

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.396:004.89

<https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.3.10>

Р. О. БЕЛЯКОВ

кандидат технічних наук, доцент,
докторант науково-організаційного відділу
Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації
імені Героїв Крут
ORCID: 0000-0001-9882-3088

О. Д. ФЕСЕНКО

викладач кафедри технічного та метрологічного забезпечення
факультету інформаційних технологій
Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації
імені Героїв Крут
ORCID: 0000-0002-2114-5327

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОТОКОЛІВ МАРШРУТИЗАЦІЇ OLSR, AODV, DSDV, MAODV СПЕЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖ КЛАСУ MANET

У даній роботі детально розглянуто особливості функціонування мобільних комунікаційних мереж спеціального призначення класу MANET. Було проаналізовано ряд наукових праць що розкривають суть функціонування протоколів маршрутизації трьох основних класів – активних, реактивних та гібридних. Було підкреслено, що основний інтерес дослідження процесу управління маршрутизацією викликано ресурсними обмеженнями під час функціонування мобільних комунікаційних мереж в умовах динамічної топології, тобто в умовах, коли фізичні носії комунікаційного обладнання рухаються із змінною швидкістю обумовленою змінами рельєфу місцевості та наявністю перешкод.

Автори акцентують увагу, що наукова новизна дослідження обумовлена використанням моделі мобільності, що враховує фізичні властивості комунікаційних вузлів, яка є основою для отримання метрик мобільності (переміщення).

В статті проаналізовано чотири протоколи маршрутизації, описано процеси побудови та підтримання маршрутів передачі даних. Визначено, що кожен із протоколів (OLSR, AODV, DSDV, MAODV) мають як переваги так і недоліки, тому було визначено дослідити ці протоколи у плані продуктивності, шляхом оцінки метрик маршрутизації.

Імітаційне моделювання проводилось із використанням мов програмування Python у інтерактивному середовищі GoogleColab. Час моделювання – 40 хвилин, час ініціалізації параметрів мережі – 50 секунд, кількість мобільних вузлів – 85. Під час імітаційного моделювання не розглядалися процеси резервування за рахунок покращених характеристик мобільних базових станцій.

В результаті моделювання встановлено, що протоколи маршрутизації MAODV та OLSR показують кращу адаптивну здатність функціонування в умовах високої динаміки (зміни швидкості вузлів мережі) відносно інших розглянутих протоколів (AODV, DSDV) з точки зору ключових метрик (пропускна здатність, затримка, Jitter та процес розряду батареї).

Виявлена статистична кореляція між затримкою, Jitter та пропускною здатністю, що може бути використано для подальшої оптимізації алгоритмів маршрутизації.

Також під час моделювання було отримано оцінку енергоефективності вузлів, показано, що протоколи MAODV та OLSR мають менший відсоток розряду батареї в порівнянні з іншими протоколами, що є критично важливим для мобільних мереж, де енергозабезпечення є обмеженим.

Ключові слова: комунікаційна мережа, процес управління, метрики мобільності, метрики маршрутизації, пропускна здатність, час затримки, енергетична ефективність, протокол маршрутизації, прогнозування.

R. O. BIELIAKOV

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Doctoral Student at the Scientific and Organizational Department
Military Institute of Telecommunications and Information technologies
named after Heroes of Kruty
ORCID: 0000-0001-9882-3088

O. D. FESENKO

Lecturer at the Department of Technical and Metrological Support
Information Technologies Faculty
Military Institute of Telecommunications and Information technologies
named after Heroes of Kruty
ORCID: 0000-0002-2114-5327

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OLSR, AODV, DSDV, MAODV ROUTING PROTOCOLS IN SPECIAL MANET CLASS NETWORKS

This paper examines in detail the features of the functioning of special purpose mobile communication networks of the MANET class. A number of scientific works were analyzed that reveal the essence of the functioning of routing protocols of three main classes – active, reactive and hybrid. It was emphasized that the main interest in the research of the routing management process is caused by resource limitations during the functioning of mobile communication networks in the conditions of dynamic topology, i.e. in conditions when the physical carriers of communication equipment move at a variable speed due to changes in the topography of the area and the presence of obstacles.

The authors emphasize that the scientific novelty of the study is due to the use of a mobility model that takes into account the physical properties of communication nodes, which is the basis for obtaining mobility (movement) metrics.

The article analyzes four routing protocols, describes the processes of building and maintaining data transmission routes. It was determined that each of the protocols (OLSR, AODV, DSDV, MAODV) has both advantages and disadvantages, so it was determined to investigate these protocols in terms of performance by evaluating routing metrics.

Simulation modeling was carried out using the Python programming language in the GoogleColab interactive environment. The simulation time is 40 minutes, the network parameter initialization time is 50 seconds, the number of mobile nodes is 85. In the simulation process, redundancy processes were not considered due to the improved characteristics of mobile base stations.

As a result of the simulation, it was established that MAODV and OLSR routing protocols show a better adaptive capacity to work in conditions of high dynamics (changes in the speed of network nodes) compared to other considered protocols (AODV, DSDV) in terms of key indicators (throughput, delay, jitter and process discharge Batares).

Ujawniono statystyczną korelację between delay, jitter and przepływnością, which can be used for further optimization of routing algorithms.

In the same way, it's time to model energy efficiency and networks. It has been shown that the MAODV and OLSR protocols are characterized by a lower percentage of battery discharge compared to other protocols, which is extremely important in mobile networks where energy supplies are limited.

Key words: communication network, management process, mobility metrics, routing metrics, throughput, delay, energy efficiency, routing protocol, prediction.

Постановка проблеми

Особливості умов функціонування комунікаційних мереж (КМ) класу MANET накладає вимоги до задач управління, щодо вибору оптимального протоколу маршрутизації потоків даних і стає першочерговим завданням, яке необхідно вирішити при проектуванні КМ як цивільного, так і військового призначення.

Сьогодні існує велика кількість протоколів та методів маршрутизації (ММ), розроблених як для існуючих стаціонарних, так і для безпроводових мереж. Ці ММ відрізняються один від одного багатьма характеристиками, однак, не всі з них задовольняють вимогам, що накладаються з боку КМ, а саме: розподілене функціонування; мінімальна завантаженість мережі службовою інформацією; можливість боротьби з переваженнями; відсутність зацикленних маршрутів, тощо. Враховуючи зазначене, дана стаття присвячена аналізу існуючих протоколів та ММ для визначення можливості їх використання в мобільних КМ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В мобільних КМ процес маршрутизації реалізується з допомогою ММ, які являють собою сукупність семантичних і синтаксичних правил та алгоритмів, що визначають процес побудови та підтримання маршрутів передачі між комунікаційним вузлом відправником та адресатом в КМ і забезпечують ефективне використання мережевих ресурсів при заданій (необхідній) якості обслуговування користувачів [1, 2].

Сьогодні існує велика кількість публікацій, пов'язаних з дослідженням процесів маршрутизації потоків даних в мережах класу MANET. Детальна класифікація (рис. 1) методів маршрутизації (ММ) наведена в [3].

Задачею методу маршрутизації є створення, збереження та підтримка маршрутів заданої якості (зазвичай найкоротшого з метою забезпечення енергозбереження вузлів) між відправником та адресатом. Найкоротший маршрут визначається як функція мінімальної вартості маршруту, що визначається як сума вартостей всіх каналів маршруту.



Рис. 1. Класифікація методів маршрутизації

Сьогодні в науковій літературі розглядається значна кількість методів та протоколів маршрутизації, які розраховані для радіомереж з різною мобільністю вузлів, швидкістю передачі інформації між вузлами, передбачають різні алгоритми управління навантаженням у радіомережі та управління затримкою передачі пакетів даних. Відповідно до запропонованої вище класифікації, за способом побудови і підтримання маршрутів ММ діляться на три класи: таблицно-орієнтовані, зондові та гібридні (рис. 2) [4, 5, 6].



Рис. 2. Класифікація ММ за способом побудови і підтримання маршрутів

Формулювання мети дослідження

Серед найбільш популярних методів та протоколів маршрутизації, які відносяться до кожного з наведених класів було обрано чотири протоколи маршрутизації, а саме: OLSR, AODV, DSDV, MAODV.

Тому, **метою роботи** є дослідження ефективності існуючих протоколів маршрутизації для визначення можливості їх використання та напрямів удосконалення в мобільних комунікаційних мережах класу MANET з урахуванням умов функціонування та ресурсних обмежень.

Наукова новизна

У роботі виконано моделювання найбільш поширених алгоритмів маршрутизації із використанням розробленої моделі мобільності [7], що враховує особливості функціонування (фізичні параметри) носіїв (транспортна база або людина) та комунікаційного обладнання.

Викладення основного матеріалу дослідження

Одним із найпоширеніших є таблицно-орієнтований (активний) Optimized Link State Routing (OLSR) – протокол IP-маршрутизації, оптимізований для комунікаційних мереж класу MANET, побудований на основі алгоритму Дійкстри та обміні hello-повідомленнями для отримання інформації про стан маршрутів і топологію мережі. Кожен вузол розсилає цю інформацію між сусідніми вузлами для виявлення наступного вузла в напрямку до адресата, використовуючи в якості метрики найменшу кількість ретрансляцій [8].

Переваги OLSR: відсутня затримка передачі потоків даних, пов'язана з процедурою виявлення та побудови маршрутів; витрати вузлових та мережевих ресурсів не зростають при збільшенні кількості маршрутів передачі.

Недоліки OLSR: неможлива побудова маршрутів заданої якості обслуговування; неефективне використання енергетичних і мережевих ресурсів при відправці службової інформації; у мережах великої розмірності вимагає відносно високої пропускної здатності радіоканалів та продуктивності вузлових процесорів.

Другим серед поширених таблицно-орієнтованих протоколів маршрутизації, який базується на класичному алгоритмі Беллмана-Форда є Destination-Sequenced Distance Vector (DSDV). Особливість функціонування протоколу полягає в тому, що мобільні комунікаційні вузли підтримують маршрутну таблицю до всіх можливих

адресатів мережі. Кожен її вхід позначається порядковим номером, який визначається адресатом. Маршрутна інформація передається між вузлами шляхом періодичної відправки всієї маршрутної таблиці і додаткових оновлень, які передаються частіше [9].

Переваги DSDV: відсутність зациклення маршрутів; в МР з малою кількістю вузлів забезпечує миттєву побудову маршрутів передачі.

Недоліки DSDV: вимагає регулярного оновлення своїх маршрутних таблиць, що потребує використання вузлових і мережевих ресурсів, навіть коли мережа знаходиться в режимі очікування; не підходить для радіомереж з високою динамікою зміни топології.

Серед зондових реактивних протоколів маршрутизації було розглянуто Ad hoc On-demand Distance Vector (AODV).

AODV – це зондовий протокол маршрутизації, який являє собою комбінацію протоколів DSR та DSDV. Побудова та підтримання маршрутів здійснюється зондовими методами, зберігання маршрутів відповідно до таблично-орієнтованих методів. Для підтримання інформації про „нові” маршрути використовується порядкова нумерація маршрутів. Протокол використовує чотири типи повідомлень: зонд-запит, зонд-відповідь, зонд-корегування та hello-повідомлення [10].

Функціонування протоколу відбувається наступним чином. За необхідності передачі пакета вузол звертається до маршрутної таблиці за маршрутом. У випадку його відсутності передається зонд-запит усім сусіднім вузлам. Проміжні вузли, прийнявши зонд-запит і не маючи маршруту до адресата, ретранслюють його далі. Адресат, отримавши зонд-запит, формує зонд-відповідь і надсилає його відправнику, який коригує свою маршрутну таблицю і розпочинає передачу даних.

Переваги AODV: відсутність зациклення маршрутів; вирішення проблеми „кінцевого рахунку”; гарантія отримання „нових” маршрутів; підтримання багатокористувальницької маршрутизації; низька обчислювальна складність та потреба в ресурсах пам'яті.

Недоліки AODV: тривала та складна процедура встановлення з'єднання; використання hello-повідомлень, слабка адаптивність до мереж із динамічною топологією [11].

Та відповідно до [11] MAODV (Multicast AODV) можна віднести до гібридних протоколів маршрутизації, бо концептуально розроблений на основі AODV та DSDV, для використання в мережах, що складаються із великої кількості мобільних вузлів, тобто в умовах коли топологія мережі постійно змінюється.

В основі алгоритму протоколу – кожній мультікастовій групі створюється двостороннє дерево, що включає мобільні вузли двох відмінних класів. МК може бути або вузлом, який приєднався до мультікастового дерева, або вузлом, який не приєднався до мультікастової групи, але пересилає мультікастові повідомлення до інших вузлів у дереві. Для встановлення та підтримання маршрутів протокол використовує чотири різні типи повідомлень:

1. Route Request (RREQ) – використовується для запиту маршруту до певної мети. Коли вузол хоче відправити пакет до певного призначення, але не має активного маршруту до цього призначення, він ініціює процес RREQ.

2. Route Reply (RREP) – повідомлення відповіді на RREQ. Коли вузол отримує RREQ і має активний маршрут до запитаного призначення, він відправляє RREP назад до вузла, який ініціював RREQ.

3. Multicast Activation (MACT) – використовується для активації мультікастового маршруту. Коли вузол хоче приєднатися до мультікастової групи, він відправляє MACT до лідера групи або іншого члена групи.

4. Group Hello (GRPH) – періодичне повідомлення, яке використовується для підтримання мультікастового дерева. Воно допомагає визначити, чи активні сусідні вузли, і чи є вони частинами мультікастового дерева.

Недоліком використання MAODV – є великий об'єм службової інформації та висока обчислювальна складність оновлення маршрутної інформації.

Основні математичні співвідношення. Для визначення метрик маршрутизації в мобільних комунікаційних мережах класу MANET були використані метрики мобільності та радіозв'язності з використанням моделі мобільності запропонованої в [7]. Моделювання протоколів здійснювалось за допомогою мови програмування Python та програмного середовища GoogleColab, з використанням параметрів (рис. 3), за наступними математичними співвідношеннями:

1. Моделювання затримки в мережах MANET залежить від багатьох факторів, включаючи топологію мережі, протокол маршрутизації, розмір пакетів, швидкість руху вузлів, і т. д. Для визначення функціональних залежностей змінних необхідно описати основні математичні співвідношення часу затримки передачі. На рисунку 3 зображено загальна схема

Рівняння затримки передачі пакета в каналі:

$$T_{зпрд} = L_n / R, \quad (1)$$

де $T_{зпрд}$ – затримка передачі, L_n – розмір пакета, R – номінальна швидкість передачі.

Рівняння затримки обробки повідомлення вузлом (МК):

$$T_{\text{зобр}} = N_{\text{п}} / C_{\text{обр}}, \quad (2)$$

де $T_{\text{зобр}}$ – затримка обробки, $N_{\text{п}}$ – кількість оброблюваних пакетів, $C_{\text{обр}}$ – швидкість обробки (в пакетах за секунду).

```
# Встановлюємо параметри моделі
P0 = 30 # Потужність передавача в дБм
Gt = 3 # Коефіцієнт підсилення антени передавача в дБi
Gr = 3 # Коефіцієнт підсилення антени приймача в дБi
f = 2.4e9 # Частота сигналу в Гц
c = 3e8 # Швидкість світла в м/с
L = 3 # Коефіцієнт втрат в дБ
n = 3 # Показник затухання за відстань
sigma = 4 # Стандартне відхилення тінювого затухання в дБ
N0 = -110 # Рівень шуму в дБм
B = 1e6 # Ширина смуги в Гц

# Встановлюємо параметри мережі
R = 400 # Дальність радіозв'язку у абонентів у метрах
W = 3000 # Ширина території в метрах
H = 5000 # Висота території в метрах
N = 85 # Кількість наземних абонентів
T = 50 # Час моделювання в секундах

# Встановлюємо параметри руху абонентів
Vmin = 1 # Мінімальна швидкість абонента в м/с
Vmax = 10 # Максимальна швидкість абонента в м/с
Amin = -1 # Мінімальне прискорення абонента в м/с^2
Amax = 1 # Максимальне прискорення абонента в м/с^2

# Встановлюємо параметри рельєфу території
Zmin = -50 # Мінімальна висота рельєфу в метрах
Zmax = 50 # Максимальна висота рельєфу в метрах
```

Рис. 3. Параметри мобільних комунікаційних вузлів мережі

Функція затримки маршрутизації (рівняння часу вибору маршруту), що відображає, як протокол маршрутизації і топологія мережі впливають на затримку маршрутизації

$$T_{\text{зрут}} = f_T(P, T), \quad (3)$$

де $T_{\text{зрут}}$ – затримка маршрутизації, P – протокол маршрутизації, T – топологія мережі.

Загальний час затримки передачі повідомлення від вузла адресанта до вузла адресата

$$T_{\text{total}} = T_{\text{зрд}} + T_{\text{зобр}} + T_{\text{зрут}}. \quad (4)$$

У зв'язку із високою динамікою змін топології наземної комунікаційної мережі класу MANET, під час використання, наприклад, табличних протоколів маршрутизації виникає необхідність частіше оновлювати метрики (таблиці маршрутизації), що може призвести до збільшення затримки маршрутизації.

Отже, ключовими обмеженнями у процесі реалізації цільової функції управління часом затримки передачі є:

по-перше, кількість вузлів в мережі (збільшення кількості вузлів → збільшення кількості маршрутів → збільшення кількості інформації для обробки → збільшення загального часу затримки);

по-друге, характеристики протоколу маршрутизації (визначають порядок інформаційного обміну між вузловими елементами та необхідну кількість службової інформації в мережі);

по-третє, динаміка топології (математична модель, що описує структуру мережі, або фізичну організацію вузлів із прив'язкою до рельєфу місцевості).

2. Джитер в мережах із комутацією пакетів відноситься до варіації часу затримки, і для реального часу аплікацій, таких як VoIP або відеоконференції, збільшення джитеру може призвести до суттєвого погіршення якості зв'язку.

Математично джитер описується як стандартне відхилення затримки пакетів із урахуванням (9):

$$J = \sigma(T_{\text{total}}). \quad (5)$$

Варто зазначити, що джитер враховує варіацію затримки, тому при розрахунках його значення додається до загальної затримки.

3. Пропускна здатність в мережах класу MANET.

Для моделювання пропускної здатності застосуємо формулу Шеннона:

$$C_{ab} = B \log_2(1 + SINR), \tag{6}$$

де C_{ab} – пропускна здатність каналу між вузлами a і b , B – ширина смуги пропускання каналу, $SINR$ – відношення сигнал/шум.

Загальна довжина маршруту

$$D_{ij} = \sum_{a=i}^j d_{ab}, i, j, a, b \in N_{KM}, \tag{7}$$

де D_{ij} – загальна відстань маршруту між вузлами i та j , d_{ab} – довжина каналу між вузлами a і b .

Разом з тим, загальна відстань маршруту, буде визначатись в залежності від типу вибраного протоколу маршрутизації і динаміки топології мережі

$$D_{ij} = f_D(P, T).$$

4. Для моделювання енергоефективності в мережах MANET потрібно врахувати витрату потужності за граничний час функціонування $t_{funcmax}$, що визначається зарядом батареї МК e_{MKmax} (e_{MBCmax} , для МБС):

$$\begin{aligned} e_{MKmax} &= P_{MKi} * t_{funcmax}, i \in N_{KM}, \\ e_{MBCmax} &= P_{MBCi} * t_{funcmax}, i \in N_{KM} \end{aligned} \tag{8}$$

де P – потужність, яку споживає вузол за одиницю часу.

Разом з тим, рівняння споживчої потужності для мобільних користувачів (МК) визначається лише витратами на інформаційний обмін (передачу і прийом пакетів визначеного розміру L_n) P_{IO} , Дж/біт, за одиницю часу

$$P_{MKi} = N_n L_n P_{IO}, \tag{9}$$

а для мобільної базової станції на роботизованій платформі, необхідно врахувати витрату потужності на процес адаптивного переміщення на одиницю довжини маршруту P_{nep}

$$P_{MBCi} = N_n L_n P_{IO} + \frac{ШP_{nep}}{K_{man}}, \tag{10}$$

де Ш – пройдений шлях роботизованою платформою, K_{man} – коефіцієнт маневреності [посилання на статтю ММ]. Таким чином, енергоефективність вузла КМ в деякий момент часу t можна визначити за формулою

$$\eta_{e_i} = O_i t_{func} / P_i, i \in N_{KM}, \tag{11}$$

де η_{e_i} – енергоефективність i -го вузла, O_i – обсяг переданих даних, P_i – витрачена потужність.

Рівняння (1-11) були використані як основа для опису реалізації цільових вузлових (користувальницьких) цільових функцій управління КМ [12], тобто оцінки продуктивності протоколів маршрутизації.

Результати моделювання вище розглянутих протоколів маршрутизації показано на рисунку 4.

На графіку (рис. 4 – End-to-End Delay (ms)) – зображено розподіл середньої затримки передачі даних від вузла відправника до вузла отримувача. Цей графік показує статистичні характеристики часу затримки в (мс) для кожного протоколу маршрутизації в процесі максимального навантаження мережі, тобто відбувалась побудова маршрутів відносно збільшення кількості вузлів в мережі для побудови маршруту. Що відповідно корелює із зменшення пропускної швидкості в діапазоні {20...5} Мбіт/с. Із графіку видно, що протокол MAODV показує відносно кращий результат часу затримки при збільшенні навантаженні в мережі End-to-End Delay (мс) в середньому варіювалася в {40...120} мс, на відміну від DSDV \approx {40...165} мс, AODV \approx {46...179} мс, OLSR \approx {40...160} мс.

На графіку (рис. 4 Jitter (ms)) – зображено розподіл часу затримки між послідовністю переданих пакетів даних. Із графіку видно статистичний взаємозв'язок між пропускною здатністю та стандартним відхиленням часу затримки між доставкою пакетів даних. Також акцентується особливу увагу на момент максимальної пропускної швидкості в мережі. Відносно кращі результати в процесі моделювання мобільної мережі показали протоколи MAODV Jitter (мс) \approx {5...25}, та OLSR \approx {5...35} мс.

На графіку (рис. 4 Battery Drain (%)) – зображено розподіл процесу розряду батареї вузлів мережі у відсотковому співвідношенні для кожного протоколу. Із графіків видно що при зменшенні кількості абонентів розряд батареї збільшувався відповідно одні із кращих показників розподілу розряду батареї забезпечують протоколи MAODV та OLSR \approx {10...35} %.

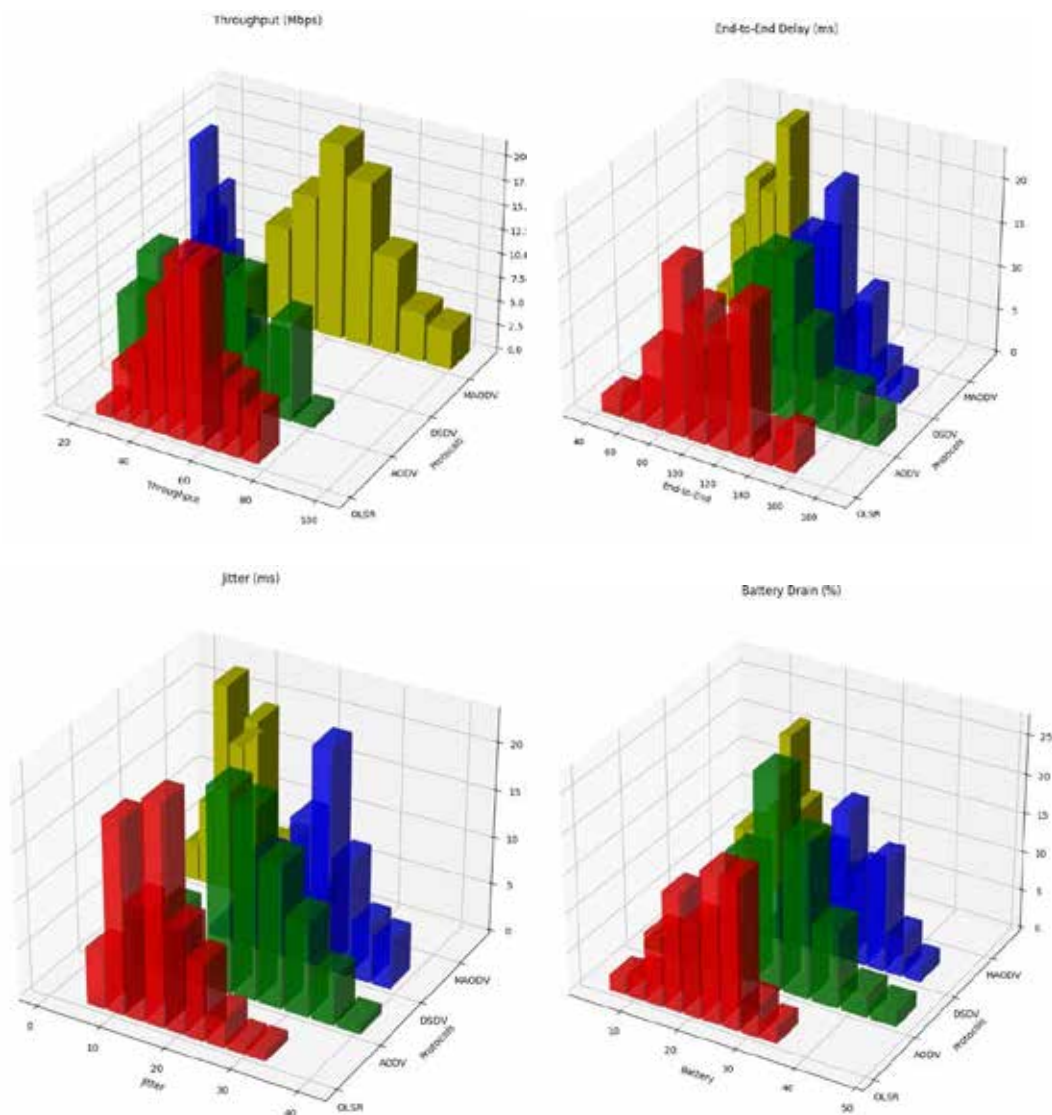


Рис. 4. Графіки оцінки ефективності (продуктивності) протоколів маршрутизації OLSR, AODV, DSDV, MAODV

Висновки

В результаті моделювання встановлено, що протоколи маршрутизації MAODV та OLSR показують кращу адаптивну здатність функціонування в умовах високої динаміки (зміни швидкості вузлів мережі) відносно інших розглянутих протоколів (AODV, DSDV) з точки зору ключових метрик (пропускна здатність, затримка, Jitter та процес розряду батареї).

Виявлено статистичний взаємозв'язок між пропускною здатністю та стандартним відхиленням часу затримки між доставкою пакетів даних, що може бути використано для подальшої оптимізації алгоритмів маршрутизації.

Також під час моделювання було отримано оцінку енергоефективності вузлів, показано, що протоколи MAODV та OLSR мають менший відсоток розряду батареї в порівнянні з іншими протоколами. Що може бути підґрунтям для прийняття рішення із вибору протоколу за критерієм максимального «часу життя» вузлів мережі.

Список використаної літератури

1. Hoebeke J., Moerman I., Demeester P. Adaptive routing for mobile ad hoc networks. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*. 2012. Vol. 2012, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1186/1687-1499-2012-126> (date of access: 17.09.2023).
2. MIKARIĆ B. Routing protocols in Mobile Ad-hoc Networks. *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY*. 2020. Vol. 1, no. 8. P. 108–113. URL: <https://doi.org/10.15199/48.2020.08.21> (date of access: 17.09.2023).
3. Міночкін А.І., Романюк В. А. Маршрутизація в мобільних радіомережах – проблема і шляхи її вирішення. *Зв'язок*. 2006. № 7. С. 49–55.

4. Tepšić D. M., Veinović M. Đ. Classification of MANET routing protocols. *Vojnotehnicki glasnik*. 2015. Vol. 63, no. 1. P. 84–101. URL: <https://doi.org/10.5937/vojtehg63-5706> (date of access: 17.09.2023).
5. Mummadisetty B. C., Puri A., Latifi S. Performance Assessment of MANET Routing Protocols. *International Journal of Communications, Network and System Sciences*. 2015. Vol. 08, no. 11. P. 456–470. URL: <https://doi.org/10.4236/ijcns.2015.811041> (date of access: 17.09.2023).
6. PERFORMANCE ANALYSIS OF MANET ROUTING PROTOCOLS / I. A. Rasooly et al. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*. 2019. Vol. 04, no. 08. P. 356–361. URL: <https://doi.org/10.33564/ijeast.2019.v04i08.060> (date of access: 17.09.2023).
7. Беляков Р. О., Фесенко О. Д. Модель мобільності наземної комунікаційної мережі спеціального призначення. *COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION*. 2023. № 51. С. 130–138. DOI: [10.36910/6775-2524-0560-2023-51-17](https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-51-17).
8. Permatasari U. S., Widiyari I. R. Analisis Routing Protokol Optimized Link State Routing (OLSR) Pada Raspberry Pi. *AITI*. 2020. Vol. 16, no. 2. P. 151–164. URL: <https://doi.org/10.24246/aiti.v16i2.151-164> (date of access: 17.09.2023).
9. Kumar A., Hans R. Performance Analysis of DSDV, I-DSDV, OLSR, ZRP Proactive Routing Protocol in Mobile AdHoc Networks in IPv6. *International Journal of Advanced Science and Technology*. 2015. Vol. 77. P. 25–36. URL: <https://doi.org/10.14257/ijast.2015.77.03> (date of access: 17.09.2023).
10. Analysis of AODV Protocol in MANET / P. Pal et al. *International Journal of Computer Applications*. 2019. Vol. 177, no. 24. P. 1–6. URL: <https://doi.org/10.5120/ijca2019919691> (date of access: 17.09.2023).
11. Singh G., Dhir V. Performance Analysis of AODV and MAODV Protocol in Mobile ADHOC Networks. *International Journal of Computer Sciences and Engineering*. 2018. Vol. 6, no. 12. P. 706–712. URL: <https://doi.org/10.26438/ijcse/v6i12.706712> (date of access: 17.09.2023).
12. Romaniuk V. A., Bieliakov R. O. Objective control functions of FANET communication nodes of Land-Air network. *COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION*. 2023. No. 50. P. 125–130. URL: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-50-19>.

References

1. Hoebeke, J., Moerman, I., & Demeester, P. (2012). Adaptive routing for mobile ad hoc networks. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2012(1). <https://doi.org/10.1186/1687-1499-2012-126>
2. MIKARIĆ, B. (2020). Routing protocols in Mobile Ad-hoc Networks. *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY – ELECTROTECHNICAL INSPECTION*, 1(8), 108–113. <https://doi.org/10.15199/48.2020.08.21>
3. Romaniuk, V. A., & Minochkin, A. I. (2006). Marshrutyzatsiia v mobilnykh radiomerezhakh – problema i shliakhy yii vyrishennia [Routing in mobile radio networks is a problem and ways to solve it]. *Zviyazok – Communication*, (7), 49–55. [in Ukrainian]
4. Tepšić, D. M., & Veinović, M. Đ. (2015). Classification of MANET routing protocols. *Vojnotehnicki glasnik – Military and technical advice*, 63(1), 84–101. <https://doi.org/10.5937/vojtehg63-5706>
5. Mummadisetty, B. C., Puri, A., & Latifi, S. (2015). Performance Assessment of MANET Routing Protocols. *International Journal of Communications, Network and System Sciences*, 08(11), 456–470. <https://doi.org/10.4236/ijcns.2015.811041>
6. Rasooly, I. A., Masood, F., Ullah Khan, A. W., Ziar, R. A., & Niazy, M. S. (2019). PERFORMANCE ANALYSIS OF MANET ROUTING PROTOCOLS. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, 04(08), 356–361. <https://doi.org/10.33564/ijeast.2019.v04i08.060>
7. Bieliakov, R., & Fesenko, O. (2023). Model mobilnosti nazemnoi komunikatsiinoi merezhi spetsialnogo pryznachennia [Mobility model of a special purpose terrestrial communication network]. *COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION*, 51, 130–138. [in Ukrainian]
8. Permatasari, U. S., & Widiyari, I. R. (2020). Analisis Routing Protokol Optimized Link State Routing (OLSR) Pada Raspberry Pi. *AITI*, 16(2), 151–164. <https://doi.org/10.24246/aiti.v16i2.151-164>
9. Kumar, A., & Hans, R. (2015). Performance Analysis of DSDV, I-DSDV, OLSR, ZRP Proactive Routing Protocol in Mobile AdHoc Networks in IPv6. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 77, 25–36. <https://doi.org/10.14257/ijast.2015.77.03>
10. Pal, P., Sarkar, P., Deb, S., & Bhattacharya, G. (2019). Analysis of AODV Protocol in MANET. *International Journal of Computer Applications*, 177(24), 1–6. <https://doi.org/10.5120/ijca2019919691>
11. Singh, G., & Dhir, V. (2018). Performance Analysis of AODV and MAODV Protocol in Mobile ADHOC Networks. *International Journal of Computer Sciences and Engineering*, 6(12), 706–712. <https://doi.org/10.26438/ijcse/v6i12.706712>
12. Romaniuk, V. A., & Bieliakov, R. O. (2023). Objective control functions of FANET communication nodes of land-air network. *COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION*, (50), 125–130. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-50-19>