

## МЕТОДИ ЗБОРУ ДАНИХ МОНІТОРІНГУ ВІД ВУЗЛІВ БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ З ВИКОРИСТАННЯМ БПЛА

Лисенко О.І.<sup>1</sup>, Романюк А.В.<sup>1</sup>, Стрела Т.С.<sup>2</sup>

1. Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського

2. Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Україна

E-mail: anton.romaniuk@gmail.com

### Methods of data gathering in wireless sensors networks with the use the UAV

Two methods of collecting monitoring data from nodes of a wireless sensor network using UAV (direct and rendezvous) that implement the achievement of various target network management functions are proposed: minimum UAV, maximum network lifetime, specified data transmission quality.

Безпроводові сенсорні мережі (БСМ) знаходять широке застосування в таких проектах, як „Розумне місто”, „Розумний будинок”, „Літаючі мережі”, „Інтернет речей”, в умовах надзвичайних ситуаціях тощо. Область моніторингу БСМ може становити від декількох метрів до десятків кілометрів. Для БСМ значної розмірності без наявної комунікаційної інфраструктури, видалених сенсорних вузлів доцільно використовувати БПЛА (або мережу БПЛА) в якості повітряного шлюзу для збору даних моніторингу.

Для реалізації процесу збору даних моніторингу з вузлів в системі управління БСМ необхідно реалізувати відповідні методи і алгоритми управління. Запропоновані на сьогодні методи і алгоритми збору даних вирішують лише часткові завдання збору даних, не враховують особливості функціонування конкретних мереж (наприклад, функціонування в умовах відсутності телекомунікаційної інфраструктури), багатокритеріальний характер цільових функцій управління мережею та потребують вдосконалення [1].

Метою роботи є підвищення ефективності процесу збору даних моніторингу БПЛА з вузлів БСМ, яка працює при відсутності телекомунікаційної інфраструктури. Пропонується два вдосконалені методи збору даних моніторингу з використанням БПЛА: метод безпосереднього збору даних з кожного вузла і метод збору даних з головних вузлів кластерів.

I. Метод безпосереднього збору даних моніторингу БПЛА з наземних вузлів здійснюється за рахунок побудови тимчасових кластерів БСМ. БПЛА тимчасово виконує роль голови кластеру та керує процесом збору даних. Метод складається з 4-х основних етапів:

1. Пошук в БСМ мінімальної кількості точок збору даних БПЛА (цільова функція – мінімум задіяних БПЛА) – знаходження так званих центрів мас (рис. 1). Адаптація розміру  $R$  зони покриття БПЛА для зменшення відстані між вузлом і ТА.

2. Побудова найкоротшого базового маршруту польоту БПЛА між точками збору для мінімізації часу збору даних моніторингу (цільова функція – мінімум часу збору даних).

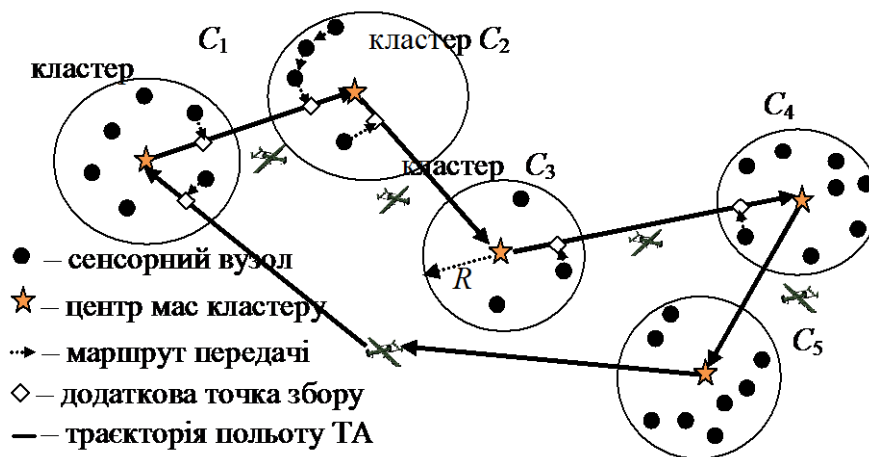


Рис. 1. Переміщення ТА для збору даних моніторингу.

3. Корегування базового маршруту обльоту (цільова функція – максимум часу функціонування БСМ). Для цього планується:

- обліт „критичних” вузлів (з малою залишковою енергією батареї, значними обсягами даних) на гранично малій відстані до них;

- призначення додаткових точок обміну даними між вузлом-БпЛА, які знаходяться на найближчій відстані до траєкторії польоту (рис. 1) (цільова функція – мінімальна потужність передачі вула);

- кооперативна робота групи близько розташованих вузлів до маршруту обльоту БпЛА. Вони будують коротший маршрут передачі між ними та вузлами, які знаходяться найближчими до маршруту польоту БпЛА (кластер 2 рис. 1), за метрикою  $w_{ij}=(p_{ij}l)/s$ , де  $p_{ij}$  – потужність передачі при заданому відношенні сигнал/шум між вузлами  $i, j$  БСМ або вузлами БСМ і БпЛА,  $l$  – довжина даних моніторингу,  $s$  – швидкість передачі. Шляхи передачі між вузлами і БпЛА знаходяться за допомогою алгоритму пошуку найкоротшого шляху Белмана-Форда з  $w_{ij}$  метрикою.

4. Планування передач вузлів в кластерах для забезпечення якості обслуговування. Для цього:

- висота польоту та швидкість передачі розраховуються для забезпечення часу, достатньому для передачі даних вузлами із заданою якістю;

- планування передач вузлів в кластері здійснюється за правилом: найвіддалений вузол від маршруту переміщення БпЛА – передає першим;

- рівень потужності передачі між вузлом і БпЛА встановлюється на мінімальному рівні.

II. Метод збору даних з головних вузлів кластеру (метод-рандеву) передбачає наступні етапи функціонування.

1. Кластеризація БСМ вузлами мережі.

а) На етапі планування мережі відбувається планування розмірів та кількості кластерів в залежності від необхідної кількості раундів обльоту, яка залежить від часу функціонування мережі. Для розрахунку часу функціонування БСМ запропонована модель розрахунку витрат енергії вузлів,

які можуть виконувати різні функції: тільки моніторингу, моніторингу та маршрутизації, моніторингу та головного вузла кластеру.

б) На етапі роботи БСМ: здійснюється обмін службовими повідомленнями між вузлами та вибір головного вузла за декількома метриками (енергія вузла, рівень сигналу в радіоканалі вузол-БпЛА тощо); формування кластерів заданої якості.

в) Побудова топології за визначеними енергоефективними правилами.

г) Побудова та підтримка маршрутів в кластері від простих вузлів до головних вузлів кластеру за згортокою метрик – потужність передачі та наявна енергія батарей вузлів.

2. Передача даних моніторингу в кластерах від простих вузлів до головних.

3. Побудова найкоротшого базового маршруту обльоту БпЛА через головні вузли кластерів.

4. Обліт БпЛА головних вузлів кластерів та збір з них даних моніторингу (при цьому можливо корегування польоту в межах кластерів, як це пропонується у першому методі).

Відмінність застосування розроблених методів: метод безпосереднього збору не вимагає суттєвих вимог до системи управління вузлом. Фактично достатньо можливості функціонування радіоканалу вузол-БпЛА. Це значно здешевлює сенсорні вузли.

Метод-рандеву має суттєву перевагу щодо терміну збору даних, часу функціонування БСМ, але потребує реалізації додаткових алгоритмів в системі управління вузлом (кластеризації, побудови та підтримки топології, маршрутизації), що вносить значний службовий трафік та збільшує вартість вузлів БСМ.

Здійснено моделювання запропонованих методів збору даних у середовищі MATLAB. Отримані результати моделювання близькі до оптимальних рішень (відхилення від оптимальних, отриманих методом повного перебору, не перевищує 10 %). Застосування методу дозволяє отримати вигоду у часі збору даних моніторингу мережі на 10-15 % у порівнянні з існуючими методами, збільшити час функціонування мережі, зменшити кількість БпЛА і використовувати алгоритм для оперативного управління положенням БпЛА.

Таким чином, розроблені методи, математичні моделі та алгоритми їх реалізації дозволяють: визначати квазіоптимальне положення БпЛА для досягнення різних цільових функцій управління та здійснювати управління положенням ТА у режимі реального часу; планувати маршрути переміщення БпЛА; підвищити ефективність алгоритмічного та математичного забезпечення системи управління БСМ з БпЛА.

### Література

1. Романюк А.В. Задачі управління збором даних моніторингу БПЛА в безпроводних сенсорних мережах // Збірник наукових праць ВІТІ, 2018, №2. – С. 103 – 112.
2. Романюк А.В. Метод сбора информации мониторинга в беспроводных сенсорных сетях с использованием БПЛА // Збірник наукових праць ВІТІ, 2018, №1. – С. 90 – 99.