

GPS 仿真器设计*

张东升 张育林 刘 昆 曾庆华

(国防科技大学航天技术系 长沙 410073)

摘 要 本文详细介绍了在无人机利用GPS 导航半实物仿真系统中GPS 仿真器的设计原理。通过分析GPS 及GPS 接收机的基本工作方式, WGS-84 与各种坐标系的转换关系, 研制了GPS 仿真器。它将由飞行仿真计算机得到的无人机位置信息转换成与之对应的GPS 信号, 输入飞控计算机, 以实现GPS 导航的仿真试验。

关键词 GPS 及其接收机, WGS-84 坐标系, 仿真器

分类号 V443

Design for GPS Emulator

Zhang Dongsheng Zhang Yulin Liu Kun Zeng Qinghua

(Department of Astronautical Technology, NUDT, Changsha, 410073)

Abstract The principle of GPS emulator, used in emulational GPS navigation system for UAV has been described in detail in this paper. By analyzing the basic work manner for GPS and its receiver, the relationship between WGS-84 system and other coordinates, the GPS emulator is produced. It converts the location information obtained by UAV fly simulating computer into corresponding GPS signal, which is attained by the controlling computer in UAV. The experiments show that it is qualified in simulation.

Key words GPS and its receiver, WGS-84 system, emulator

1 GPS 导航系统及其仿真

全球定位系统 (Global Positioning System 简称GPS), 是美国国防部为陆海空三军研制的卫星定位与导航系统, 是美国继阿波罗登月和航天飞机之后的第三大空间工程。系统于1993年建成并投入使用。GPS 由空间卫星星座、地面监控站和用户设备三部分组成。用户设备主要指GPS 接收机。卫星导航定位系统是在已知卫星在每一时刻的位置和速度的基础上, 以卫星为空间基准点, 通过测站接收设备, 测定至卫星的距离或多普勒频移等观测量来确定测站的位置、速度。由于GPS 具有全球、全天候、连续实时的精密三维定位和导航能力, 有广泛的应用价值和发展潜力。

随着计算机技术、自动驾驶技术和遥控遥测技术的进一步发展和在无人机中的应用, 以及随着对无人机技术研究的深入, 无人机的应用日益广泛, 已成为名符其实的“空中多面手”。无人机常用的自动导航系统有惯性导航系统 (INS)、多普勒导航系统 (DNS) 和GPS 导航系统。GPS 能全球、全天候提供高精度的位置和速度信息, 具有精度高、工作可靠的特点, 接收机体积小、价格低。因此它特别适合小型无人机的应用。某无人机采用了GPS 定位与导航方式, 其控制方案见系统框图1所示。

其工作原理为: 在飞行中, 机载GPS 接收机获得无人机的空中位置, 将信息传送给飞行控制计算机, 通过位置计算, 获得无人机的实时空间位置, 与预置飞行航线比较, 得到偏差反馈信号, 再由飞控计算机发出指令, 控制无人机向目标飞行。在研制无人机GPS 导航系统时, 可采用外场试飞的方式, 让无人机进行实际飞行, 以确定导航系统的正确性和可靠性。但该方法通常具有较大的风险, 任何设计和研制过程中的失误都将造成严重的损失。另一种方法就是在实验室里采用计算机仿真技术, 用计

* 1998年10月9日收稿

第一作者: 张东升, 男, 1967年生, 副教授



图1 GPS 导航控制系统框图

Fig.1 Block diagram of control system by GPS navigation

计算机模拟无人机的飞行，在地面对其导航和控制系统进行仿真，从而设计出成熟的导航和控制系统。



图2 GPS 导航的半实物仿真系统框图

Fig.1 Block diagram of simulation system by GPS navigation

在地面进行仿真试验时，由于飞机没有飞行，飞机上 GPS 接收机接收的位置信号将不会改变。因此有必要在仿真条件下，根据机载 GPS 接收机的信号特征，设计一个 GPS 仿真器来模拟与仿真飞行对应变化的位置信号。无人机具有 GPS 导航的半实物仿真系统框图见图 2 所示。无人机方向舵、升降舵和副翼的偏转量通过数据采集系统输入飞行仿真计算机，飞行仿真计算机采用了适当的数学模型和飞机的基本参数，配合各舵面的偏转，可计算飞机飞行的姿态和方位，并传送给动画显示计算机和 GPS 仿真器。动画显示计算机显示飞机的飞行姿态。GPS 仿真器将飞机的方位进行坐标转换，以机载 GPS 接收机的输出信号为标准，输出飞机所在位置的经纬度和高度。飞控计算机则从 GPS 仿真器获得飞机的空间位置，通过比较与预置航线的差异，发出指令，由控制电路驱动飞机的各舵面，使飞机沿预置航线飞行，这样完成闭环半实物仿真。

2 WGS-84 及其坐标转换

WGS-84 是 GPS 卫星广播星历的参考系。它的原点在地球的质心， z 轴指向 BIH 系统所定义的协议地极 (CTP) 的方向， x 轴为 WGS-84 赤道面与 WGS 格林威治子午面的交线。在具体应用中，WGS-84 还可转换为其站心地平坐标系。这种右手坐标系的坐标原点在 GPS 网中的某一个测点， y 轴指向过该点的子午线，以北为正， z 轴重合于该点的 WGS-84 椭球的法线，向外为正， x 轴也位于该点的切平面，以东为正。见图 3 所示。

设站点坐标系的坐标原点 P_0 在 WGS-84 地心坐标系中的位置向量为 $r_0 = (x_0, y_0, z_0)^T$ ，相应的 WGS-84 椭球上的大地经纬度为 (L_0, B_0) ，则任一点 P_1 在站点坐标系中的位置向量 r_1 可由其在 WGS-84 地心坐标系中的位置向量 r_1 经平移，旋转转换而得，即有

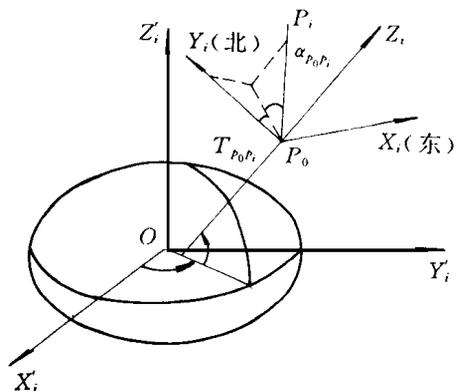


图3 WGS-84 及站心地平坐标系

Fig.3 WGS-84 and ground level coordinates

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_i &= \begin{bmatrix} x^i \\ y^i \\ z^i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} R_x(90 - B_0) R_z(L_0) (\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_0) \\ &= \begin{bmatrix} -\sin B_0 \cos L_0 & -\sin B_0 \sin L_0 & \cos B_0 \\ -\sin L_0 & \cos L_0 & 0 \\ \cos B_0 \cos L_0 & \cos B_0 \sin L_0 & \sin B_0 \end{bmatrix} (\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_0) \end{aligned} \quad (1)$$

3 GPS 仿真器设计原理

为了便于 GPS 仿真器的设计有必要了解机载 GPS 接收机的功能和输出信息格式。

某无人机的 GPS 导航系统采用了 GARMIN GPS 20 型接收机, 它可同时提取八颗卫星的信息, 每秒定位一次, 其定位信息通过 RS-232 接口与外部设备进行数据交换。输入输出语句均以串行通讯协议, 采用三线制, 设有 8 个数据位, 1 个停止位, 无奇偶检验方式。波特率可选, 默认值为 4800bps。以 NMEA 0183 2.0 版 ASCII 码输出 (如: GPGGA, GPGSA, GPGSV, GPRMC 等) 11 条语句, 输出信息包括接收机所在位置、速度和时间, 接收机和卫星的状态, 差分参考站 ID 和 RTCM 数据龄, 及几何误差估计。在无人机自主定位与导航应用中, 主要接收无人机的位置、速度和时间信息。这些信息都包含在 GPGGA 语句中。它共有 12 条信息, 简述如下:

GPGGA, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 CR IF

其中, 1 为定位的 UTC 时间, 采用 hhmmss 的格式。2 为纬度, 采用 ddmm.mmm 的格式。

3 为南北半球标志, 采用 N 或 S 的格式。4 为经度, 采用 dddmm.mmm 的格式。5 为东西半球标志, 采用 E 或 W 的格式。6 为 GPS 信号质量指示, 0 表示不可定位; 1 表示可进行 GPS 定位; 2 表示可进行 DGPS 定位。7 为跟踪的卫星数目, 用 00~08 表示。8 为水平方向的经度范围, 用 1.0~99.9 表示。9 为接收机天线所在位置相对于海平面的高度, 用 -9999.9~99999.9m 表示。10 为大地椭球面相对于海平面的高度, 用 -999.9~9999.9m 表示。11 为差分 GPS 数据龄, 不采用差分 GPS 时, 该字节为空。12 为差分参考站 ID, 用 0000~1023 表示。不采用差分 GPS 时, 该字节为空。

在仿真器设计中, 最重要的内容是飞行仿真中, 飞机经纬度和高度信息的合成。飞行仿真计算中通常采用站心坐标系, 需要采用坐标转换, 换算成 WGS-84 直角坐标系, 另外在该坐标系下还需采用迭代算法合成该位置的经纬度。

地球是一个扁的椭球体, 其长轴在地球赤道平面上, 在大地测量中, 需要定义地球椭球的几何参数, f 为地球的扁率, 在我国取值为 $1/298.257$, 地球赤道上长半径为 R_e , 我国于 1986 年定义为 6378137.14m。

设椭球体上某点的经度为 L , 纬度为 B , 高度为 H , R_N 为该点的卯酉圈曲率半径, 在已知地球上某点的经纬度和高度 (L, B, H) 时, 可利用公式直接解算出该点在 WGS-84 直角坐标系中的位置:

$$\begin{cases} X = (R_N + H) \cos B \cos L \\ Y = (R_N + H) \cos B \sin L \\ Z = [R_N(1 - f^2) + H] \sin B \end{cases} \quad (2)$$

其中, $R_N = \frac{R_e}{1 - f \sin^2 B}$

当已知 X, Y, Z 反求 L, B, H 时, 则可以采用迭代解法。

$$\begin{aligned} L &= \tan^{-1} \frac{Y}{X} \\ B &= \tan^{-1} \left[\frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \left(1 - \frac{f^2 R_N}{R_N + H} \right)^{-1} \right] \\ H &= \frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{\cos B} - R_N \end{aligned} \quad (3)$$

在 (3) 式中, 求 B 和 H 的迭代方法是: 迭代开始时, 设

$$\begin{cases} R_{N0} = R_e \\ H_0 = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} - R_e \sqrt{1 - f^2} \\ B_0 = \tan^{-1} \left[\frac{Z}{X^2 + Y^2} \left(1 - \frac{f^2 R_{N0}}{R_{N0} + H_0} \right)^{-1} \right] \end{cases} \quad (4)$$

在随后的迭代中, 每次按下述公式进行

$$\begin{cases} R_{Ni} = \frac{R_e}{1 - f^2 \sin^2 B_{i-1}} \\ H_i = \frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{\cos B_{i-1}} - R_{Ni} \\ B_i = \tan^{-1} \left[\frac{Z}{X^2 + Y^2} \left(1 - \frac{f^2 R_{Ni}}{R_{Ni} + H_i} \right)^{-1} \right] \end{cases} \quad (5)$$

直到 $(B_i - B_{i-1})$ 和 $(H_i - H_{i-1})$ 小于某一所要求的门限值为止。在保证 H 的计算精度为 0.001m 和 B 的计算精度为 0.00001 的情况下, 一般仅迭代四次左右。

在半实物仿真系统中, 飞行仿真计算机计算所得的飞机在站心地平坐标系中的位置 (x, y, z) , 通过网络数据传送方式输入 GPS 仿真器, GPS 仿真器首先将这个局域站心地平坐标转换为 WGS-84 直角坐标系下的坐标 (X, Y, Z) , 再利用 (3) ~ (5) 式的迭代算法求解对应的经纬度和高度。通过组合其它相关信息, 可以重构 GPS 接收机的输出语句。这里, 仍然以 GPGGA 语句为例, 设某点在上午 8 32 56 秒时的经纬度为东经 112.8345°, 北纬 28.8538°, 高度为 1000m。由 GPS 仿真器输出的语句为

GPGGA, 083256, 2851.228, N, 11250.07, E, 1, 08, 10.1, 1000.0, 1000.0, CR LF

GPS 仿真器通过串行通讯口, 按照 GPS 接收机的语句输出方式输出各定位语句。软件采用了 VC++ 语言, 在 Win95 环境下编程。为了形象直观, GPS 仿真器工作时还将显示 GPS 定位导航原理示意图。

为了检验 GPS 仿真器工作的正确性, 我们编制了可直接接收 GPS 接收机定位信息的软件 receive, 它在接收信息后, 将在屏幕上显示测点的经纬度和高度。用该软件从 GPS 仿真器同样可获得定位信息。因此说明 GPS 仿真的工作是正确的, 可靠的。

4 结论

GPS 是一种先进的全球定位方法, 它可用于无人机的自主导航。本文介绍了 GPS 及 GPS 接收机的基本原理, WGS-84 与各种坐标系的转换关系, 研制了在无人机 GPS 导航半实物仿真系统中使用的 GPS 仿真器。它接收从飞行仿真计算机输入的飞机在站心地平坐标系的位置, 可准确地模拟与它对应的 GPS 信号。各项指标满足使用要求, 它可广泛地应用于其它领域的仿真试验中。

参考文献

- 1 Groten E. GPS Techniques Applied to Geodesy and Surveying. Proceedings of the International GPS Work Shop, Lecture notes in Earth Science, Darmstadt, 1988, 119
- 2 刘大杰等. 全球定位系统 (GPS) 的原理与数据处理. 上海: 同济大学出版社, 1995
- 3 沈云中等. 自由定向坐标系中 GPS 网的平差计算. 同济大学学报, 1996 (2)