



**Кравчук Сергій Олександрович,**

*доктор технічних наук, професор кафедри телекомунікацій  
навчально-наукового інституту телекомунікаційних систем  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

**Явіся Валерій Сергійович,**

*кандидат технічних наук, доцент кафедри телекомунікацій  
навчально-наукового інституту телекомунікаційних систем  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

**Лисенко Олександр Іванович,**

*доктор технічних наук, професор кафедри телекомунікацій  
навчально-наукового інституту телекомунікаційних систем  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

**Сушин Ігор Олексійович,**

*аспірант кафедри телекомунікацій навчально-наукового  
інституту телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря  
Сікорського*



### **Огляд методів підвищення ефективності мобільних безпроводових сенсорних мереж**

Бездротові сенсорні мережі все частіше використовуються для організації різних видів моніторингу: параметрів навколишнього середовища, стану конструкцій, будівель та споруд, у системах безпеки (пожежної, сейсмічної, екологічної та ін.), для відстеження цілей у процесі ведення бойових дій і т. п. У таких системах різноманітні дані збираються мультисенсорами, що входять до складу вузлів, розташованих у точках певної географічної області, що підлягають моніторингу, і передаються по бездротовій мережі в центральний вузол (базову станцію) для обробки та прийняття рішень [1].

При організації процесу передачі даних від сенсорного вузла (СВ) до базової станції необхідно враховувати наступне:

1) збір інформації передбачається з великої кількості мобільних СВ, прикріплених до різних об'єктів (мобільних чи стаціонарних);

2) сенсорні вузли, як правило, більшу частину часу знаходяться в режимі сну, а дані, що передаються в активному режимі є невеликими за обсягом;

3) для успішного впровадження у практичну діяльність необхідно, щоб СВ володіли малими розмірами, низькою вартістю та малим енергоспоживанням. Завдання зменшення енергоспоживання автономними пристроями (насамперед сенсорними вузлами) в бездротових сенсорних мережах є першочерговим.

Оскільки сенсорні вузли, як правило, мають можливість застосування альтернативних джерел живлення, або створюються як одноразові пристрої, у яких поповнення енергії взагалі не передбачається.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Бойчук В.В., Яцків В.В. АДАПТИВНИЙ АЛГОРИТМ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ В БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ. Сучасні комп'ютерні інформаційні технології: Матеріали Всеукраїнської конференції з міжнародною участю АСІТ 2017. Тернопіль: ТНЕУ, 2017. 32 с.
2. Dan Popescu, Florin Stoican, Grigore Stamatescu, Oana Chenaru and Loretta Ichim A Survey of Collaborative UAV-WSN Systems for Efficient Monitoring. Sensors 2019, 19 (21), 4690, <https://doi.org/10.3390/s19214690>.
3. Киричек Р.В. Разработка и исследование комплекса моделей и методов для летающих сенсорных сетей: Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.12.13 / Киричек Руслан Викторович. СПб, 2017. 316 с.
4. Cheng Zhan, Yong Zeng, Rui Zhang. Energy-Efficient Data Collection in UAV Enabled Wireless Sensor Network // IEEE Wireless Communications Letters, Volume: PP, Issue 99, 2017.
5. Dac-Tu Ho, Esten Ingar Grotli, and Tor Arne Johansen Heuristic Algorithm and Cooperative Relay for Energy Efficient Data Collection with a UAV and WSN. [http://folk.ntnu.no/torarnj/ho\\_2013.pdf](http://folk.ntnu.no/torarnj/ho_2013.pdf).
6. Imad Jawhar, Nader Mohamed, Jameela Al-Jarood UAV-based data communication in wireless sensor networks: Models and Strategies, International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 2015.
7. Романюк, А. В. Методи збору даних з безпроводових сенсорних мереж телекомунікаційними аероплатформами : автореф. дис. канд. техн. наук.: 05.12.02 Телекомунікаційні системи та мережі / Романюк Антон Валерійович. Київ, 2021. 26 с.
8. Cheng Zhan, Yong Zeng, Rui Zhang. Energy-Efficient Data Collection in UAV Enabled Wireless Sensor Network // IEEE Wireless Communications Letters, Volume: PP, Issue 99, 2017. Романченко І.С. Моделі застосування інформаційно-телекомунікаційних технологій на основі безпілотних авіаційних комплексів у надзвичайних ситуаціях / І.С. Романченко, С.Л. Данилюк, С.М. Чумаченко [та ін.]. К: НАУ, 2016. 232 с.



Зменшення споживання енергії на всіх етапах роботи дозволяє продовжити термін служби сенсорної мережі, зменшити її вартість та підвищити енергоефективність апаратури. Відомо, що найбільша витрата енергії СВ припадає на етапи передачі та прийому інформації, тому при виборі алгоритмів для організації збору даних із СВ слід надавати перевагу алгоритмам з невисокою складністю; мінімізувати обсяги переданих метаданих та службової інформації; орієнтуватися на необхідність економії енергії передусім сенсорних вузлів, а не базової станції.

Для БСМ, розгорнутих у місцях з відсутньою телекомунікаційною інфраструктурою загального користування, існує значна складність або неможливість збору даних моніторингу. Для вирішення проблеми з відсутньою телекомунікаційною інфраструктурою в архітектурі мереж стає доцільним використання телекомунікаційних аероплатформ (ТА), які дозволяють з'єднати незв'язні фрагменти мережі, збільшити час безвідмовної роботи мережі, а також значно скоротити час збору даних. Однак, аби реалізувати процес збору даних моніторингу в системі управління неоднорідною мережею, необхідно впроваджувати відповідні методи та алгоритми управління.

Існують два основних методи збору інформації моніторингу з вузлів БСМ з використанням ТА в якості мобільного повітряного шлюзу [2, 4 – 9]:

прямий (безпосередній) збір ТА інформації моніторингу з кожного вузла мережі;

збір ТА інформації моніторингу з виділених головних вузлів кластеризованої мережі.

1. Прямий (безпосередній) збір ТА інформації моніторингу з кожного вузла мережі [2,3, 4 - 7, 9].

Використовуючи цей метод, телекомунікаційна аероплатформа облітає повністю зону моніторингу (або окремо взятий вузол) за розрахованим маршрутом, збираючи та зберігаючи дані моніторингу з кожного сенсорного вузла. Перевагами цього методу є відносно низьке енергоспоживання сенсорного вузла при передачі даних (у разі невеликої відстані між сенсорним вузлом і ТА), також мала затримка при передачі даних. Недоліками є збільшення довжини маршруту та часу прольоту телекомунікаційної аероплатформи (це зумовлює підвищення вимог до БПЛА), внаслідок чого витрачається більше часу на збір інформації моніторингу мережі. Цей метод краще використовувати під час початкового прольоту області, де розгорнуто беспроводову сенсорну мережу, за відсутності початкової інформації про конфігурацію мережі та стан вузлів. За цих умов маршрут прольоту будується так, щоб охоплювати всю зону спостереження.

В процесі обльоту ТА збирає як інформацію моніторингу, так інформацію про стан мережі (стан вузлів, підмереж, кластерів) для подальшого планування центром управління (ЦУ) мережею завдань управління [7].

Щоб скоротити час прольоту та час збору моніторингових даних, необхідно певну кількість вузлів об'єднати у кластери, обрати точки збору даних у середині кластера та проводити обліт тільки визначених точок.

В роботах [3, 5, 9] запропоновано знаходити «центри мас» кластерів та здійснювати обліт ТА тільки через центр цих кластерів, що значно скорочує час обльоту, однак ці методи не враховують можливість мінімізації кількості кластерів за рахунок адаптації до радіуса покриття (висоти польоту) ТА, стан енергії вузлів та не впливають на час функціонування БСМ. Тому потребують свого вдосконалення [7].

2. Збір ТА інформації моніторингу з головних вузлів кластерів мережі [2, 5 – 9].

За допомогою цього методу мережа завдяки самоорганізації розділяється на кластери, а основні вузли кластерів вибираються за певним алгоритмом. Після чого створюється топологія та маршрут передачі даних від простого сенсорного вузла до центрального вузла, що збирає та зберігає моніторингові дані власного кластера до часу підльоту телекомунікаційної аероплатформи. Потім ЦУ мережею створює маршрут прольоту та збору даних тільки з основних кластерних вузлів.

Переваги: порівняно з першим методом скорочується час прольоту та час збору моніторингової інформації, а також необхідна менша кількість телекомунікаційних аероплатформ. Але для управління мережею з'являється потреба у використанні математичних алгоритмів, які потребують додаткового мережевого трафіку та спеціального програмного забезпечення для використання в системах управління вузлами.

До переліку алгоритмів управління БСМ належать [7]:

поділ мережі на кластери (повинна бути проведена оптимізація кількості та розмірів кластерів в залежності від різних цільових функцій, наприклад, мінімізувати витрату енергії вузлів в процесі передачі від вузлів-моніторингу до головного вузла, забезпечити час доставки від вузла-моніторингу до головного вузла тощо);

вибір головних вузлів в кластерах за певними параметрами в залежності від цільових функцій управління мережею і ситуації на мережі;

побудова енергоефективної топології в кластерах;

організація процесу маршрутизації даних моніторингу від всіх звичайних вузлів до головних вузлів (необхідно визначити спосіб і метрики побудови та підтримки маршрутів передачі);

побудова, оптимізація та корегування маршруту об'їзду ТА головних вузлів тощо.

Результати аналітичного огляду вказують на недостатню ефективність більшості наявних методів збору даних. Дані методи не здатні враховувати специфіку функціонування конкретних мереж, багатокритеріальний характер цільових функцій управління мережею. Ще більш проблематичним є той факт, що наявні методи збору даних з наземних бездротових сенсорних мереж не завжди прийнятні (в умовах відсутності телекомунікаційної інфраструктури), а також є неефективними, оскільки призводять до швидкої розрядки батарей на вузлах, а отже, і зменшують час роботи мережі. Алгоритми збору даних, що використовують телекомунікаційні аероплатформи, наразі перебувають на вихідному етапі створення, не беруть до уваги доступні мережеві ресурси, не розв'язують завдання багатоцільового управління (оптимальний час збору моніторингових даних та роботи бездротової сенсорної мережі, кількість телекомунікаційних аероплатформ), рідко вдається відпрацювати отримані рішення одразу, не оптимізуються кількість кластерів, конфігурація кластерів та маршрути передачі даних, а отже, повинні бути удосконалені.

