

РАЗВИТИЕ ИТ-ПОДДЕРЖКИ СПОСОБА ОБХОДА ОПАСНЫХ ЗОН ПРИ ДВИЖЕНИИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Джумахмадов А.С., Гольдштейн С.Л.

Уральский федеральный университет имени первого президента России

Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

sobir28042004@gmail.com, s.l.goldshtein@urfu.ru

Аннотация. В данной научной работе проведено исследование способов обхода опасных зон при движении летательного аппарата. В ходе исследования был проведен литературно аналитический обзор, в результате которого найдены аналоги и оценены. Сформирован пакет прототипа и рассмотрены его недостатки. Разработаны модели и проведено проектирование программы, реализующий способ определения маршрута в обход опасных зон при движении летательного аппарата, на основании которого получена инженерная реализация программы. Реализованная программа была принята в опытную эксплуатацию на предприятии АО «УПП «Вектор» и составлен акт о внедрении.

Ключевые слова: прототип, опасные зоны, летательный аппарат, оптимизация маршрута, алгоритм, программа имитации.

DEVELOPMENT OF IT SUPPORT FOR A WAY TO BYPASS DANGEROUS ZONES WHEN MOVING AN AIRCRAFT

Dzhumahmadov. A. S., Goldshtein. S. L.

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Abstract. In this scientific work, a study of ways to bypass dangerous zones when moving an aircraft was carried out. In the course of the study, a literary and analytical review was conducted, as a result of which analogues were found and evaluated. A prototype package has been formed and its disadvantages have been considered. The models were developed and the design of the program was carried out, which implements a method for determining the route to bypass dangerous zones when the aircraft is moving, on the basis of which the engineering implementation of the program was obtained. The implemented program was put into trial operation at the enterprise of JSC "UPP "Vector" and an act of implementation was drawn up.

Key words: prototype, dangerous zones, aircraft, route optimization, algorithm, simulation program.

Введение

Одной из основных задач перед применением летательного аппарата (ЛА), является планирование его траектории полета. Планирование маршрута происходит с учетом оптимальности, которое рассчитывается не только наиболее короткой длиной, но и другими критериями, которые могут иметь более усложненный вид. В данной работе оптимальным путем будет, являться маршрут с наименьшей стоимостью перемещения из начального в конечное местоположения с учетом облета опасных зон (ОЗ). Так как нужно найти маршрут для объекта с учетом реальных условий, то задача становится вариативной и не имеет универсального решения.

В ходе выполнения данной работы, разработка интерфейсов и логики построения маршрута происходит в среде разработки Qt Creator с использованием языка C++ и модуля QtGui.

Поиск безопасного коридора

Возможные варианты безопасного облета трех препятствий в точках O_1 , O_2 и O_3 , показаны на рисунке 1. Опасная зона аппроксимирована окружностью.

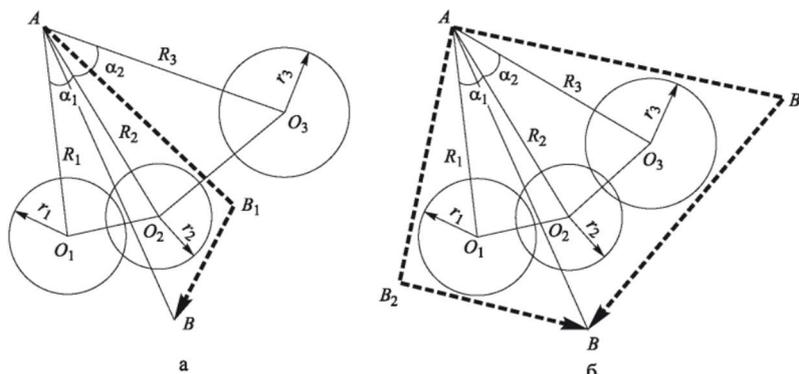


Рисунок 1 – Варианты безопасных коридоров для обхода групповой зоны поражения при наличии (а) и при отсутствии разрыва (б) [1]

Безопасный коридор при наличии разрыва между локальными зонами обозначен пунктирной кривой AB_1B (рис. 2, а). Условием его существования является выполнение неравенства [1]:

$$\sqrt{R_i^2 + R_{i+1}^2 + 2R_i R_{i+1} \cos \alpha} \geq r_i^2 + r_{i+1}^2 + b_0$$

где R_i – расстояние от координаты начала до центра i -го препятствия;

α_i – азимутальный угол между AO_i и AO_{i+1} ;

r_i – радиус действия опасной зоны;

b_0 – заданная константа, определяющая ЛТХ облета препятствия (ширина безопасного коридора).

Поиск точек облета ОЗ

После выбора безопасного коридора необходимо рассчитать параметры наиболее короткого маршрута ЛА из точки A в точку B (рис. 2), основа которого – кривая $ACDB$. В ее состав входят отрезки двух касательных к границе зоны поражения ЗРК, построенные из точек A и B , и сопряженная с ними дуга окружности.

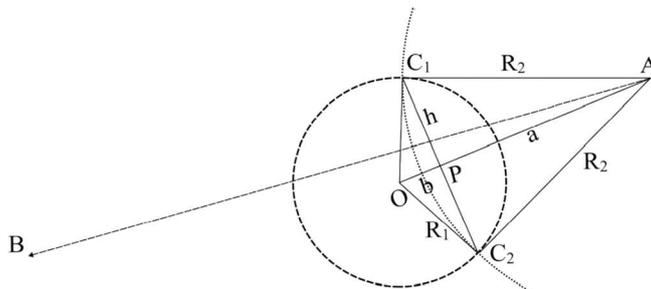


Рисунок 2 – Геометрия кривой обхода опасной зоны с минимальной длиной [1]

Координаты узловых точек маршрута $C(x_c, y_c)$ и $D(x_d, y_d)$ оценим исходя из заданных свойств $\triangle ACO$ и $\triangle BDO$:

$$\begin{aligned}
 d &= \sqrt{(x_a - x_o)^2 + (y_a - y_o)^2} \\
 d &= a + b; \\
 R_1 &= r_o + b; \\
 R_2 &= \sqrt{(d^2 - R_1^2)}; \\
 b &= \frac{R_o^2 - R_a^2 + d^2}{2d}; \\
 x_p &= x_o + \frac{b(x_a - x_o)}{d}, y_p = y_o + \frac{b(y_a - y_o)}{d}; \\
 h &= \sqrt{R_a^2 - a^2}; \\
 x_c &= x_p \pm \frac{h(y_a - y_o)}{d}, y_p = y_p \mp \frac{h(x_a - x_o)}{d};
 \end{aligned}$$

Для координаты вершины $D(x_d, y_d)$ повторить формулы выше, только нужно заменить x_a и y_a на x_b и y_b .

Определение маршрута

Алгоритм A^* находит маршрут с наименьшей стоимостью от начальной к конечной, используя алгоритм поиска по первому наилучшему совпадению на графе. Поэтому для определения маршрута с помощью алгоритма A^* следует обозначить полученные координаты начала, конца и облета ОЗ последовательными вершинами

$$P = (v_1, v_2, \dots, v_n) \in V \times V \times \dots \times V,$$

где v_i смежна с v_{i+1} для $1 < i < n$. Такой путь P называется путём длиной n из вершины v_1 в v_n (i указывает на номер вершины пути и не имеет никакого отношения к нумерации вершин на графе).

Пусть e_{ij} – ребро соединяющее две вершины: v_i и v_j . Дана весовая функция $f : E \rightarrow \mathbb{R}$, которая отображает ребра на их веса, значения которых выражаются действительными числами, и неориентированный граф G . Тогда наименьшим найденным путем с помощью алгоритма A^* из вершины v в вершину v' будет называться путь $P = (v_1, v_2, \dots, v_n)$ (где $v_1 = v$ и $v_n = v'$), который имеет минимальное значение суммы

$$\sum_{i=1}^{n-1} f(v_{i,i+1}).$$

Стоимость каждой вершины находится с помощью эвристической функции

$$f(v) = g(v) + h(v),$$

где $g(v)$ – наименьшая стоимость пути в вершине v из стартовой вершины;

$h(v)$ – эвристическая оценка из вершины v до конечной.

Так как вершины не ограничены сеткой, то решением для эвристической оценки будет являться евклидово расстояние по прямой:

$$h(v) = \sqrt{(v_x - goal_x)^2 + (v_y - goal_y)^2}$$

Алгоритмическая модель

Для решения задачи оптимизации пути полета нам понадобится определить все возможные пути облета. Чтобы найти все пути облета нужно представить местность в виде графа, в котором вершинами будут являться все возможные координаты движения воздушного судна, также будут рассчитаны точки обхода препятствий. Алгоритмическая модель представлена на рисунке 3.

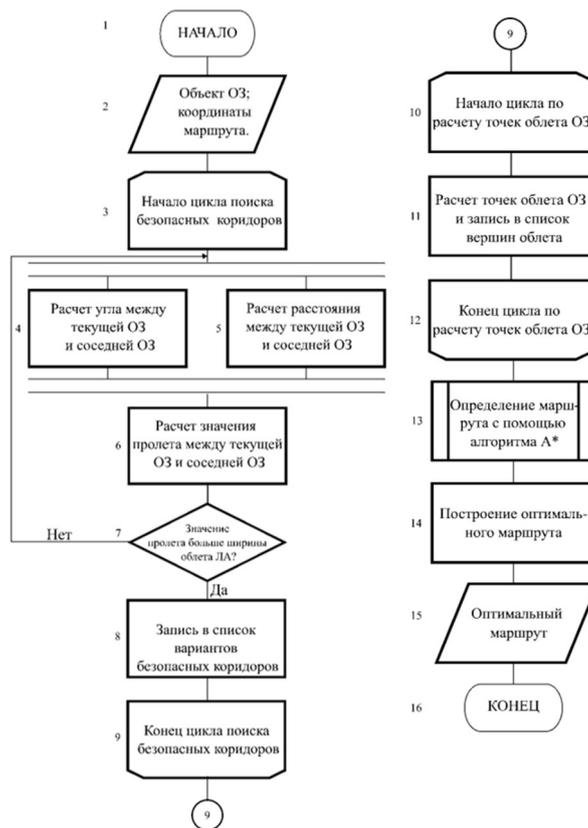


Рисунок 3 – Алгоритмическая модель

Реализация способа

Способ определения маршрута производится с помощью измененного алгоритма A*[2] под реализованную программу. На вход алгоритма будут подаваться точки облета ОЗ в виде графа. Порядок обхода вершин определяется эвристической функцией «расстояние + стоимость».

Ниже на рисунке 4 представлена смоделированная ситуация с 4 опасными зонами.

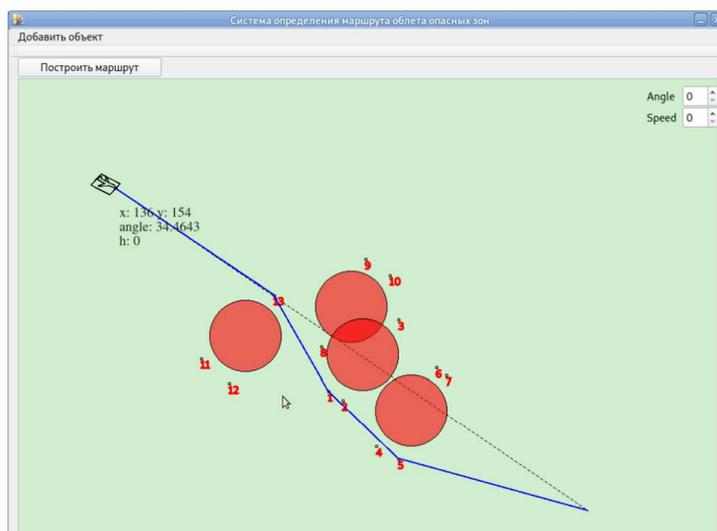


Рисунок 4 – Моделирование ситуации с нахождением безопасного коридора при 4 ОЗ

Заключение

В рамках данной научной работы было проведено развитие IT-поддержки способа обхода опасных зон при движении летательного аппарата. Была разработана программа имитации определения маршрута обхода ОЗ. Описано взаимодействие с программой и её структура. Проведено тестирование, которое показало, что внедрение реализованного способа в программе имитации позволит предприятию решить проблему, связанную с построением маршрута облета более одной группировки ОЗ.

Библиографический список

- 1 Пат. 2734171 Рос. федерация, МПК G05D 1/12. Способ оптимальной адаптации маршрута перехвата воздушной цели при нахождении в районе полетов группировки зенитных ракетных комплексов [Текст] / О. Пономарев, А. Кузнецов, В. Марусин [и др.] ; заявитель и патентообладатель Акционерное общество "Уральское производственное предприятие "Вектор"(АО "УПП "Вектор"). — № 2020116087 ; заявл. 29.04.2020 ; опубл. 13.10.2002, Бюл. № 29.
- 2 А*. — URL: [https : / / ru . wikipedia . org / wiki / А*](https://ru.wikipedia.org/wiki/А*) (дата обр. 18.02.2022).