

УДК 004.722

Михайліченко Олексій Валерійович

аспірант кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій,
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія
Кондратюка»

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ МОДЕЛЕЙ МАРШРУТИЗАЦІЇ В ГІБРИДНИХ FANET-МЕРЕЖАХ

Зі зростанням використання безпілотних систем у завданнях моніторингу, зв'язку та пошуку постала потреба у створенні ефективних методів маршрутизації в децентралізованих мережах. FANET (Flying Ad hoc Network) відрізняється високою динамічністю, тривимірним розподілом вузлів і залежністю якості зв'язку від висоти та напрямку руху. У більшості досліджень розглядаються лише літаючі вузли, однак інтеграція наземних ретрансляторів дає змогу підвищити стабільність каналів зв'язку, особливо в умовах урбанізованого або гірського рельєфу.

Пасандіде та ін. виконали систематичний огляд FANET, визначивши основні виклики — динамічність топології, обмежені енергоресурси та нестабільність каналів. [1] Дослідження Лу та ін. показують, що традиційні MANET-алгоритми маршрутизації неефективні у тривимірному середовищі FANET через швидкі зміни топології, і визначено важливість адаптивних рішень. [2] Хедр та ін. розробили гібридний кластерний протокол HMGOC, який підвищує енергоефективність і коефіцієнт доставки пакетів, підтверджуючи доцільність гібридних підходів для підвищення надійності мереж. [3] Асаамо та ін. запропонували у своєму дослідженні позиційно-гібридний протокол для кластеризованих FANET, демонструючи переваги комбінованих метрик маршрутизації [4], а Пал та ін. довели ефективність гібридних FANET у завданнях збору даних, інтегруючи повітряні та наземні вузли для маршрутизації, що підтверджує перспективність UAV–UGV-архітектур. [5]

Моделювання гібридної FANET-мережі виконано мовою Python. Мережу сформовано як тривимірний граф із 25 вузлів типу UAV та двох наземних ретрансляторів UGV, розташованих у просторі $1000 \times 1000 \times 150$ м. Зв'язки між вузлами встановлювалися у радіусі дії 250 м, а якість каналу (QoS) визначалась експоненційною функцією відстані з випадковими флуктуаціями. В якості досліджуваних маршрутизацій було обрано 3 підходи: класичний — маршрути вибираються за мінімальною кількістю переходів, гібридний кластерний — маршрути формуються з урахуванням показника QoS та переваги використання UGV як стабільних вузлів та машинного навчання (ML) жадібним підбором ваги між хопами.

За результатами моделювання найкраща вага для ML-схеми — $\alpha = 0.25$, що свідчить про пріоритет якості каналу над мінімізацією хопів. Гібридна

схема має найменшу затримку (74.8 мс проти 92.9 мс у класичній) при тій самій кількості хопів (1.58). ML-підхід досяг найвищого PDR = 0.343 та помірної затримки (88.9 мс). Для вузлів 1→20 довжини маршрутів становили 760.7 м (Classic), 718.7 м (Hybrid) і 730.1 м (ML), тобто гібридна схема скорочує шлях приблизно на 5% (Рис. 1).

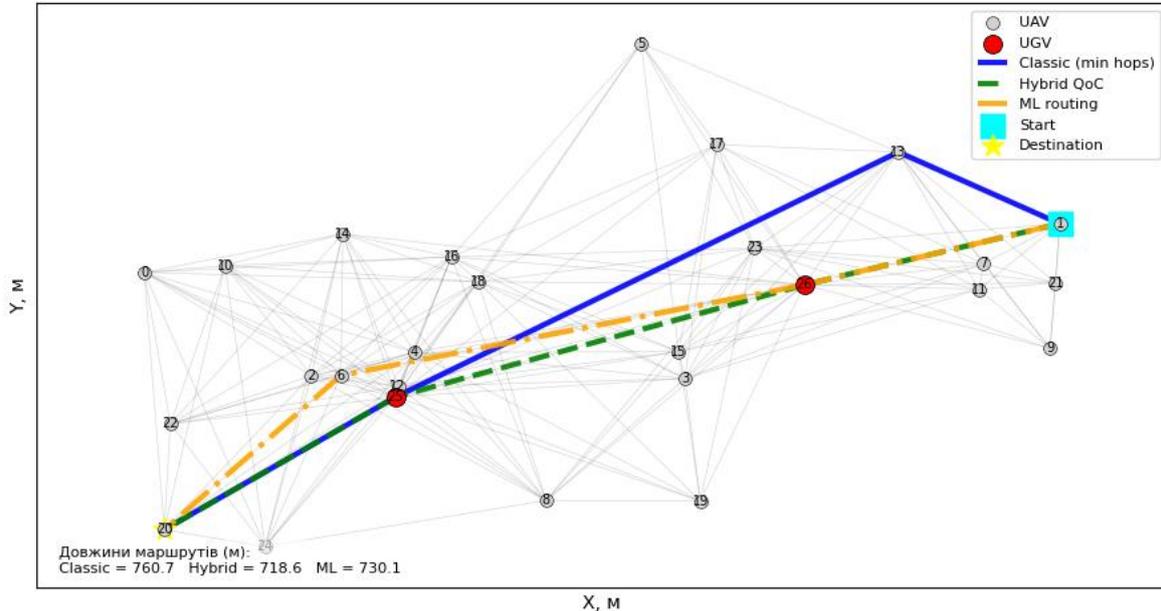


Рис. 1. Маршрути різних схем

За результатами дослідження оцінка ефективності маршрутів у FANET повинна враховувати не лише топологію, а й якість каналу зв'язку, інформативними критеріями якої є PDR, Delay та QoS.

Список використаних джерел

1. Pasandideh, F., da Costa, J. P. J., Kunst, R., Hardjawana, W., & de Freitas, E. P. (2023). A systematic literature review of flying ad hoc networks: State-of-the-art, challenges, and perspectives. *Journal of Field Robotics*, 40(4), 955–979. <https://doi.org/10.1002/rob.22157>
2. Lu, Y., Wen, W., Iгореvich, K. K., Ren, P., Zhang, H., Duan, Y., Zhu, H., & Zhang, P. (2023). UAV ad hoc network routing algorithms in space–air–ground integrated networks: Challenges and directions. *Drones*, 7(7), 448. <https://doi.org/10.3390/drones7070448>
3. Khedr, A. M., & Pravija, R. P. V. (2024). A hybrid MGO-JAYA based clustered routing for FANETs. *Vehicular Communications*, 45, 100729. <https://doi.org/10.1016/j.vehcom.2024.100729>
4. Asaamoning, G., & Mendes, P. (2024). A position-based hybrid routing protocol for clustered flying ad hoc networks. *Drones and Autonomous Vehicles*, 1(2), 10001. <https://doi.org/10.35534/dav.2024.10001>
5. Pal, M., Panja, A. K., Mukherjee, A., Mondal, S., & Basu, A. (2024). A framework for optimal agent deployment and opportunistic routing in flying ad-hoc networks for precision weather forecasting. *Measurement and Control*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1177/00202940241304568>