

АЛГОРИТМИ РОЗПОДІЛУ УГРУПОВАННЯ З РІЗНОРІДНИХ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ СТАНУ НАЗЕМНИХ ОБ'ЄКТІВ

Якорнов Є.А., Цуканов О.Ф.

Інститут телекомунікаційних систем НТУУ «КПІ»

E-mail: cukanov-o@ukr.net

Algorithms of distribution of the organization of different freeze literal apparatus for monitoring the ground objects

Algorithms for the distribution groups of the unmanned aerial vehicles which are a part of the flying touch networks to the solve the problem of monitoring the land situation at emergence of various emergency situations are considered. Algorithms are based on methods of convex and dynamic programming. The received results can be also used in problems of distribution of computing resources for various telecommunication networks.

В даний час літаючі сенсорні мережі FANET [1] на основі безпілотних літальних апаратів (БПЛА) знаходять все більше застосування в різних областях діяльності людей, в тому числі для вирішення завдань моніторингу наслідків надзвичайних ситуацій (НС) техногенного, природного і військового характеру.

Метою роботи є розробка алгоритмів розподілу угруповання різнорідних БПЛА для вирішення завдань моніторингу складної наземної інфраструктури з різними параметрами, що змінюються в процесі НС. Такими параметрами наприклад, є склад інформації, необхідної для оцінки обстановки та прийняття правильного рішення, визначення необхідного наряду сил і засобів для адекватного реагування на зміни, управління процесом ліквідації наслідків НС. Тому і виникає задача розподілу різнорідних БПЛА, яка повинна вирішуватися як на етапі аналізу, так і в процесі ліквідації НС.

Припустимо, що є m груп різнорідних БПЛА та інфраструктура з n наземних об'єктів. Під поняттям об'єкт може трактуватись як одиночний елемент, наприклад, будівля так і група елементів, наприклад, певна територія підприємства.

Об'єкти в тому числі і групові можуть об'єднуватися в групи, в свою чергу, група може складатися як з групових, так і одиночних об'єктів. Крім того, угруповання БПЛА може складатися з декількох груп літальних апаратів, в які входять N одиниць БПЛА одного типу.

Наземні об'єкти характеризуються коефіцієнтами (ступенями) важливості і ймовірністю моніторингу p_{ij} конкретного j -ого об'єкту i -тим типом БПЛА. Розподіл БПЛА по наземних об'єктах характеризується матрицею призначення $X = \{x_{ij}\}$, де x_{ij} - кількість БПЛА i -ого типу, які призначені для моніторингу j -ого об'єкту.

Необхідно розподілити різнорідні БПЛА по наземній інфраструктурі таким чином, щоб математичне сподівання аналізованих об'єктів M було максимальним

$$M = \sum_{j=1}^n A_j \left[1 - \prod_{i=1}^m (1 - p_{ij})^{x_{ij}} \right] \rightarrow \max \quad (1)$$

при обмеженні на число БПЛА в групі,

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq N_i, \quad (i = 1, 2, \dots, m; \quad x_{ij} \geq 0; \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n.) \quad (2)$$

із заданою ймовірністю моніторингу i -го групового об'єкту W_i , де

$$\left[1 - \prod_{i=1}^m (1 - P_{ij})^{x_{ij}} \right] \leq W_j, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (3)$$

A_j - ступінь важливості j -ого об'єкту, причому $\sum_{j=1}^n A_j$.

Ці коефіцієнти A_j можуть бути обрані за правилом Фішберна [2], в разі коли кількість групових об'єктів не більше 10. Якщо ж число таких об'єктів перевищує 10, то A_j визначаються в два етапи: на першому групі - B_j , на другому всередині груп - C_s , при цьому $A_j = B_j C_s$.

Цільова функція (1) і обмеження (3) мають нелінійний вигляд. Аналізуючи вид залежностей можна зробити висновок, що маємо справу з задачею нелінійного програмування. Особливість рішення цієї задачі є те, що метод вирішення залежить від виду цільової функції (1) і обмежень (2), (3).

Одним з підходів до вирішення такого завдання є метод опуклого програмування [3], суть якого полягає в пошуку максимального значення в області зміни цільової функції за наступним алгоритмом:

- 1) знаходиться початкова дозволена рішення $S^{(0)} = \{x_{ij}\}$, яке задовольняє обмеженням (2) або (3);
- 2) визначаються компоненти матриці можливого напрямку пошуку оптимального рішення:

$$S^k = \{S_{ij}^{(k)}\}, \text{ де } S_{ij}^{(k)} = \widetilde{x_{ij}^{(k)}} - x_{ij}^{(k)}.$$

Елементи $\widetilde{x_{ij}^{(k)}}$ визначаються за допомогою матриці $\widetilde{y_{ij}^{(k)}}$, яка дорівнює

$$y_{ij}^{(k)} = A_j a_{ij} \exp(-\sum_{i=1}^m a_{ij} x_{ij}^{(k)}), \text{ при цьому } a_{ij} = -\ln(1 - P_{ij}).$$

Далі в кожному рядку матриці $y_{ij}^{(k)}$ шукається максимальний елемент. Положення максимальних елементів визначає закріплення БПЛА i -тий БПЛА за j -тим об'єктом $x_{ij}^{(k)}$, які дорівнюють N_i , $i = 1, 2, \dots, m$. Інші елементи $x_{ij}^{(k)}$ приймаються рівними 0;

- 3) здійснюється оцінка близькості отриманого рішення до оптимального. Для цього розраховуємо відхилення на даному етапі від оптимального $\Delta^{(k)}$ рівне

$$\Delta^{(k)} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m y_{ij}^{(k)} S_{ij}^{(k)}.$$

Якщо $\Delta^{(k)} \leq \varepsilon$ - то рішення практично оптимально, якщо $\Delta^{(k)} > \varepsilon$, тоді ітераційним методом Ньютона знаходиться довжина кроку λ_k з рівняння

$$\sum_{j=1}^n A_j^{(k)} \exp(-\lambda_k \sum_{i=1}^m a_{ij} S_{ij}^{(k)}) = 0;$$

- 4) знаходиться рішення:

$$S^{(k+1)} = \{x_{ij}^{(k+1)}\}, \text{ де } x_{ij}^{(k+1)} = x_{ij}^{(k)} + \lambda_k S_{ij}^{(k)}.$$

5) одночасно перевіряється виконання умови (3).

Процес повторюється починаючи з кроку 2 в разі, якщо відхилення більше потрібного тоді визначається нове допустиме рішення. Недоліком цього алгоритму є необхідність визначення спеціального критерію близькості рішення до оптимального.

Для усунення цього недоліку пропонується алгоритм вирішення задачі динамічного програмування методом максимального елемента [4]. Його сутність полягає в трьох основних кроків:

1) записується матриця ймовірностей моніторингу об'єкту з урахуванням ступеня важливості A_j групового об'єкту і при $\{x_{ij}\} = 0$,

$$S^{(0)} = \{s_{ij}^0\} = \{A_i P_{ij}\}; \quad (4)$$

2) в матриці $S^{(0)}$ знаходиться максимальний елемент закріплюється i - тий БПЛА, за j - тим об'єктом. При цьому в матриці призначень елементи з індексами i^* , j^* збільшуються на одиницю

$$\{x_{i^*j^*}\} = \{x_{i^*j^*}\} + 1 \quad \text{із } N_{i^*} - 1, \quad (5)$$

і розраховується поточна ймовірність моніторингу цього об'єкту

$$S^{(1)} = S_{ij}^0(1 - A_i P_{i^*j^*}), \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (6)$$

3) аналізуються ресурс БПЛА (2) і обмеження відповідно до (3).

Обчислення (4) - (6) повторюються до знаходження близького до оптимального плану розподілу угруповання БПЛА.

Застосування методу максимального елемента в задачі динамічного програмування дозволяє отримати досить наочно і просто необхідний склад угруповання різнорідних БПЛА для вирішення завдання моніторингу наземних об'єктів з заданими обмеженнями і при цьому, дозволяє легко враховувати наявні обмеження (2) і (3) в задачі (1).

Метод опуклого програмування передбачає також наявність двох різних ітерацій в процесі обчислень і, крім того, вибір параметра ε - критерію зупинки обчислень. У свою чергу, метод максимального елемента не вимагає наявності додаткових параметрів.

Література

1. Романюк В.А. Метод збору інформації моніторингу в бездротових сенсорних мережах з використанням безпілотних літальних апаратів. Збірник наукових праць ВІПІ. К., - 2018. № 1, С. 90-99.
2. Постников В. М.. Методы выбора весовых коэффициентов локальных критериев / Постников В. М., Спиридонов С. Б. // Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. № 06, - С. 267–287.
3. Лисенко О.І. Математичні методи моделювання та оптимізації. ч.1. Математичне програмування та дослідження операцій./ Лисенко О.І., Тачинина О.М, Алексеева І.В. // Підручник.-К.: НАОУ, - 2017.- 212 с.
4. Абчук В.А. и др. Справочник по исследованию операций / под ред. Матвейчука Ф.А. Воениздат, 1979 - 362 с.