

ПРАВИЛА ПОБУДОВИ ТРАЄКТОРІЇ ПОЛЬОТУ КОМУНІКАЦІЙНОЇ АЕРОПЛАТФОРМИ ДЛЯ ЗБОРУ ДАНИХ З ВУЗЛІВ БЕЗПРОВОДОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ

Романюк В.А., Гримуд А.Г.

*Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Україна
E-mail: romval2016@gmail.com*

RULES FOR CONSTRUCTING THE FLIGHT TRAJECTORY OF A COMMUNICATION AIRPLANE PLATFORM FOR DATA COLLECTION FROM WIRELESS SENSOR NETWORK NODES

Options have been proposed for the formation of rules for constructing the flight path of a communication aerial platform for collecting data from nodes of a wireless sensor network to optimize the time of data collection and the operating time of network nodes.

Розглядається безпроводова сенсорна мережа (БСМ) з незв'язними стаціонарними вузлами, які розташовані на важкодоступній території при відсутності будь-якої комунікаційної інфраструктури. БСМ має значну розмірність (сотні, тисячі вузлів) та обмежені ресурси вузлів (енергія батареї, продуктивність процесора, обсяг пам'яті, потужність передавача, тощо). Збір інформації моніторингу з вузлів БСМ в умовах відсутності зв'язності між ними можливий тільки з застосуванням комунікаційної аероплатформи (КА), яка побудована на базі БПЛА. Сенсорні вузли здійснюють збір даних про параметри зовнішнього середовища (об'єктів, цілей) зон моніторингу, їх збереження та подальшу передачу до комунікаційної аероплатформи при наявності з нею радіозв'язності.

Основними цільовими функціями процесу збору даних КА з вузлів БСМ можуть бути: мінімізація часу (граничний час) збору даних, максимізація часу (визначений час) функціонування мережі [1, 2]. Досягнення цих оптимізаційних задач залежить від прийнятого рішення по траєкторії польоту КА для збору даних з вузлів мережі.

Найпростіше рішення по траєкторії КА – реалізувати обліт всієї площі розташування вузлів БСМ (фактично реалізується при первинному обльоті) за певними алгоритмами (правилами): за смугами (вертикальними або горизонтальними), за периметром, тощо. Однак таке рішення призводить до значного часу обльоту вузлів мережі КА. Другий спосіб – віртуальна кластеризація мережі, визначення в кластерах точок збору даних (зазвичай в центрі кластеру) та побудова траєкторії польоту КА між точками збору.

В роботах [1, 2] запропонована ієрархія рішень (алгоритмів, правил) по досягненню визначених цільових функцій за рівнями: вся мережа, конкретний кластер, КА-група вузлів, КА-окремий вузол.

На мережевому рівні досягнення цільових функцій відбувається (рис. 1):

1. Оптимізацією розмірів зони покриття R (шляхом визначення висоти польоту КА, діаграми спрямованості антени). Проводиться віртуальна

однорідна кластеризація мережі з адаптацією фіксованого розміру кластерів (використовується алгоритм кластерного аналізу FOREL) з врахуванням координат вузлів, їх взаємного розташування та пріоритету цільових функцій.

2. Оптимізацією кількості віртуальних кластерів, яка досягається застосуванням множини правил об'єднання (роз'єднання) кластерів, правил визначенням точок формування та перебору кластерів.

3. Визначенням кращого евристичного алгоритму пошуку найкоротшого маршруту обльоту КА центрів кластерів з визначеної множини (наприклад, за клітинками, опуклої оболонки, найближчого сусіда тощо). Кожен з цих алгоритмів має свої параметри оптимізації. Так для алгоритму пошуку найкоротшого маршруту обльоту КА за клітинками пропонується проводити оптимізацію розмірів клітинок, випуклої оболонки – її розміру, найкоротшого маршруту – кількості найкоротших ділянок (1...5, обмеження пов'язано зі значним збільшенням перебору варіантів із-за обчислювальної складності алгоритму).



Рис. 1. Етапи синтезу правил побудови траєкторії польоту КА для збору даних з вузлів БСМ

4. Визначенням кількості та локації точок (інтервалів) для обміну при зависанні (в русі) КА для збору даних з врахуванням: параметрів груп вузлів та окремих вузлів (взаємне розташування відносно траєкторії, наявна енергія вузлів, обсяг даних моніторингу), пріоритету цільових функцій тощо [1].

Основними способами визначення точок є:

при побудові ділянки траєкторії КА між кластерами відразу будуються точки (інтервали) обміну вузлів на цієї ділянці траєкторії;

побудова точок (інтервалів) обміну відбувається після формування всієї траєкторії (фактично враховується можливість розташування вузла ближче до будь-якої іншої ділянки траєкторії);

врахування наближеності вузла до певного центру кластера.

Для оцінки ефективності можливих варіантів формування правил побудови траєкторії КА на мові Python розроблена відповідна імітаційна модель процесу збору даних з вузлів БСМ з використанням КА.

Для моделювання визначені наступні вхідні дані.

1. Характеристики мережі, вузлів, КА:

форма (прямокутник, коло, смуга) та розмір площі розташування вузлів БСМ, їх кількість, тип (однорідний, з групуванням) та координати розміщення; обсяг зібраних даних моніторингу кожним вузлом та інтенсивність збору тощо;

технічні характеристики вузла – кількість та типи сенсорних датчиків, рівень енергії батареї, витрати енергії на моніторинг параметрів середовища (об'єктів) для кожного типу датчика тощо;

комунікаційні характеристики вузла – параметри антени, прийомопередавача, витрати енергії на біт прийому та передачу даних для обраного MAC-протоколу, відстані та типу обладнання тощо;

польотні характеристики КА (БПЛА) – тип, швидкість, висота, час та дальність польоту, енергія батареї, витрати енергії на рух та інформаційний обмін, можливість зависання та переміщення у просторі тощо;

комунікаційні характеристики КА – MAC-протокол, параметри антени, прийомопередавача, обсяг пам'яті та ін.

2. Множина алгоритмів (правил) мережевої оптимізації згідно розглянутих варіантів їх формування:

алгоритм кластеризації мережі (FOREL) з множиною правил оптимізації розмірів та кількості кластерів, вибору точок визначення кластерів;

алгоритми пошуку найкоротшого маршруту (найближчого сусіда, клітинок, зовнішньої оболонки з відповідними параметрами оптимізації), тощо;

правила визначення точок (інтервалів) збору даних в русі на траєкторії польоту КА (в процесі та після побудови траєкторії, з врахуванням зависання в центрах кластерів тощо).

В результаті моделювання отримано залежності часу збору даних, часу функціонування мережі від вхідних параметрів мережі та множини правил побудови траєкторії КА. Крім цього модель дозволила дослідити: параметри оптимізації при кластеризації (кількість та розміри кластерів, варіанти), правила знаходження точок (інтервалів) збору даних на траєкторії польоту КА, параметри оптимізації алгоритмів пошуку найкоротшого маршруту тощо.

Таким чином, результати моделювання показали, що єдиної універсальної множини правил не існує. Досягнення раціонального рішення по траєкторії КА буде відбуватися за ієрархією (згідно цільової функції) з визначеної множини правил. Розроблена імітаційна модель процесу збору даних КА з вузлів БСМ працює в режимі близькому до реального часу, дозволяє провести оцінку ефективності застосування правил та може бути використана як на етапі проектування системи управління КА, так і на етапі оперативного управління.

Література

1. Romaniuk V., Hrymud A. A model of situational control of the telecommunication aerial platform flight trajectory to collect data from nodes of a wireless sensor network. Communication, informatization and cybersecurity systems and technologies, 2023. № 3. p. 88 – 100. DOI: 10.58254/viti.3.2023.12.101.
2. Romaniuk V., Hrymud A. Analysis of the rules for constructing a flight trajectory of a communication aerial platform for data collection from nodes of a wireless sensor network. Communication, informatization and cybersecurity systems and technologies, 2023. № 4. p. 65 – 81. DOI: 10.58254/viti.4.2023.06.65.