

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЗВ'ЯЗНОСТІ МЕРЕЖ MANET ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ БПЛА

Валуйський С.В., Турчин Я.В.

Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: turchyn_v@ukr.net

METHOD OF INCREASING MANET CONNECTIVITY USING UAVs

This article describes the problem of maintaining connectivity between ground-based MANET nodes using multiple UAVs, which combines the problem of deploying new added UAVs and the problem of motion control of existing UAVs. The importance of considering existing UAVs to reduce the number of new UAVs added is demonstrated.

З метою вдоволення потреб сучасного суспільства, яке бажає завжди залишатися на зв'язку, а також в результаті появи на ринку різноманітних гаджетів і мобільних пристроїв, що призводять до ще більшого зростання запитів, в даний час можна спостерігати високі темпи розвитку технологій бездротової передачі даних. У свою чергу, це веде не тільки до вдосконалення вже існуючих моделей мереж зв'язку, але також і до пошуку нових варіантів застосування бездротових технологій.

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) стали перспективними ретрансляційними платформами для поліпшення мережевих характеристик (таких як зв'язність та пропускна здатність) для наземних мобільних епізодичних радіомереж (MANET) [1]. MANET (Mobile Ad-hoc Network) – бездротова, децентралізована, мобільна IP-мережа, що здатна до самоорганізації та забезпечує встановлення з'єднань між довільними вузлами.

БПЛА мають кілька унікальних характеристик, придатних для ретрансляції:

По-перше, гнучкість руху БПЛА може розширити сферу застосування наземних мереж, особливо в сценаріях з перешкодами.

По-друге, БПЛА можуть взаємодіяти з наземними вузлами в прямій видимості, що може поліпшити пропускну здатність між наземними вузлами.

По-третє, і останнє, але не менш важливе: БПЛА, які обладнані системами зв'язку, обчислення та управління та різними датчиками, можуть виконувати моніторинг навколишнього середовища та адаптивно керувати своїм рухом. Здатність до адаптації свого положення БПЛА робить їх придатними для надання ретрансляційних послуг для MANET, що мають динамічну топологію мережі.

На сьогодні було докладено багато зусиль для вивчення переваг використання БПЛА в якості ретрансляторів зв'язку для наземних MANET. Однак існуючі роботи з розгортання БПЛА не враховували ситуацію, коли деякі БПЛА вже були розгорнуті на місцях [2]. Під час руху наземних MANET існуючі БПЛА можуть не зуміти з'єднати всі наземні вузли. В такому випадку потрібно вивести нові БПЛА для підтримки зв'язності наземних абонентів. Для

того, щоб мінімізувати кількість нових доданих БПЛА, слід враховувати переміщення як існуючих, так і розміщення нових БПЛА. Це спільна проблема оптимізації, яка оптимізує як розгортання, так і управління рухом кількох БПЛА. В [3] розглядається можливість використання існуючих БПЛА, переміщуючи їх у належні положення, таким чином зменшуючи кількість необхідних нових БПЛА. Існуючі БПЛА мають обмежений діапазон руху, який залежить від швидкості БПЛА.

Для підтримки двоспрямованого зв'язку між БПЛА та наземними вузлами ми припускаємо, що БПЛА мають такий самий діапазон зв'язку, як і наземні вузли. На рис. 1 показаний приклад того, як контроль руху існуючих БПЛА може зменшити кількість необхідних нових БПЛА. Припустимо, що в полі розгорнуто два наземних вузли та два існуючі БПЛА. Оскільки відстань між двома наземними вузлами більше, ніж їхній діапазон зв'язку r , наземна мережа MANET розділена на дві частини, що показано на рис.1(а).

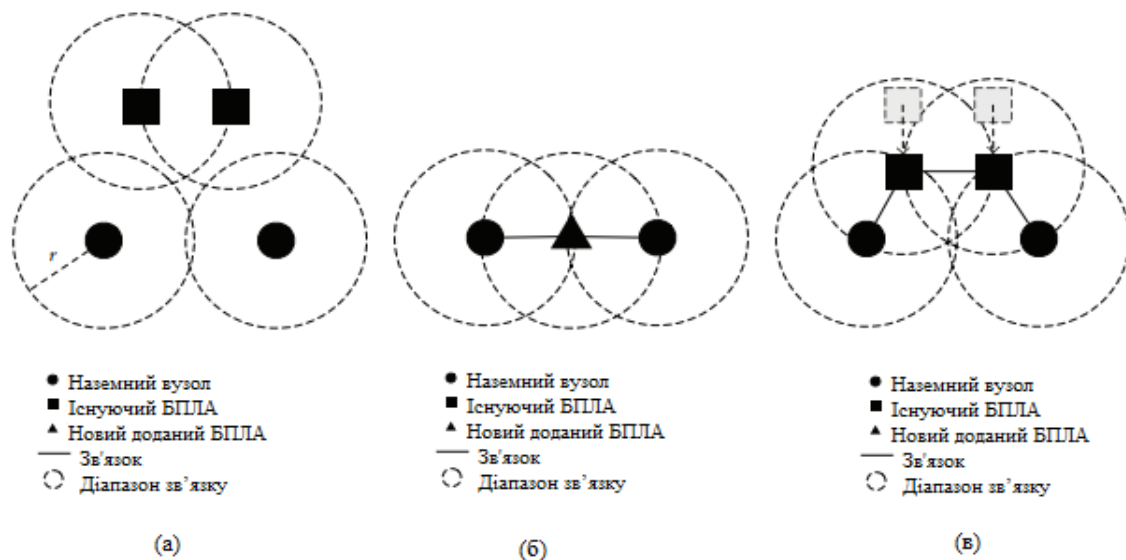


Рис.1. Приклад, який ілюструє важливість існуючих БПЛА у підтримці зв'язку наземних MANET.

Для того, щоб підтримувати зв'язок наземних MANET, методи, які не враховують існуючі БПЛА, додадуть нові БПЛА для з'єднання розділених частин, як показано на рис.1(б). Тут новий БПЛА додано і розміщено посередині двох наземних вузлів. Тож ці два наземні вузли тепер можуть комунікувати між собою за допомогою нового БПЛА. Не розглядаючи існуючі БПЛА, потрібно розгорнути принаймні один додатковий БПЛА, щоб підтримувати зв'язок наземних абонентів [4].

Щоб зменшити капітальні витрати, користувачі намагатимуться всіма силами зменшити кількість нещодавно розгорнутих БПЛА. Іншими словами, вони будуть використовувати наявні БПЛА, а не ігнорувати їх. Переміщаючи існуючі БПЛА у належні положення та використовуючи існуючі БПЛА як ретранслятори, можна покращити зв'язок наземних абонентів [5].

На рис.1(в) показано траєкторію руху існуючих БПЛА. Їх треба

перемістити безпосередньо до границі діапазону наземних вузлів, таким чином щоб відстань між існуючими БПЛА і одним наземним вузлом була меншою за дальність зв'язку r . Після цього між двома наземними вузлами встановлюється маршрут передачі даних із ретрансляцією через існуючі БПЛА. Таким чином, підтримується зв'язок наземних абонентів MANET, і розгортання нових БПЛА не потрібно [6].

Для того, щоб вирішити спільну проблему оптимізації розгортання та управління рухом декількох БПЛА, щоб кількість нових доданих БПЛА була мінімізована, спочатку треба сформулювати цю проблему як проблему мінімального дерева Штейнера з існуючими мобільними точками Штейнера та ребрами обмеженої довжини (MST-EMSELB) і довести NP повноту проблеми. Потім представити алгоритм розміщення неіснуючих БПЛА та розглянути три алгоритми апроксимації поліноміального часу розміщення існуючих БПЛА:

- Розгортання-перед-переміщенням (Deploy-Before-Movement, DBM);
- Переміщення-перед-розгортанням (Move-Before-Deployment, MBD);
- Розгортання-під час-переміщення (Deploy-Across-Movement, DAM).

Перші два алгоритми розділяють загальну проблему на проблему розгортання нових БПЛА та задачу управління рухом існуючих БПЛА. Алгоритм DBM оптимізує розгортання нових БПЛА перед переміщенням існуючих БПЛА, а алгоритм MBD вирішує проблему протилежним чином. Алгоритм DAM – це змішаний алгоритм, який вирішує проблему переміщення та розгортання одночасно. Симуляційні експерименти показують, що всі алгоритми розміщення існуючих БПЛА мають кращі показники щодо числа нових БПЛА, ніж алгоритми розміщення неіснуючих БПЛА. Алгоритм DAM завжди кращий за алгоритми DBM та MBD і може підвищити продуктивність максимум до 70% порівняно з алгоритмом DBM.

Література

1. Z. Han, A. L. Swindlehurst, and K. J. R. Liu, "Optimization of MANET connectivity via smart deployment/movement of unmanned air vehicles," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 58, no. 7, pp. 3533–3546, 2009.
2. K. Chandrashekar, M. R. Dekhordi, and J. S. Baras, "Providing full connectivity in large ad-hoc networks by dynamic placement of aerial platforms," in *Proceedings of the IEEE Military Communications Conference (MILCOM '04)*, vol. 3, pp. 1429–1436, IEEE, Monterey, Calif, USA, October-November 2004.
3. F. Jiang and A. L. Swindlehurst, "Optimization of UAV heading for the ground-to-air uplink," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 30, no. 5, pp. 993–1005, 2012.
4. C. Dixon and E. W. Frew, "Optimizing cascaded chains of unmanned aircraft acting as communication relays," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 30, no. 5, pp. 883–898, 2012.
5. E. L. Lloyd and G. Xue, "Relay node placement in wireless sensor networks," *IEEE Transactions on Computers*, vol. 56, no. 1, pp. 134–138, 2007.
6. W. Zhang, G. Xue, and S. Misra, "Fault-tolerant relay node placement in wireless sensor networks: problems and algorithms," in *Proceedings of the 26th IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM '07)*, pp. 1649–1657, IEEE, Anchorage, Alaska, USA, May 2007.