

суток, наличия росы и т.п. Использование этих режимов работы распыляющего оборудования БЛА позволили провести успешные регистрационные испытания средств защиты растений. С 2023 г. в Беларуси имеется возможность использовать агродроны для внесения средств защиты растений в питомниках и лесных культурах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Санин, В.А. Малообъемные и ультрамалообъемные опрыскиватели // М.: Агропромиздат. – 1999. – 103 с.
2. Сулов, С.В., Суторихин И.А. Определение качества распыления пестицидных препаратов различными установками // Ползуновский вестник. – 2010. – № 2. – С. 106–109.
3. Звягинцев, В.Б. Перспективы использования беспилотных летательных аппаратов в лесном хозяйстве для проведения лесозащитных мероприятий / В.Б. Звягинцев, Д.Г. Малашевич, С.А. Жданович // Труды БГТУ. Серия 5: Экономика и управление. – 2023. – № 2(274). – С. 43–49.
4. Никитин, Н.В. и др. Использование современных опрыскивателей в адаптивной защите растений // Агрохимия. – 2008. – № 11. – С. 51–59.
5. Chen S. et al. Effect of droplet size parameters on droplet deposition and drift of aerial spraying by using plant protection UAV // Agronomy. – 2020. – Vol. 10 (2). – 195 p.
6. Kharim, M. N. A. et al. Droplet deposition density of organic liquid fertilizer at low altitude UAV aerial spraying in rice cultivation // Computers and Electronics in Agriculture. – 2019. – Vol. 167. – 105045 p.
7. Nordin, M. N. et al. Study on Water Distribution of Spraying Drone by different Speed and Altitude // Advances in Agricultural and Food Research Journal. – 2021. – Vol. 2 (2). – 8 p.

УДК 004.942

ПРОБЛЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ БОРЬБЫ С БЕСПИЛОТНЫМИ АППАРАТАМИ

К.В. ИЛЬЧЕНКО, Д.Д. ЦАПИЕВА, А.П. ПРЕОБРАЖЕНСКИЙ
Воронежский институт высоких технологий
Воронеж, Россия

В настоящее время беспилотные летательные аппараты (БПЛА) используются для решения различных практических задач. За счет того, что в таких технических устройствах обеспечивается высокая

мобильность, их применяют в ходе мониторинга и анализа дорожной обстановки, неисправностей линий передач, в сельском хозяйстве, при доставке различных грузов и т.д. Помимо мирного использования БПЛА можно наблюдать разработки, направленные на военную и террористическую сферу. Это определяет необходимость в разработке подходов, направленных на борьбу с БПЛА [1].

Целью данной работы является разработка оптимизационной модели для сетевой системы борьбы с БПЛА.

Существуют разные возможности противодействия: первые используют различные сигналы – оптические, акустические, микроволновые, во-вторых, применяются разные виды оружия, в-третьих – привлекаются противодроны. Различные средства рассматриваются в виде соответствующих объектов. Они могут быть объединены в некоторую сетевую структуру. Необходимо обеспечить максимальную результативность системы объектов для борьбы с БПЛА. Эффективность системы сетевых объектов будет определяться множеством характеристик каждого из них. Эти характеристики в результате анализа должны быть распределены по приоритетам. Далее выделяется некоторое множество из них, для которых приоритеты максимальны. В результате будет преобразование сетевой структуры. Это ведет к тому, что требуется, чтобы ресурсы были перераспределены соответствующим образом.

В ходе моделирования удобно внутри сетевой структуры осуществлять объединение объектов в кластеры. Управление такими кластерами осуществляется централизованным образом. Для каждого из вариантов размещения объектов может быть дана оценка по общей результативности. Могут быть два варианта управления сетевой кластерной структурой при высоких показателях результативности:

1. Внесение в систему дополнительного ресурса, влияющего на характеристики объектов в кластерах.

2. Укрупнения кластеров вследствие перехода в них объектов с близкими характеристиками.

Задача решается в несколько шагов.

1. Необходимо выделить множество главных характеристик объектов. Для этого в ходе рассмотрения результативности сетевой системы и формулирования соответствующей ей оптимизационной задачи выделяются те объекты $Ob(t)$ ($t = 1, T$) и относящиеся к ним кластеры, для которых целевая функция будет иметь минимальные значения $Y(t)$ ($t = 1, T$). В ходе объединения объектов в кластеры можно наблюдать, что значение целевой функции для них будет увеличиваться.

Поскольку в таком случае объекты рассматриваются как новые, то целевая функция $Ylt = f(Yl, Yt) < Yl$, ($l=1, L, t=1, T$) учитывает их перенумерацию. При этом учитывается, что появляются объекты, которые характеризуются более высокой результативностью. Поэтому созданные кластеры должны быть снова проанализированы. В результате рассматриваемого шага необходимо таким образом объединить объекты Ol и объекты Ot , для того, чтобы был рост нижней границы результативности. При этом объекты с максимальными значениями результативности должны обеспечивать минимальные ее значения Yl M . Это позволяет говорить о том, что будет сформирована бикритериальная оптимизационная модель. При ее построении необходимо применять булевы переменные (1):

$$x_{lt} = \begin{cases} 1, & \text{если объект } Ol \text{ поглощает объект } Ot, \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (1)$$

а соответствующие целевые функции (2) и (3) представляются следующим образом

$$\sum_{l=1}^L \sum_{t=1}^T (Yl - Ylt x_{lt}) \rightarrow \min \quad (2)$$

$$\min_{1 \leq l \leq L} \left(\sum_{t=1}^T Ylt x_{lt} \right) \rightarrow \max \quad (3)$$

Для оптимизационной модели вводятся ограничения (4)

$$\sum_{l=1}^L x_{lt} = 1, t = \overline{1, T}, \quad \sum_{t=1}^T x_{lt} = 1, l = \overline{1, L}, \quad x_{lt} \in \{0, 1\}, t = \overline{1, T}, l = \overline{1, L}. \quad (4)$$

2. Необходимо с учетом разных приоритетов кластеров по ресурсам провести необходимое распределение. Кроме того, потребность в ресурсах учитывается для объектов в кластерах.

В таком случае будет выделено два множества объектов внутри кластеров. В одно входят объекты с высоким приоритетом. В другое – с низким приоритетом, они будут переходить в кластеры с учетом того, какой максимальный приоритет входящих в них объектов.

В ходе распределения ресурса как среди кластеров, так и среди объектов осуществляется с учетом принципа обратных приоритетов. Чтобы учесть то, насколько выбранный объект j будет близок к

объектам, имеющим максимальный приоритет в ходе моделирования, учитывается соответствующий коэффициент (5)

$$a_{t_m j} = \frac{y_{tj}}{y_{1j}} \quad (5)$$

В ходе его расчета необходимо учитывать например, что $\bar{y}_{1j}$ рассматривается для первого кластера в виде среднего значения, относящегося к j-му показателю. Требуется, чтобы были рассчитаны такие булевские переменные (6)

$$x_{t_m j} = \begin{cases} 1, & \text{если объекту } O_{t_m} \text{ выделяется развивающий ресурс} \\ & \text{для повышения эффективности по } j\text{-му показателю,} \\ 0, & \text{в противном случае, } t_m = \overline{1, T_m}, j = \overline{1, J}. \end{cases} \quad (6)$$

В итоге, по объектам, которые входят в кластер m мы можем записать оптимизационную модель (7)

$$\begin{aligned} \sum_{t_m=1}^{T_m} \sum_{j=1}^J a_{t_m j} x_{t_m j} \rightarrow \max, \quad \sum_{t_m=1}^{T_m} \sum_{j=1}^J r_{t_m j} x_{t_m j} \leq R_m^2, \\ \sum_{j=1}^J x_{t_m j} = 1, \quad t_m = \overline{1, T_m}, \quad x_{t_m j} \in \{0,1\}, \quad t_m = \overline{1, T_m}, \quad j = \overline{1, J}. \end{aligned} \quad (7)$$

Окончательное распределение по кластерам осуществляется на основе генетического алгоритма.

Вывод. В работе даны предложения по формированию оптимизационной модели, позволяющей осуществлять распределение объектов в сетевой системе для борьбы с БПЛА. Оптимальным считается тот вариант, который дает максимальную результативность при наименьшем расходовании ресурса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев, А.Д. Новейшие средства борьбы с БПЛА / А.Д. Андреев // В сборнике: Актуальные вопросы науки и практики. Сборник научных статей по материалам XIII Международной научно-практической конференции. –Уфа. – 2023. – 89-93.