

ПЛАНИРОВАНИЕ МАРШРУТА БЛА ПРИ ВНЕСЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

Сеньков А.Г.

Белорусский государственный аграрный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Использование беспилотных летательных аппаратов (БЛА) в земледелии и в целом в сельском хозяйстве – одно из наиболее перспективных направлений применения этой технологии. Особенно полезно применение БЛА в современной точном земледелии для оперативного мониторинга развития выращиваемых сельскохозяйственных культур, точечного внесения удобрений и средств защиты растений (СЗР). При этом масса полезной нагрузки – удобрений, СЗР и оборудования для их внесения – обычно составляет 15 – 30 % массы БЛА и, очевидно, изменяется в указанном интервале в процессе облета территории по мере их распыления.

В связи с этим актуальной представляется задача оптимального планирования маршрута БЛА при облете полей и распылении растворов удобрений/СЗР. Оптимизация маршрута позволит сократить время выполнения технологической операции, а также уменьшить затраты электроэнергии (топлива) на работу БЛА, и, таким образом, повысить эффективность их использования.

С учетом наличия исходных априорных данных о состоянии окружающей среды, получаемых заранее на этапе мониторинга полей, решение задачи предполетной маршрутизации БЛА предлагается реализовать на основе методов совещательного планирования перемещений, когда маршруты рассчитываются в явном виде на основе глобальных мировых сведений [1].

Пусть масса пустого БЛА, с оборудованием, но без рабочего раствора, равна m^* кг, а максимально допустимая масса рабочего раствора равна m_Σ кг.

Пусть в результате предварительного мониторинга определено множество $V_N = \{\vec{p}_1, \vec{p}_2, \dots, \vec{p}_N\}$ целей на местности, которое необходимо посетить, где $\vec{p}_n(p_n^x, p_n^y, p_n^z)$ – координаты целей в инерциальной системе координат «север-восток-вниз», связанной с Землей [1]; $n=1, \dots, N$. Множество $M_N = \{m_1, m_2, \dots, m_N\}$ есть множество значений массы рабочего раствора удобрений/СЗР, которую необходимо распылить в соответствующих точках поля. Считаем, что точка начала полета БЛА \vec{p}_s и окончания полета \vec{p}_e совпадают: $\vec{p}_s = \vec{p}_0$, $\vec{p}_e = \vec{p}_{N+1} = \vec{p}_0$. Таким образом, $V^+ = V_N \cup (\vec{p}_s, \vec{p}_e$ есть множество точек планируемого маршрута.

)

На основе приведенных исходных данных для поиска оптимального маршрута следует составить ненаправленный граф $G = (V^+, E)$, где E – множество ребер графа. При кратчайшем по протяженности маршруте желательно, чтобы большая часть объема рабочего раствора расходовалась бы в начале маршрута. Исходя из этих соображений, для n -го по счету участка маршрута, соответствующего ребру графа $E_{i,j}$, значение веса можно определить выражениями:

$$\begin{aligned}
 l_{i,j} &= \|\vec{p}_i - \vec{p}_j\| - \text{длина участка маршрута;} \\
 M_n &= m^* + m_\Sigma - \sum_{k=1}^n m_k - \text{масса БЛА на } n\text{-м участке маршрута;} \\
 w_{n,i,j} &= \|\vec{p}_i - \vec{p}_j\| \cdot \left(m^* + m_\Sigma - \sum_{k=1}^n m_k \right), \quad i \neq j, \\
 w_{n,i,j} &= +\infty, \quad i = j.
 \end{aligned} \tag{1}$$

По своему физическому смыслу это приблизительно соответствует механической работе по перемещению тела массой M_n на расстояние $l_{i,j}$.

В данном случае можно предложить следующий квазиоптимальный подход к улучшению критерия энергоэффективности работы БЛА:

– шаг 1: поиск по алгоритму Литтла [1] на графе G с весами ребер $w_{n,i,j} = \|\vec{p}_i - \vec{p}_j\|, i \neq j$, пропорциональными длине пути без учета изменения массы в процессе облета, дает в результате кратчайший по расстоянию маршрут облета;

– шаг 2: так как начало и конец маршрута находятся в одной точке, то с использованием (1) определяется оптимальное направление следования по полученному маршруту: по направлению или против направления часовой стрелки.

Предложенная в работе постановка и подход к решению задачи планирования маршрута БЛА при дифференцированном внесении удобрений/СЗР в рамках систем точного земледелия позволяет получить квазиоптимальное решение одновременно по двум критериям: минимизация времени облета и минимизация затрат электроэнергии (топлива) на работу БЛА.

1. Рэндал У. Биард, Тимоти У. МакЛэйн. Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика. Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2015. – 312 с.