

УДК 629.735.051:681.3239(045)

Черный Г. П., Шепелев Ю. И.

ГП «Государственное киевское конструкторское бюро „Луч“». Украина, г. Киев

О НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧАХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРАЕКТОРНЫХ ДАННЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Анотація

Розглянуті дві системи координат для визначення положення і керування траєкторним рухом літального апарату. Запропонована методика перерахунку траєкторної інформації для цих систем.

Abstract

In this paper two coordinate systems for location determining and control the trajectory movement of a flying object are considered and the technique of trajectory data recounting for these systems is offered.

Постановка проблемы

В процессе разработки систем управления летательных аппаратов (ЛА), предназначенных для выполнения различных полетных заданий на больших расстояниях, приходится иметь дело с различными системами представления информации о траекториях их полета, с разнородными источниками первичной информации о результатах наблюдений за траекториями полета, с различными навигационными средствами, используемыми для управления полетом

и т.д. Вся эту разнородную первичную информацию, навигационные данные, представленные в разных системах координат, необходимо строго увязывать между собой во избежание ошибок управления полетом ЛА.

Результаты наблюдений современных навигационных измерителей могут быть представлены в различных системах координат. Системой координат, используемой в спутниковой радионавигации, является геоцентрическая подвижная система $OXYZ$, например ПЗ-90 в системе навигационных спутников ГЛОНАСС или WGS-84 в NAVSTAR [1] (рис. 1). Центр этой системы координат расположен в центре масс Земли. Ось OZ направлена вдоль оси вращения Земли в сторону Северного полюса. Ось OX лежит в плоскости земного экватора и связана с гринвичским меридианом. Плоскость OXZ определяет положение нуля-пункта принятой системы координат системы отсчета долготы. В геоцентрической подвижной системе координат формируется информация о движении спутников, которая передается в навигационном сообщении потребителям. В этой же системе координат могут рассчитываться и координаты самого ЛА.

Другой системой координат, которая используется в управлении полетом ЛА, является геодезическая.



Ее координаты — это высота, широта и долгота. Геодезические координаты некоторой точки A связаны с физической моделью Земли, представленной в виде эллипсоида с большой полуосью a , лежащей в экваториальной плоскости, и малой полуосью b , совпадающей с осью вращения Земли [2]. При этом геодезическая широта B точки A определяется как угол между нормалью к поверхности эллипсоида в направлении точки A и плоскостью экватора. Геодезическая долгота L точки A определяется как угол между плоскостью начального меридиана и плоскостью меридиана, проходящего через точку A (положительное направление счета долгот — от начального меридиана к востоку). Геодезическая высота H определяется как расстояние по нормали от поверхности эллипсоида до точки A .

Координаты точки A в геоцентрической $\{X_{ГА}, Y_{ГА}, Z_{ГА}\}$ и в геодезической $\{B_A, L_A, H_A\}$ связаны следующими соотношениями [3]:

$$\begin{aligned} X_{ГА} &= (N + H_A) \cdot \cos(B_A) \cdot \cos(L_A), \\ Y_{ГА} &= (N + H_A) \cdot \cos(B_A) \cdot \sin(L_A), \\ Z_{ГА} &= \left[(1 - e^2) \cdot N + H_A \right] \cdot \sin(B_A), \end{aligned} \quad (1)$$

где $N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}}$, — e — эксцентриситет земного эллипсоида, a — большая полуось земного эллипсоида.

Поскольку в алгоритмах управления ЛА, в формировании полетных заданий, в моделировании

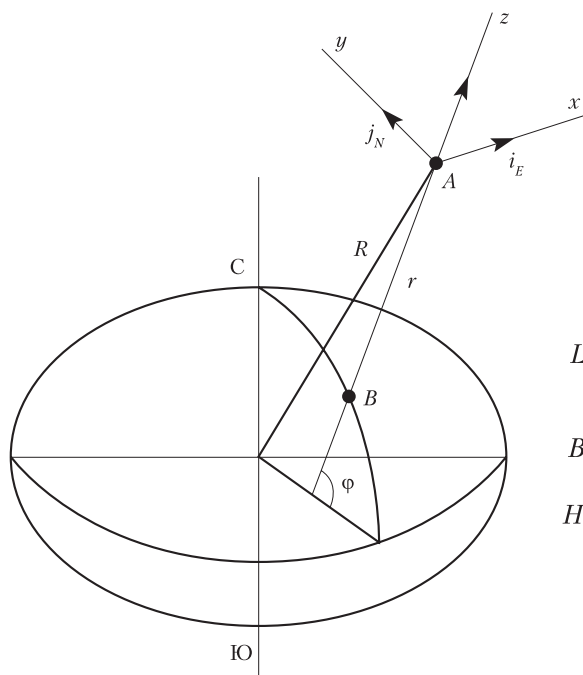


Рис. 1. Геоцентрическая подвижная земная система координат $OXYZ$

траекторий полета используются данные геофизической системы координат, а для непосредственного выполнения полетных заданий — первичная навигационная информация, получаемая в геоцентрической, очень важно иметь удобную, легко реализуемую бортовыми средствами ЛА, модель пересчета данных из одной системы координат в другую. Цель данной работы — создание такой модели путем решения прямой и обратной задач пересчета координат ЛА.

Постановка задач

Пусть траектория полета ЛА задана в геоцентрической системе координат текущими декартовыми координатами $X_g(t), Y_g(t), Z_g(t)$, при этом начальным географическим координатам B_0, L_0, H_0 соответствуют геоцентрические координаты X_0, Y_0, Z_0 . Первая задача — определить текущие географические координаты — широту, долготу и высоту — $B(t), L(t), H(t)$ по заданным геоцентрическим. Вторая задача — по заданным географическим координатам $B(t), L(t), H(t)$ определить траекторные координаты ЛА в геоцентрической системе координат.

Решение задач

Первую задачу решаем, вводя в систему уравнений (1) вместо координат точки A — текущие декартовы координаты $X_g(t), Y_g(t), Z_g(t)$ с учетом начальных условий X_0, Y_0, Z_0 и текущие географические координаты $B(t), L(t), H(t)$:

$$\begin{aligned} X_0 + X_g(t) &= [N + H(t)] \cdot \cos B(t) \cdot \cos L(t), \\ Y_0 + Y_g(t) &= [N + H(t)] \cdot \cos B(t) \cdot \sin L(t), \\ Z_0 + Z_g(t) &= \left[(1 - e^2) \cdot N + H(t) \right] \cdot \sin B(t). \end{aligned} \quad (2)$$

Решая систему уравнений (2) относительно координат $B(t), L(t), H(t)$, получим:

$$\begin{aligned} L(t) &= \arctan \frac{Y_0 + Y_g(t)}{X_0 + X_g(t)}, \\ B(t) &= \arccos \frac{[X_0 + X_g(t)] \cdot \cos L(t) + [Y_0 + Y_g(t)] \cdot \sin L(t)}{N + H(t)}, \\ H(t) &= H_g(t) - H_0. \end{aligned} \quad (3)$$

Таким образом, формируется полетное задание и задается траектория ЛА в географических координатах $B(t), L(t), H(t)$.

Вторую задачу решаем, преобразуя систему уравнений (3) таким образом, чтобы можно было воспользоваться правилом Крамера для определения геоцентрических координат $X_g(t), Y_g(t), Z_g(t)$:

$$\begin{aligned} \tan L(t) \cdot X_g(t) - Y_g(t) &= Y_0 - X_0 \tan L(t), \\ \cos L(t) \cdot X_g(t) + \sin L(t) \cdot Z_g(t) &= \\ = \cos B(t) \cdot [N + H(t)] - X_0 \cdot \cos L(t) - Y_0 \cdot \sin L(t), \\ H_g(t) &= H(t) - H_0. \end{aligned}$$

Найдем определители Δ , Δ_x , Δ_z :

$$\begin{aligned} \Delta &= \begin{vmatrix} \tan L(t) & & -1 \\ \cos L(t) & & \sin L(t) \end{vmatrix}, \\ \Delta_x &= \begin{vmatrix} \tan L(t) & Y_0 - X_0 \tan L(t) \\ \cos L(t) & \cos B(t) \cdot [N + H(t)] - \\ & -X_0 \cdot \cos L(t) - Y_0 \cdot \sin L(t) \end{vmatrix}, \\ \Delta_z &= \begin{vmatrix} Y_0 - X_0 \tan L(t) & -1 \\ \cos B(t) \cdot [N + H(t)] - \\ -X_0 \cdot \cos L(t) - Y_0 \cdot \sin L(t) & \sin L(t) \end{vmatrix}. \end{aligned}$$

Отсюда

$$\begin{aligned} X_g(t) &= \frac{\Delta_x}{\Delta}, \\ Z_g(t) &= \frac{\Delta_z}{\Delta}, \\ H_g(t) &= H(t) - H_0. \end{aligned} \quad (4)$$

Заключение

Предложенная методика пересчета траекторных данных, основанная на полученных расчетных соотношениях (3), (4), позволяет решать как прямую задачу — по географическим координатам ЛА определять его координаты в земной геоцентрической системе координат, так и обратную — по текущим декартовым координатам траектории полета ЛА в геоцентрической системе координат определять его текущие географические координаты: широту, долготу и высоту. Полученные соотношения легко реализуются в программах моделирования траекторий полета ЛА и могут найти применение в разрабатываемых их системах управления.

Литература

1. *Мирошников А.Н., Румянцев С.Н.* Моделирование систем управления технических средств транспорта ГЭТУ. — СПб, «Элмор», 1999. — 224 с.
2. *Газалин В.Ф.* Системы геодезических параметров Земли. «Параметры Земли 1990 года» (ПЗ-90). М., КНИЦ, 1998 г.
3. *Соловьев Ю.А.* Системы спутниковой навигации — М., Эко-Трендз, 2000 г.
4. *Соловьев Ю.А.* Комплексование глобальных спутниковых радионавигационных систем ГЛОНАСС и GPS — с другими навигационными измерителями / Радиотехника, 1999, № 1.