

ЗАДАЧІ ПЛАНУВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ ПОЛЬОТУ ГРУПИ БПЛА ДЛЯ ЗБОРУ ДАНИХ З ВУЗЛІВ БЕЗПРОВОДОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ

Романюк В.А.¹, Гримуд А.Г.²

¹*Військовий інститут телекомунікацій та
інформатизації імені Героїв Крут, Україна*

²*Національний університет оборони України, Україна
E-mail: romval2016@gmail.com; grimood@ukr.net*

TASKS FOR PLANNING THE FLIGHT TRAJECTORY OF A MULTI-UAVS FOR DATA COLLECTION FROM NODES A WIRELESS SENSOR NETWORK

An improved algorithm for constructing a flight trajectory and collecting multi-UAV data from wireless sensor network nodes is proposed to achieve certain objective control functions.

Розглядається безпроводова сенсорна мережа (далі – БСМ) з незв’язними наземними стаціонарними вузлами, які випадковим чином розташовані на важкодоступній території, де відсутня будь-яка комунікаційна інфраструктура. БСМ має значну розмірність (сотні, тисячі вузлів) та обмежені ресурси вузлів (енергія батарей, 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 комунікаційних аероплатформ (далі – КА), які побудовано на базі безпілотної літального апарату (далі – БпЛА) [1-4]. Сенсорні вузли здійснюють збір даних (моніторинг) параметрів зовнішнього середовища (об’єктів, цілей), їх збереження та подальшу передачу до комунікаційної аероплатформи при наявності з нею радіозв’язності.

Однією з найважливіших завдань збору даних є завдання планування траєкторії польоту БпЛА, тобто визначення набору точок у просторі.

Процес планування траєкторії польоту для збору даних групи БпЛА здійснюється наземним центром управління, в процесі польоту та збору даних кожна КА корегує заплановане рішення згідно реальних умов та параметрів вузлів мережі (координати, рівень енергії батарей та обсяг даних) на момент польоту та визначеного пріоритету цільових функцій [1-3].

Мета роботи – провести класифікацію задач планування траєкторії польоту (зависання) групи БпЛА та визначити алгоритми їх рішення.

Основними цільовими функціями процесу збору даних КА з вузлів БСМ можуть бути: мінімізація часу (граничний час) збору даних $T_{зб}$, максимізація часу (визначений час) функціонування вузлів мережі $T_{ф}$, мінімізація кількості КА тощо [1, 2]. Реалізація цих оптимізаційних задач залежить від прийнятого рішення по траєкторії польоту КА для збору даних з вузлів сенсорної мережі.

Постановка та рішення задачі планування траєкторії польоту групи БпЛА залежить від вихідних даних (рис.1): кількість вузлів, КА та їх параметри (однорідні або неоднорідні); наявність або відсутність мобільних пунктів зарядки батарей БпЛА; кількість (одна або декілька) та локація (однакова або

різна) точок вильоту та повернення КА; способи обльоту БСМ (за територією або за точками збору даних); створення повітряної мережі (для передачі даних моніторингу на базову станцію та координації своїх дій з іншими КА) або ні, наявність перешкод (заборонених зон) польоту тощо.

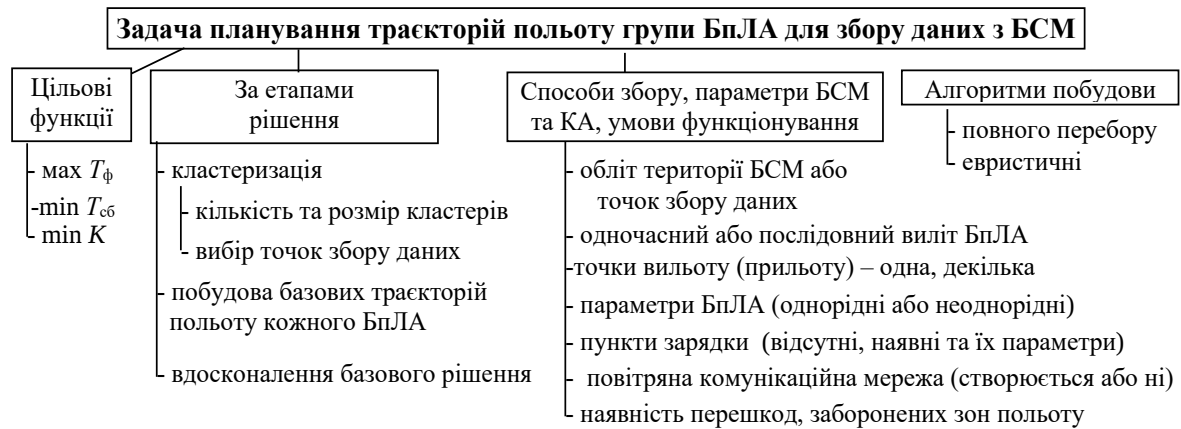


Рис. 1. Класифікація задач планування траєкторії польоту групи БпЛА.

Будувати траєкторію групи БпЛА можна двома основними способами:

1. Реалізувати обліт всієї площі (території) розташування вузлів БСМ. Наприклад, розбиття на квадрати територію БСМ (здійснити накладання сітки), розподіл квадратів між КА та їх обліт за певними відомими алгоритмами: за смугами, за периметром, за спіраллю, зігзаг тощо [3]. Однак такий спосіб призводить до значного часу обльоту вузлів мережі КА, хоча він фактично реалізується тільки при первинному обльоті КА мережі для збору інформації про поточні параметри вузлів.

2. Віртуальна кластеризація вузлів мережі з визначенням у просторі точок збору даних та побудова траєкторії польоту КА між точками збору даних.

Постановка задачі. Дано: наземна безпроводова БСМ значної розмірності з незв'язною топологією. Збір даних моніторингу здійснює декілька (K) комунікаційних аероплатформ. Виліт (приліт) групи КА здійснюється одночасно з визначеної точки, політ здійснюється зі створенням повітряної мережі, яка застосовується в якості каналу управління польотом БпЛА.

Необхідно: визначити траєкторію польоту кожної БпЛА для досягнення певних цільових функцій (мінімізація часу збору, максимізація часу функціонування мережі тощо)

Припущення: для збору даних з сенсорних вузлів КА використовують радіоканали прямої видимості, розмір кластера радіозв'язності КА-вузли визначається висотою польоту та параметрами прийомопередавачів (антен) вузлів та КА, протоколом каналного рівня, обмін даними в кластері між БпЛА та вузлами здійснюються в процесі засисання в точках збору та в процесі польоту.

Задача побудови траєкторії польоту групи БпЛА можна віднести до задачі пошуку найкоротшого шляху для декількох комівояжерів (MTSP, Multi Traveling Salesman Problem algorithm). Метою MTSP є мінімізація загального часу виконання місії. Однак в нас інша мета – мінімізувати максимальний час

збору T_k даних серед k -БпЛА (задача $\min \max T_k$).

Загалом рішення задачі пошуку найкоротшого шляху для декількох комівояжерів є NP -складною [4]. Отримане точного рішення в реальному часі для БСМ значної розмірності стає не можливим. Тому доцільно використовувати евристичні алгоритми пошуку рішення.

Найпростіше рішення по плануванню траєкторії польоту групи КА – побудувати траєкторію обльоту для одного БпЛА, яку потім розподілити на сегменти для рішення задачі комівояжера для кожного БпЛА групи [4].

Тому спочатку проводиться віртуальна кластеризація мережі з адаптацією розміру кластерів (використовується алгоритм кластерного аналізу FOREL (FORmal Element)) з врахуванням координат вузлів, їх взаємного розташування, обсягу даних, енергії батарей та пріоритету цільових функцій [1-3] та визначенням майбутніх точок зависання (збору) даних траєкторії БпЛА [1, 2]. Потім обраховуємо оптимальну траєкторію обльоту всіх точок збору для одного БпЛА [3]. Далі плануємо траєкторію кожного БпЛА за рахунок поділу загальної траєкторії на певні ділянки. Будуємо базові траєкторії БпЛА (застосування алгоритму рішення завдання про циклове покриття фіксованої потужності k мінімальної ваги (Minimum-weight k -Size Cycle Cover Problem, Min- k -SCCP) [4]). Отримані базові рішення ітераційно покращуємо за допомогою запропонованих евристик, які перерозподіляють точки збору між траєкторією з більшим часом до траєкторії з меншим часом.

Таким чином, розглянуті завдання планування траєкторії групи КА для збору даних з БСМ. Запропонований евристичний алгоритм планування траєкторії польоту групи БпЛА, якій складається з наступних кроків: кластеризація мережі з визначенням точок збору даних, побудова траєкторії польоту для одного БпЛА, розбиття траєкторії одного КА на K -траєкторій, покращення рішення по досягненню визначених цільових функцій.

Побудована імітаційна модель процесу збору даних групою БпЛА дозволила провести оцінку ефективності запропонованих рішень та показати перевагу в порівнянні з відомими рішеннями.

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.
3. Романюк В.А., Гримуд А.Г. Алгоритми побудови траєкторії комунікаційної аероплатформи для збору даних з вузлів безпроводової сенсорної мережі. Communication, informatization and cybersecurity systems and technologies, 2024. № 6. p.186 – 203. <https://doi:10.58254/viti.6.2024.15.186>.
4. Zhen Qin, Aijing Li, Chao Dong, Haipeng Dai, Zhengqin Xu. Completion Time Minimization for Multi-UAV Information Collection via Trajectory Planning. Sensors 2019, 19, 4032; doi:10.3390/s19184032.