоновано декілька способів визначення метрик на основі стану каналу [4]:

– Expected Transmission Counted (ETX) – одна з перших метрик, запропонованих для бездротових mesh мереж, яка враховує кількість спроб, які треба зробити, щоб успішно передати кадр даних. Таким чином, її метою є знаходження шляху з найбільшою імовірністю доставки пакетів, а не за меншу кількість хопів. Формула, за якою розраховується метрика, має наступний вид:

$$ETX = \frac{1}{d_f * d_r}, \quad (1)$$

де: d_f – відсоток вдало доставлених пакетів у прямому напрямку до свого сусіда;

d_r – відсоток вдало доставлених пакетів у зворотному напрямку.

Маршрут, сумарна метрика якого буде мінімальною, буде визначений як оптимальний для відправки пакетів даних до призначення.

– Expected Transmission Time (ETT) – метрика, яка крім імовірності доставки враховує ще й пропускну здатність каналу зв'язку. Її розрахунок може бути виконаний по-різному. У роботі [4] вона розраховується як розширення метрики ETX і має наступний вигляд:

$$ETT = ETX * \frac{S}{B}, \quad (2)$$

де: ETX – метрика, обчислювана за формулою (1);

S – розмір пробного пакету;

B – пропускну здатність ланки.

Для передачі даних аналогічно попередньому випадку обирається маршрут з найменшим сумарним значенням метрики ETT [4, 5].

Слід зазначити, що окрім цих формул є й інші підходи до розрахунку метрик. Вони менш поширені, основна їх частина не стандартизована та перебуває у якості рекомендацій до того чи іншого протоколу.

Третя група – група гібридних протоколів – намагається використовувати комбінацію обох попередніх – реактивних і проактивних з метою їх поліпшення.

Щоб постійно підтримувати актуальні таблиці маршрутизації, проактивні протоколи періодично розсилають інформацію своїм сусідам про стани каналів між всіма вузлами. На це може витрачатися значна частина пропускну здатності, особливо коли кількість вузлів поступово зростає. Особливо негативно це впливає на мережі, в яких значна частина вузлів постійно пересувається, змінюючи топологію всієї мережі. Це призводить до завантаження процесору необхідністю постійно обчислювати нові таблиці маршрутизації і до підвищення службового трафіку в мережі. Проте, ці витрати дають змогу мінімізувати затримку у часі при пошуку маршруту для передачі, вона практично відсутня завдяки тому, що всі маршрути відомі і їх треба тільки зчитати із своєї, заздалегідь побудованої таблиці маршрутизації.

Реактивні протоколи, навпаки, мають дуже незначні витрати, пов'язані з відсутністю необхідності в періодичному пересиланні таблиць маршрутизації між всіма вузлами. Але платою за таку знижену величину витрат, і, як наслідок, більшу корисну пропускну

здатність, є наявність затримки в передачі даних. Вона присутня на початку ініціювання з'єднання, оскільки маршрутизатор має знайти необхідний маршрут. Для цього він у широкомовному режимі розсилає всім своїм сусідам запит на пошук вузла призначення, потім однокрокові сусіди своїм сусідам і так далі, доки його не буде знайдено. По суті вся величина трафіку управління визначається кількістю цих широкомовних запитів.

Питанням маршрутизації, а саме розробці нових та вдосконаленню існуючих протоколів маршрутизації в IETF приділяють пильну увагу. Так, протоколи AODV та OLSR були запропоновані в якості RFC (Request For Comments) [6, 7]. Однак це не розв'язує всі існуючі задачі, що стосуються розгортання mesh мереж. Багато з них залишаються поки не вирішеними та роблять впровадження таких систем передачі даних якісно не виправданими.

Для виявлення переваг і недоліків зазначених протоколів маршрутизації необхідно провести моделювання їх роботи. У рамках даної роботи проводиться дослідження протоколів AODV, OLSR та HWMP. Як пакет імітаційного моделювання використовується пакет ns-2 (версія 2.35). Цей симулятор відноситься до дискретно-безперервних симуляторів, є загальнодоступним. До його недоліків можна віднести те, що він не має користувацького інтерфейсу, однак він здатен аналізувати роботу багатьох протоколів маршрутизації та механізми управління чергами в маршрутизаторах.

Є декілька засобів наглядного представлення моделі та аналізу отриманих результатів моделювання, одним з яких є NAM (Network Animator), що будує топологію мережі та процеси, що в ній відбуваються. Програма, що аналізує вихідний файл, виводить розширену статистику та дозволяє побудувати велику кількість різноманітних графіків.

Модель складається з бездротових вузлів, що можуть переміщуватися, додаватися чи видалятися з мережі, зв'язаних між собою за повнозв'язною схемою. Процес моделювання побудовано таким чином, що спочатку модель налічує 5 вузлів, з часом додається ще 5 і так до того моменту, доки мережа не нараховуватиме 25 маршрутизаторів. Це надасть змогу проаналізувати роботу протоколів маршрутизації в залежності від кількості вузлів в мережі. Топологія мережі динамічно змінюється завдяки збільшенню та переміщенню вузлів, примушуючи протоколи маршрутизації шукати нові шляхи. Кожен етап моделювання триває 150 секунд. В якості стандартів бездротової передачі обрано стандарт IEEE 802.11g, механізм транспортування TCP з службою FTP.

Результати досліджень

Процес моделювання докладно розглянуто на прикладі протоколу AODV.

На початку роботи моделі мережа нараховує п'ять вузлів, що представляють топологію, наведену на рис. 1.

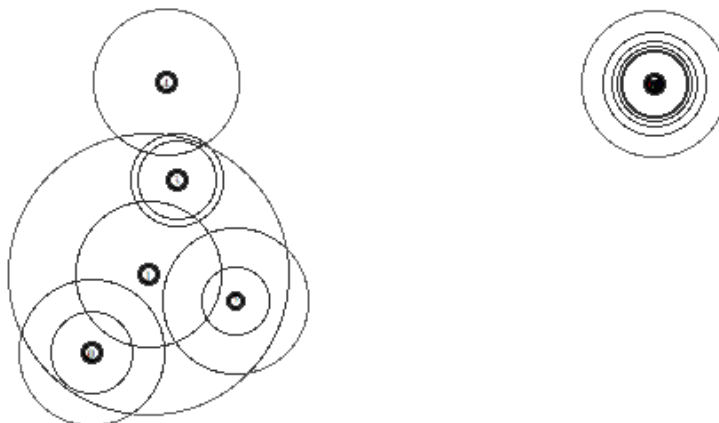


Рисунок 1 – Топологія мережі на початковій стадії моделювання

Вузли починають обмінюватись повідомленнями HELLO з метою виявлення своїх сусідів. Наприкінці моделювання мережа має повнозв'язну топологію, зображену на рис. 2.

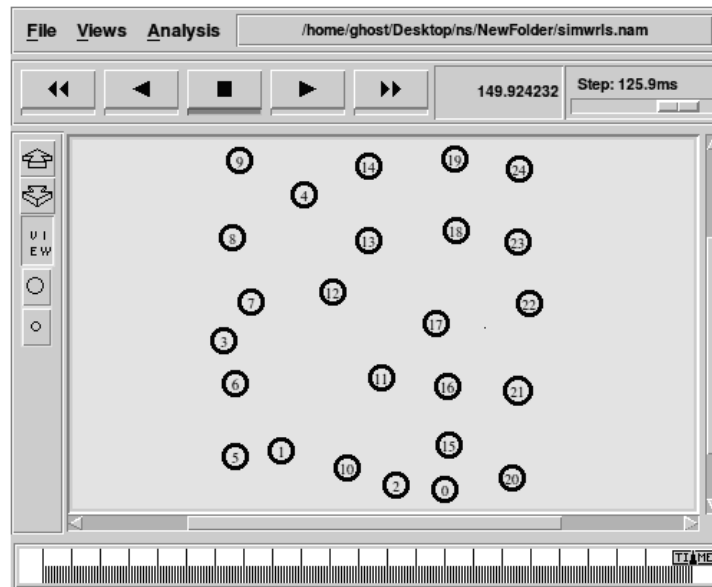


Рисунок 2 – Кінцева топологія мережі

Після того як завершено моделювання, отримано вихідний файл, що містить записи всіх подій в мережі. Цей файл передається на вхід програми Tracelograph, яка виконує детальний і повний його аналіз і відображає отримані характеристики роботи мережі. Нижче наведені отримані характеристики для мережі, що працює за протоколом AODV.

На рис. 3 зображено співвідношення пропускних здатностей відправлених, отриманих та відкинутих (втрачених) пакетів відповідно, зверху вниз впродовж часу моделювання.

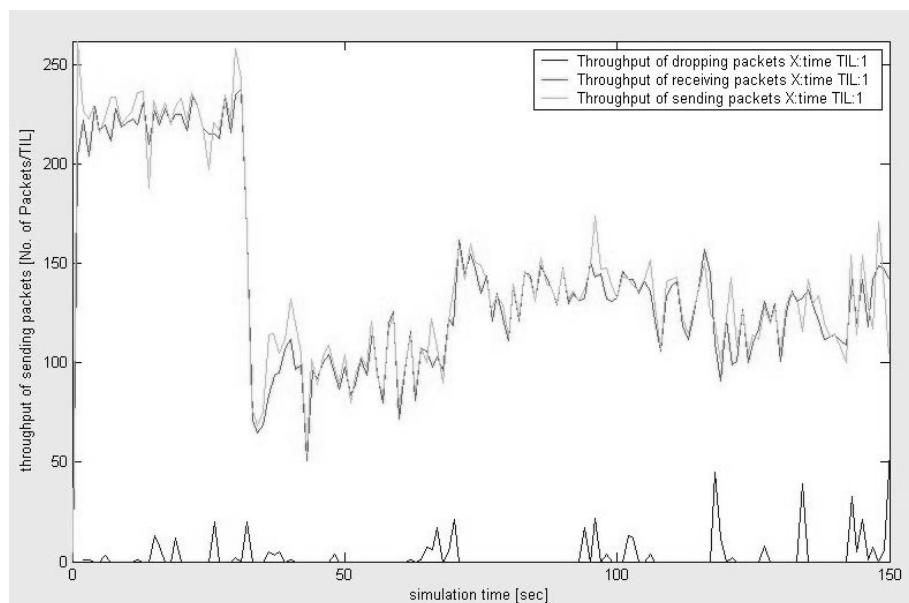


Рисунок 3 – Співвідношення відправлених, отриманих та втрачених повідомлень

З цієї характеристики видно, що із плином часу частота втрати повідомлень збільшується, а пропускна здатність корисних пакетів знижується майже на 40%.

Далі проводиться аналіз затримки передачі даних між двома вузлами, один з яких пересувається, змінюючи маршрут до вузла призначення. На рис. 4 представлена затримка при передачі даних, в залежності від часу моделювання.

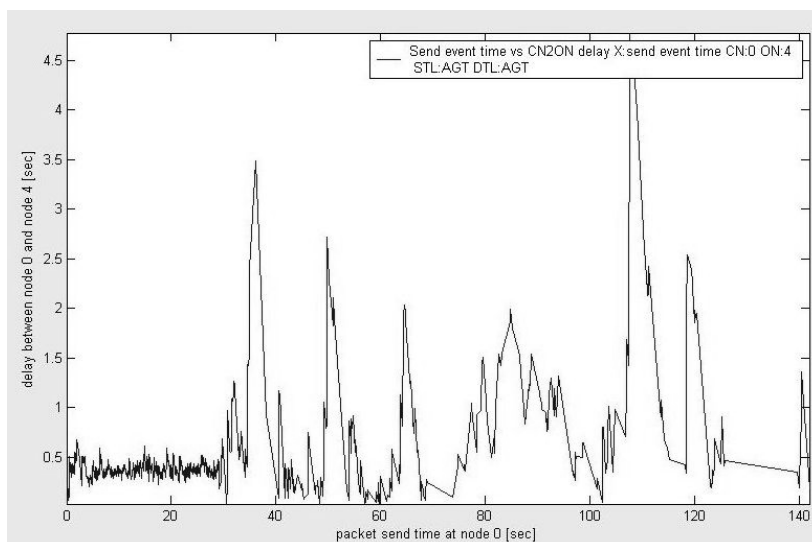


Рисунок 4 – Величина затримки при передачі даних між нульовим та четвертим вузлом

З вищенаведеної характеристики чітко видно, що з плином часу, тобто із збільшенням кількості вузлів в мережі, затримка при передачі даних сягає величини, за якої актуальність в передачі даних просто втрачається. Виходячи з цього графіку можна зробити висновок, що для AODV прийнятним є розмір мережі у 10-15 вузлів, що спостерігається на протязі перших тридцяти секунд моделювання, коли забезпечується затримка близько 300-350 мс, враховуючи те, що нульовий вузол пересувається вздовж мережі.

За результатами моделювання також було отримано так звану кумулятивну характеристику. На рис. 5 представлено процес зростання кількості всіх відправлених, отриманих та втрачених пакетів.

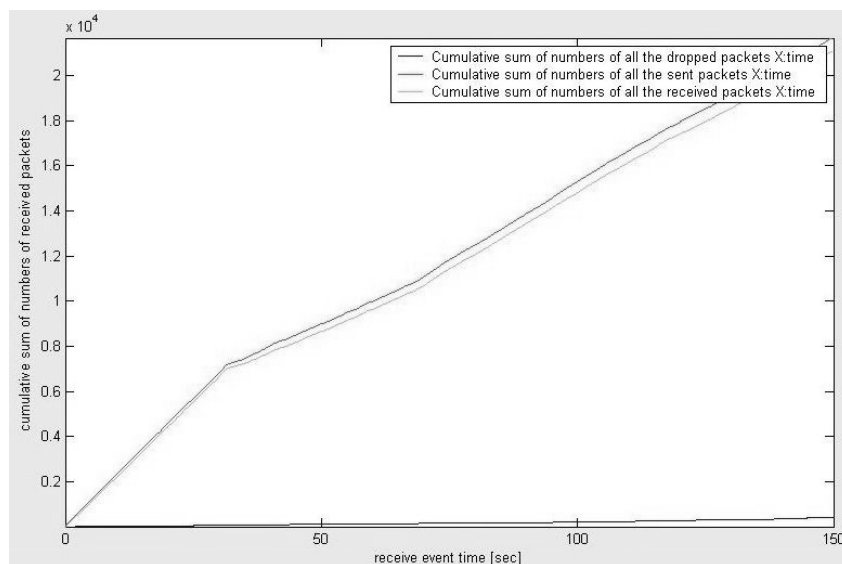


Рисунок 5 – Кумулятивна кількісна характеристика всіх пакетів в мережі

Завдяки цій характеристиці можна оцінити закон розподілу того чи іншого параметру, а також зробити порівняльний аналіз обраних протоколів маршрутизації.

Порівняльний аналіз виконано за таким параметром, як використання корисної пропускної здатності мережі, що розраховано у відсотках як співвідношення пропускної здатності у фіксовані проміжки часу (тобто при різній кількості вузлів в мережі) до пропускної здатності на початку функціонування мережі.

На рисунку 6 наведена досліджувана динаміка поведінки пропускної здатності мережі.

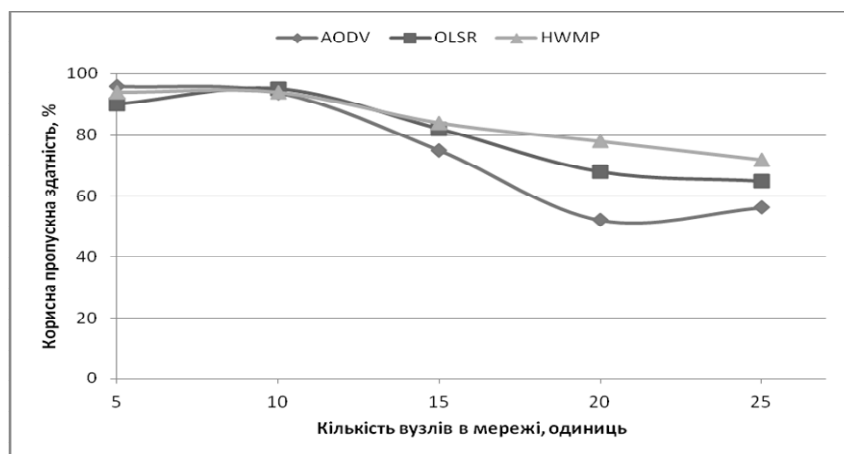


Рисунок 6 – Графік залежності пропускної здатності від кількості вузлів для протоколів AODV, OLSR та HWMP

Висновки

1. При невеликій кількості вузлів (5-10) реактивний протокол AODV демонструє кращі результати, незважаючи на активне пересування джерела трафіку. Із зростанням кількості вузлів показники роботи AODV стрімко падають. Після завершення всіх змін у топології мережі та прийняття нею сталого режиму протокол покращує свою роботу, що пов'язано зі зниженням динаміки мережі та підвищенням потенціальних вузлів ретрансляторів.

2. Протокол OLSR, навпаки, на початку роботи показує найгірші результати. Це пояснює його фаза «затоплення» мережі. Однак загалом OLSR показує середні результати, коефіцієнт використання пропускної здатності в мережі з 25-ти хостів більший, ніж у AODV.

3. Кращі результати спостерігаються при функціонуванні мережі за протоколом HWMP. Його гібридний режим роботи дозволяє знизити час пошуку маршруту, в наслідок чого збільшується загальна пропускна здатність мережі.

4. При подальшому зростанні кількості вузлів у мережі показники пропускної здатності наближуватимуться до однакової величини за всіма протоколами, що призведе до низького використання ресурсів мережі і тому доцільність впровадження такої системи передачі даних буде майже відсутня. Рішенням цієї проблеми може стати розробка нового протоколу на базі зазначених, який був би спроможним швидко адаптуватися до змін в топології, мав мінімальний трафік управління та був ефективним навіть при великій кількості вузлів мережі.

Список використаної літератури

1. Corson Mobile Ad hoc Networking (MANET), IETF RFC 2501 [Електронний ресурс] / S. Corson, J. Macker. – Режим доступу: <http://tools.ietf.org/html/rfc2501>.
2. IEEE 802.11 Wireless LAN Working Group [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ieee802.org/11/>.
3. Вишне夫斯基 В.М. Маршрутизация в широкополосных беспроводных mesh сетях стандарта IEEE 802.11s / В.М. Вишне夫斯基, Д.В. Лаконцев, А.А. Сафонов, С.А. Шпилев // Электроника: наука, технологии, бизнес. № 6/2008 – С. 64-69.
4. iETT: A Quality Routing Metric for Multi-rate Multi-hop Networks / Saad Biaz, Bing Qi – Режим доступу: <http://www.eng.auburn.edu/users/sbiaz/publications/IETT-Bing2008.pdf>.
5. Douglas S. J. De Couto. High-Throughput Routing for Multi-Hop Wireless Networks / Douglas S. J. De Couto. – Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 2004. – 109 p.
6. Perkins C. Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing, IETF RFC 3561 [Електронний ресурс] / C. Perkins, E. Belding-Royer, S. Das – Режим доступу: <http://tools.ietf.org/html/rfc3561>.
7. Clausen T. Optimized Link State Routing Protocol (OLSR), IETF RFC 3626 [Електронний ресурс] / T.Clausen, P.Jacquet. – Режим доступу: <http://tools.ietf.org/html/rfc3626>.

8. Винокуров В.М. Маршрутизация в беспроводных мобильных Ad hoc-сетях / В.М. Винокуров, А.В. Пуговкин, А.А. Пшенников, Д.Н. Ушарова, А.С. Филатов // Доклады ТУСУРа. № 2 (22), Ч.1. – Томск: ТУСУР, 2010. – С. 288-293.
9. Климов И.А. Сравнение протоколов маршрутизации для беспроводных мобильных Ad-Hoc сетей / И.А. Климов, Н. В. Червинская // Автоматизация технологических объектов та процесів. Пошук молодих. Збірник наукових праць XIII науково-технічної конференції в м. Донецьку 14 – 17 травня 2013 р. – Донецьк: ДонНТУ, 2013. – С. 76-80.
10. Chervinska N.V. Routing protocols investigation in fully connected wireless networks / N.V. Chervinska, I.A. Klimov, V.V. Chervynskyy // Proceedings of the International Conference “Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications, and Computer Science” TCSET’2014. Lviv-Slavske, Ukraine, February 25 – March 1, 2014. – Lviv: Lviv Polytechnic National University, 2014. – 834p. – P.585-586. – ISBN: 97 8-617-607-556-1

References

1. IETF Tools (1999), “Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations”, available at: <http://tools.ietf.org/html/rfc2501> (Accessed 25 November 2013).
2. IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee (2014), “IEEE 802.11 Wireless LAN Working Group”, available at: <http://www.ieee802.org/11/> (Accessed 21 February 2014).
3. Vishnevskiy, V.M., Lakontsev, D.V., Safonov, A.A. and Shpilev, S.A. (2008), “Routing in wideband wireless mesh networks IEEE 802.11s”, *Electronics: Science, Technologies, Business*, no. 6, pp. 64-69.
4. Samuel Ginn College of Engineering (2014), “iETT: A Quality Routing Metric for Multi-rate Multi-hop Networks”, available at: <http://www.eng.auburn.edu/users/sbiaz/publications/IETT-Bing2008.pdf> (Accessed 20 March 2014).
5. Douglas, S. J. De Couto (2004), “High-Throughput Routing for Multi-Hop Wireless Networks”, Ph.D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, USA.
6. IETF Tools (2003), “Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing”, available at: <http://tools.ietf.org/html/rfc3561> (Accessed 30 November 2013).
7. IETF Tools (2003), “Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)”, available at: <http://tools.ietf.org/html/rfc3626> (Accessed 15 December 2013).
8. Vinokurov, V.M., Pugovkin, A.V., Pshennikov, A.A., Usharov, D.N. and Filatov, A.S. (2010), “Routing in wireless Ad hoc networks”, *Dokladi TUSURa*, vol. 2(22), no.1. – pp. 288-293.
9. Klimov, I.A. and Chervinska, N.V. (2013), “Comparison of routing protocols for mobile wireless Ad-Hoc networks”, *XIII International Scientific and Technical Conference "Automation of technological objects and processes. Search for young"*, Donetsk, May 14-17 2013, pp. 76-80.
10. Chervinska, N.V., Klimov, I.A. and Chervynskyy V.V. (2014), “Routing protocols investigation in fully connected wireless networks”, *Proceedings of the International Conference “Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications, and Computer Science” TCSET’2014*, Lviv-Slavske, Ukraine, February 25 – March 1, 2014, pp. 585-586.

Надійшла до редакції:
12.05.2014 р.

Рецензент:
докт. техн. наук, доц. Іванов Д.Є.

Н.В. Червинская, И.А. Климов, Е.Г. Игнатенко

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

Анализ и исследование протоколов маршрутизации для беспроводных Ad-hoc сетей. Выполнен анализ протоколов маршрутизации, которые могут применяться для

mesh/MANET сетей. Проведено моделирование работы протоколов на примере AODV, OLSR и HWMP, по результатам которого проанализирована их работа по параметрам пропускной способности, величины задержки, кумулятивных количественных характеристик. По результатам исследований предложено построение нового протокола маршрутизации на базе рассмотренных.

Ключевые слова: беспроводная сеть, моделирование, пропускная способность, протокол маршрутизации, mesh/MANET сеть.

N.V. Chervinska, I.A. Klimov, E.G. Ignatenko

Donetsk National Technical University

Analysis and investigation of routing protocols for wireless Ad-hoc networks. The analysis of routing protocols that can be applied to mesh/MANET networks is performed. The simulation of reactive, proactive and hybrid protocols is conducted in terms of the protocols AODV, OLSR and HWMP. The performance of the protocols is analyzed by results of the simulation and the following parameters are estimated and compared depending on the number of nodes: the bandwidth, the ratios of sent, received and lost messages, the delay, the cumulative quantitative characteristics. According to the research the development of a new protocol is proposed.

Keywords: wireless network, simulation, bandwidth, routing protocol, mesh/MANET network.



Червинская Наталья Владимировна, Украина, закончила Донецкий национальный технический университет, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автоматики и телекоммуникаций ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» (ул. Артема, 58, г. Донецк, 83001, Украина). Основное направление научной деятельности – моделирование и управление в объектах дискретно-непрерывного и дискретно-событийного класса.



Климов Иван Александрович, Украина, закончил Донецкий национальный технический университет, магистр по специальности «Телекоммуникационные системы и сети», выпускник кафедры автоматики и телекоммуникаций ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» (ул. Артема, 58, г. Донецк, 83001, Украина). Основное направление научной деятельности – беспроводные сети с переменной топологией.



Игнатенко Евгения Геннадьевна, Украина, закончила Донецкий национальный технический университет, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автоматики и телекоммуникаций ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» (ул. Артема, 58, г. Донецк, 83001, Украина). Основное направление научной деятельности – системы управления телекоммуникационными сетями.