

СПОСОБ РАЗМЕЩЕНИЯ СЕНСОРОВ В ЗОНЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ НА БАЗЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

¹Лысенко А.И., ²Тачинина Е.Н., ³Чумаченко С.Н.

¹Институт телекоммуникационных систем КПИ им. Игоря Сикорского,

²Национальный авиационный университет

³Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты

E-mail: lysenko.a.i.1952@gmail.com, ten0512@rambler.ru, sergiy23.chumachenko@gmail.com

The Method of Sensors Deployment in Emergency area Based Unmanned Aerial Vehicles

This paper proposes the mathematical statement and solution of the vehicle path optimality condition when the wireless network sensors are located in the area of emergency situation. The methods of mathematical modeling, optimal control and numerical integration are applied.

Одним из наиболее перспективных направлений для решения проблемы информационно-телекоммуникационного обеспечения поисково-спасательных работ есть применение технологии мобильной беспроводной мультисенсорной сети (МБМСС), ситуационно разворачиваемой на оперативном ландшафте за минимальное время по так называемому ad-hoc запросу. Наиболее перспективной для решения задач поиска и спасения разновидностью МБМСС можно считать беспроводную сенсорную сеть с мобильными сенсорами и аэроплатформами, которые выполняют функцию как носителя сенсоров, предназначенных для размещения в зоне бедствия, так и телекоммуникационного ретранслятора информации собранной от сенсоров (рис. 1).

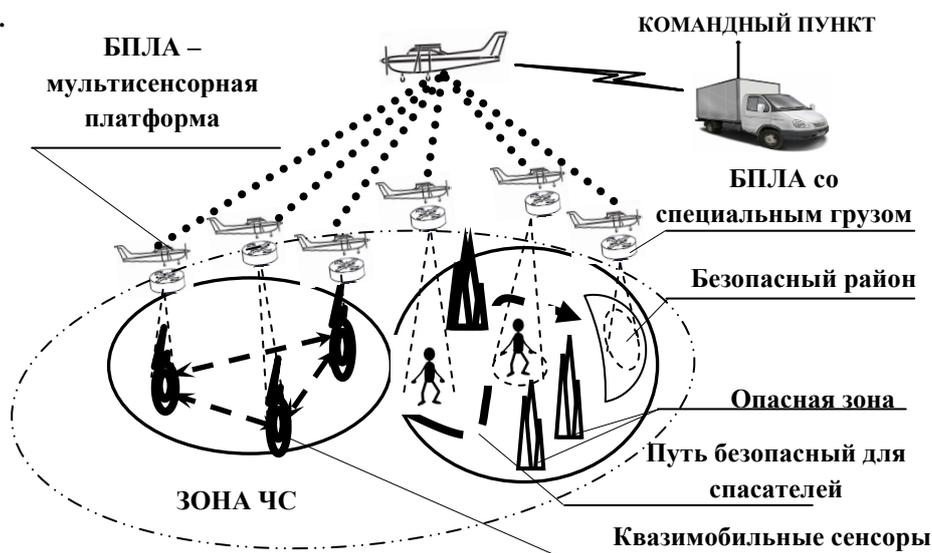


Рис. 1. Применение МБМСС на основе группового использования БПЛА для проведения поисково-спасательных работ в зоне чрезвычайной ситуации (ЧС).

Исходя из выше сказанного, возможно сформулировать как минимум две содержательных задачи, требующих отыскания оптимальной траектории движения носителя с учетом того, что десантируемый груз тоже должен совершать оптимальное движение к своей цели: задача размещения сенсоров

(развертывания сенсорной сети) в заданном районе; задача сброса груза спасателям и потерпевшим.

В первой задаче десантируемый груз (ДГ) – это мобильные или квазимобильные сенсоры, а во второй – это некоторая полезная нагрузка.

Выполним математическую постановку задачи поиска оптимальной траектории движения носителя.

Пусть на борту носителя находится k подгрупп ДГ (в общей сложности ДГ будет $\sum_{i=1}^k r_i$, т.е. в каждой подгруппе по r_i ДГ). От носителя в полете k раз произойдет отделение групп ДГ (рис.2.).

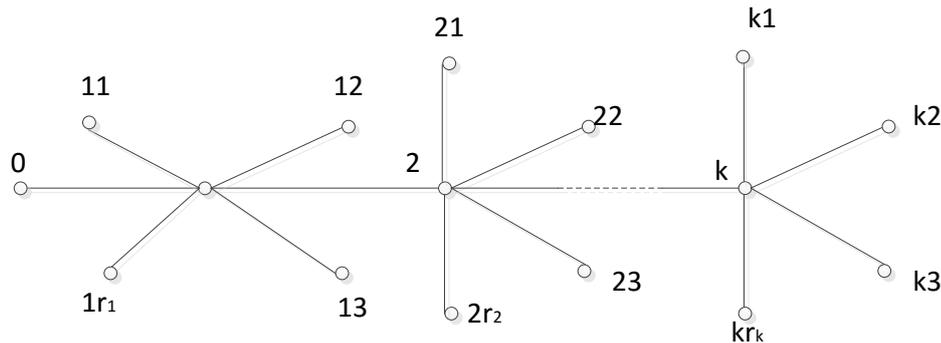


Рис. 2. Пример схемы траектории движения носителя с десантируемым грузом (ветвящейся траектории)

Движение носителя описывается дифференциальной системой вида

$$\dot{x} = f(x, u, t), t \in [t_0, t_f], x \in E^n, u \in \Omega \subset E^m, \quad (1)$$

где x, u – векторы фазового состояния и управляющих воздействий, влияющих на движение носителя, t_0, t_f – моменты времени начала и конца движения носителя в заданном интервале, на котором заканчивается его движение с целью доставки полезной нагрузки или получения информации с мультисенсоров.

Динамика движения подгрупп ДГ описывается уравнениями вида

$$\dot{x}_\beta = f_\beta(x_\beta, u_\beta, t), [t_{\beta^*}, t_\beta], \quad (2)$$

где $x_\beta \in E^n, u_\beta \in \Omega_\beta \subset E^{m_\beta}, (\beta=1, \beta^*=3-1; \beta=ij, \beta^*=i; i=\overline{1, k}; j=\overline{1, r_i})$.

В моменты разделения подгрупп ДГ для всех фазовых координат, кроме координаты, описывающей изменение массы носителя, для которой (пусть это будет n -я координата) должны быть выполнены условия

$$x_{i_n}(t_i) = \xi(i)x_{i+1_n}(t_i) + \sum_{j=1}^{r_i} x_{ij_n}(t_i), i=\overline{1, k}; j=\overline{1, r_i}, \xi(i) = \begin{cases} 1, i=\overline{1, k-1} \\ 0, i=k. \end{cases} \quad (3)$$

Управление $u_\beta(t)$, фазовые координаты $x_1(t_0), x_\beta(t_\beta)$, моменты времени $t_0, t_\beta (\beta=i, ij; i=\overline{1, k}; j=\overline{1, r_i})$ необходимо выбрать так, чтобы минимизировать расширенный критерий

$$\zeta = S^* + \sum_{i=1}^k (I_i^* + \sum_{j=1}^{r_i} (I_{ij}^*)) + D, \quad (4)$$

где

$$S^* = \nu S + \sum_{l=1}^{n_g^{(0)}} \nu_l^{(0)}, g_l^{(0)}(x_1(t_0), t_0) + \sum_{i=1}^k \left[\sum_{l=1}^{n_g^{(1)}} \nu_l^{(1)}, g_l^{(1)}(x_i(t_i), t_i) + \sum_{j=1}^{r_i} \sum_{l=1}^{n_g^{(ij)}} \nu_l^{(ij)}, g_l^{(ij)}(x_{ij}(t_{ij}), t_{ij}) \right],$$

$$I_\beta^* = \int_{t_{\beta^*}}^{t_\beta} \left\{ \Phi_\beta^*(x_\beta, u_\beta, t) + \lambda_\beta^T(t) \left[f_\beta(x_\beta, u_\beta, t) - \dot{x}_\beta \right] \right\} dt,$$

$$\Phi_\beta^*(x_\beta, u_\beta, t) = \nu \Phi_\beta(x_\beta, u_\beta, t) + \sum_{i=1}^{n_g^{(\beta)}} \mu_i^{(\beta)}(t) q_i^{(\beta)}(t)(x_\beta, u_\beta, t),$$

$$D = \sum_{i=1}^k \left\{ \sum_{\tau=1}^{n-1} \alpha_\tau^{(i)} \xi(i) [x_{\tau i}(t_i) - x_{\tau i+1}(t_i)] + \sum_{j=1}^{r_i} \sum_{\tau=1}^{n-1} \alpha_\tau^{(ij)} [x_{\tau i}(t_i) - x_{\tau ij}(t_i)] + \alpha_n^{(i)} \left[x_{ni}(t_i) - \xi(i)x_{ni+1}(t_i) - \sum_{j=1}^{r_i} x_{ijn}(t_i) \right] \right\}.$$

Используя введенные в выражении (4) обозначения, сформулируем условия оптимальности траектории движения носителя [1-2].

Пусть $x_\beta, u_\beta, t, x_1(t_0), t_0, (\beta = ij; i = \overline{1, k}; j = \overline{1, r_i})$ - допустимый процесс задачи (1)-(4) и $t_0 < t_1 < \dots < t_k$. Тогда для его оптимальности траектории движения носителя необходимо:

- существование множителей $\nu, \nu_l^{(0)} (l = \overline{1, n_g^{(0)}}), \nu_l^{(1)} (l = \overline{1, n_g^{(i)}}), \nu_l^{(ij)} (l = \overline{1, n_g^{(ij)}}),$

$\mu_i^{(\beta)}(t) (l = \overline{1, n_g^{(\beta)}}) \quad t \in [t_{\beta^*}, t_\beta]$ не равных одновременно нулю ;

- непрерывных на $t \in [t_{\beta^*}, t_\beta]$ решений сопряженных векторных уравнений

$$\dot{\lambda}_\beta(t) + \partial H_\beta(x_\beta(t), u_\beta(t), \lambda_\beta(t), t) = 0, \quad (\beta = i, ij; i = \overline{1, k}; j = \overline{1, r_i});$$

- векторной функции $\lambda_\beta(t)$ ограниченной вариации, являющейся решением обыкновенного дифференциального уравнения

$$\dot{\lambda}_\beta(t) = -\partial H_\beta / \partial x_\beta \Big|_\wedge, \quad (\beta = i, ij; i = \overline{1, k}; j = \overline{1, r_i}).$$

Сформулированные необходимые условия оптимальности траектории движения носителя при размещении сенсоров беспроводной сенсорной сети в зоне чрезвычайной ситуации, позволяют определить оптимальные координаты и моменты времени ветвления траектории, а также оптимальные управления и траектории движения десантируемого груза (мобильных сенсоров) к заданным целям по отдельным ветвям траектории после отделения от носителя.

Литература

1. O. Lysenko, S. Valuiskyi, O. Tachinina, S. Danylyuk. A Method of Control of Telecommunication Airsystems for the Wireless AD HOC Networks Optimization. 3rd International Conference: Actual problems of unmanned aerial vehicles developments (APUAVD-2015) October 13-15, 2015 Organized by IEEE Ukraine Section Joint SP/AES Chapter and the National Aviation University (Kyiv), p.182-185. SCOPUS.
2. O. Tachinina, I Alekseeva, O. Lysenko, S. Chumachenko. The Scenario-Based Approach for Control of Multi-Object Dynamic System Motion. 3rd International Conference: Actual problems of unmanned aerial vehicles developments (APUAVD-2015) October 13-15, 2015. Organized by IEEE Ukraine Section Joint SP/AES Chapter and the National Aviation University (Kyiv), p.305-308.