

## **МОДЕЛЬ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ПО ТРАЄКТОРІЇ ПОЛЬОТУ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЮ АЕРОПЛАТФОРМОЮ ДЛЯ ЗБОРУ ДАНИХ МОНІТОРИНГУ З ВУЗЛІВ БЕЗПРОВОДОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ**

**Гримуд А.Г., Романюк В.А.**

*Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Україна*

*E-mail: romval2016@gmail.com*

### **DECISION-MAKING MODEL ON THE FLIGHT TRAJECTORY OF A TELECOMMUNICATION AIRPLANE PLATFORM FOR MONITORING DATA COLLECTION FROM WIRELESS SENSOR NETWORK NODES**

A situational model for constructing a trajectory for flying around UAVs over wireless sensor network nodes is proposed to achieve the specified objective functions: minimum data collection time, maximum network lifetime.

Розглядається безпроводова сенсорна мережа (БСМ) зі стаціонарними наземними вузлами, які розташовані на важкодоступній (постраждалій від надзвичайної ситуації) території в умовах відсутності будь-якої телекомунікаційної інфраструктури. БСМ характеризується наступними параметрами: значна розмірність (сотні, тисячі вузлів), обмеженість ресурсів вузлів (енергія батареї, продуктивність процесора, пам'ять, потужність передавача, тощо). Збір інформації моніторингу з вузлів БСМ в умовах відсутності зв'язності між вузлами можливий з застосуванням мобільних роботів або телекомунікаційних аероплатформ (ТА). Сенсорні вузли здійснюють моніторинг певних параметрів зовнішнього середовища (об'єктів зон свого контролю), зберігають ці дані та при появі ТА в зоні їх радіозв'язку передають дані до ТА.

Основними цільовими функціями процесу збору даних з вузлів БСМ ТА можуть бути: мінімізація часу (граничний час) збору даних  $T_{зб}$ , максимізація часу (визначений час) функціонування мережі  $T_{ф}$ , мінімізація кількості задіяних ТА [1, 2]. Виконання цих задач залежить від рішення по траєкторії польоту ТА. Найпростіше рішення – обліт всієї площі розташування вузлів БСМ (можливі різні маршрути обльоту – спіраллю, зигзагом, змійкою тощо), однак це рішення призводить до значного часу обльоту ТА. Другий спосіб – віртуальна кластеризація мережі, визначення в кластерах точок збору даних (зазвичай в центрі кластеру) та побудова траєкторії польоту ТА між точками збору.

Пропонується ієрархічна модель прийняття рішень по визначенню траєкторії польоту ТА для збору даних моніторингу з вузлів БСМ з реалізацією визначених цільових функцій за рівнями: вся мережа, конкретний кластер, ТА-група вузлів, ТА-окремий вузол [1, 2] (рис. 1):

1. На мережевому рівні досягнення цільових функцій відбувається визначенням кількості віртуальних кластерів та їх розмірів (шляхом визначення висоти польоту ТА, діаграми спрямованості антени). Проводиться віртуальна

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

2. На рівні кластера визначається кількість та локації точок зависання ТА для збору  $Q_k$  в кожному  $k$ -му кластері з врахуванням: параметрів груп вузлів та окремих вузлів (взаємне розташування, наявна енергія вузлів, обсяг даних моніторингу  $V_{\text{дм}}$ ), пріоритету цільових функцій шляхом додаткової неоднорідної кластеризації [1].

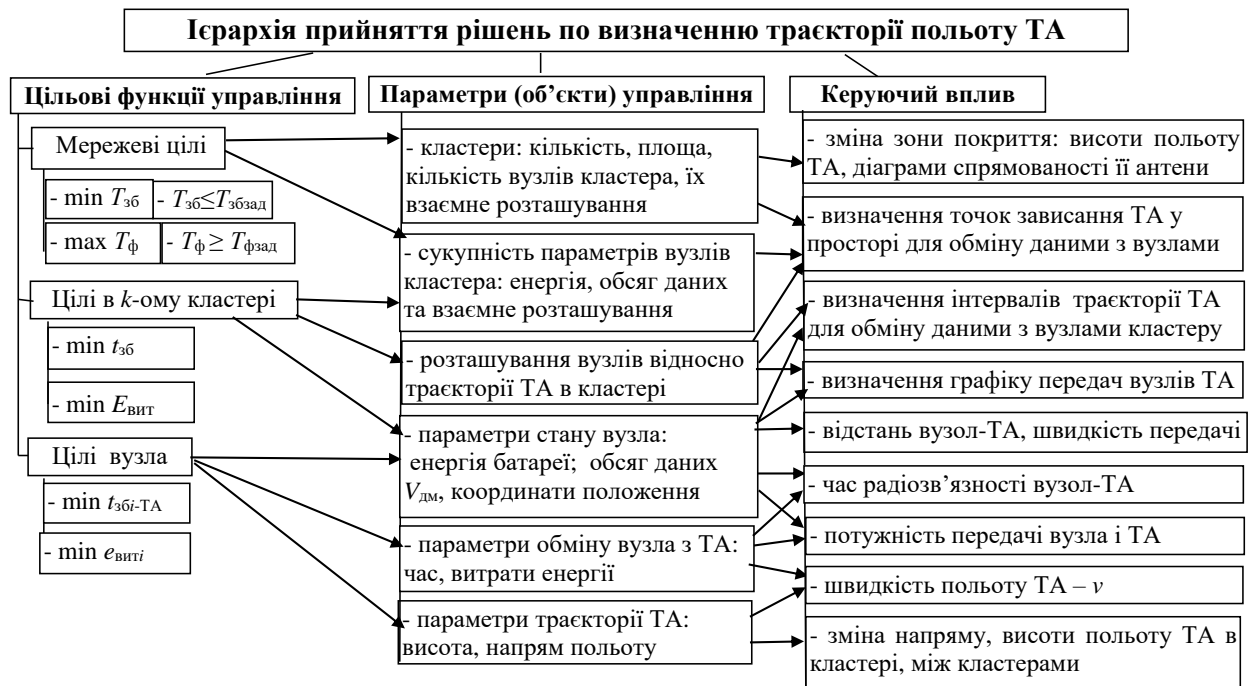


Рис. 1. Модель прийняття рішень по визначенню траєкторії польоту ТА.

3. На рівні мережі будується базовий маршрут польоту ТА з використанням алгоритму пошуку найкоротшого шляху (вирішення задачі комівояжера). Ця задача відноситься до класу NP-повних. Тому на практиці застосовують евристичні алгоритми, які надають наближене рішення, але мають незначну обчислювальну складність. Для побудови маршруту польоту в кластеризованій мережі (між точками збору даних) були проведені дослідження ефективності евристичних алгоритмів, які запропоновані дослідниками для БСМ: найближчого сусіда, за спіраллю, за квадратами, опуклої оболонки (Convex Hull Insertion Heuristic) та інші. Результати моделювання продемонстрували ефективність алгоритму опуклої оболонки для пошуку найкоротшого шляху в кластеризованій мережі, тому він визначений в якості базового.

4. В кожному кластері корегується базовий маршруту польоту ТА за рахунок методу ситуаційного управління, який використовує розроблену базу правил продукційного типу: **ЯКЩО** <умова>, **ТОДІ** <дія> [2] та реалізує відповідну схему рішень (рис. 2). Умова описується обмеженою кількістю ситуацій (розташування кожного вузла відносно прийнятої траєкторії польоту

ТА, наявний обсяг даних та енергія батарей вузлів), а дія (рис. 1) реалізує керуючі впливи, які спрямовані для досягнення цільової функції. Наприклад, зміна відстані ТА-вузол (за рахунок зміни траєкторії) дозволяє оптимізувати час обміну між ними (пропонується використовувати MAC-протокол з адаптацією швидкості передачі в залежності від співвідношення сигнал/шум) та регулювати витрати енергії вузла  $e_{\text{вит}}$ . Менша відстань між вузлом та траєкторією польоту ТА дозволяє зменшити витрати енергії батареї цього вузла, збільшити швидкість передачі даних (зменшити час збору), однак призводить до збільшення довжини траєкторії. І навпаки.

Для зменшення варіантів перебору по знаходженню оптимальної траєкторії обльоту вузлів та збору даних запропоновані метаправила.

5. Відповідно до цільових функцій плануються інтервали збору даних на траєкторії ТА, визначаються додаткові точки збору даних та графік обміну вузлів з ТА в умовах їх конкуренції.



Рис. 2. Схема визначення траєкторії польоту ТА для збору даних з вузлів БСМ.

Результати імітаційного моделювання розробленої моделі показали можливість зменшити час збору даних на 10 – 15% або підвищити час функціонування мережі на 12 – 17% при задоволенні ресурсних обмежень в порівнянні з відомими рішеннями.

### Література

1. Grymud A., Romaniuk V. Modifying a method for direct data collection by a telecommunication aerial platform from nodes of wireless sensor networks. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2022, 4 (9 (118)), 15 – 29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263559>.
2. Гримуд А., Романюк В. Модель пошуку траєкторії польоту телекомунікаційною аероплатформою для збору даних з вузлів кластеризованої бездротової сенсорної мережі військового призначення. Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень НУО імені Івана Черняхівського № 1(74), 2022. С. 118 – 128. <https://doi.org/10.33099/2304-2745/2022-1-74/118-128>.