

Романов Д.Н.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»*  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
E-mail: radon81@mail.ru

### Моделирование траекторий движения воздушных объектов в трехмерном пространстве

Моделирование воздушной обстановки является актуальной задачей в современной радиолокации. Важным направлением в моделировании воздушной обстановки, является моделирование траектории движения воздушных объектов. Его основой является задание кинематики движения, определяющей пространственное положение объекта в произвольно заданный момент времени. С данной целью объекту предписывается траектория, которая может быть задана набором опорных вершин. Для этого используется кусочно-заданная траектория движения, допускающая ее монтаж из отдельных участков, в том числе – разнородных, полученных на основе различных математических моделей [1]. Для моделирования траекторий движения воздушных объектов можно использовать кривые Безье [2].

Параметрическое представление кривой Безье имеет вид:

$$B(t) = \sum_{i=0}^n P_i B_i^n(t),$$

где  $n$  – степень кривой;

$i$  – порядковый номер опорной вершины;

$P_i$  – вектор координат  $i$ -й опорной точки;

$$B_i^n(t) = \frac{n!}{i!(n-i)!} \cdot t^i \cdot (1-t)^{n-i} \text{ – полином Бернштейна степени } n,$$

$t$  – безразмерный параметр, расположенный в интервале  $t \in [0; 1]$ .

В простейших случаях траекторию движения воздушного объекта можно представить кривой на плоскости. В этом случае третья координата является фиксированной. В случае моделирования движения в трехмерном пространстве, необходимо учитывать изменение высоты движения воздушного объекта. Так как трассы движения воздушных объектов могут измеряться в десятках и сотнях километров, при задании высоты необходимо учитывать кривизну поверхности Земли. Для этого используется выражения для пересчета высоты движения воздушного объекта в координату опорной точки, которая будет использоваться для построения кривой Безье:

$$z_i = R_3 \cdot \left( \sqrt{\left(1 + \frac{h_i}{R_3}\right) - \frac{x_i^2 + y_i^2}{R_3^2}} - 1 \right),$$

где  $R_3 = (4 \cdot 10^7) / 2\pi$  (м) – радиус Земли;

$x_i, y_i, z_i$  – координаты  $i$ -ой опорной точки;

$h_i$  – высота движения воздушного объекта в  $i$ -ой опорной точке.

В случае моделирования траектории движения воздушного объекта кривыми Безье по трем координатам, будут получены три параметрических уравнения, зависящих от безразмерного параметра  $t \in [0; 1]$ . При моделировании траектории движения воздушного объекта данный параметр можно рассматривать как нормированное время. Таким образом, каждое параметрическое уравнение будет представлять собой уравнение движения объекта вдоль одной из осей. На основе этих уравнений можно определять и задавать скорости и ускорения воздушных объектов, соответствующих различным классам.

#### Литература

1. Патент № 2419072. Способ имитации траекторий движения воздушных объектов / Оpubл. 20.05.2011, – Бюл. №14 (Чекушкин В.В., Аверьянов А.М., Бобров М.С.).
2. Чекушкин В.В., Аверьянов А.М., Бобров М.С. Имитация траектории движения объектов для радиолокационных систем управления и контроля воздушного пространства. // Мехатроника, автоматизация, управление. № 9, 2009. с. 70-78.