

飞行器轨迹及参数测量的一种新方法

桂延宁¹, 张福顺², 焦李成¹

(1. 西安电子科技大学雷达与信号重点实验室, 陕西西安 710071; 2. 西安电子科技大学天线与微波重点实验室, 陕西西安 710071)

摘 要: 本文采用 GPS 定位与遥测技术相结合的方法对中远程飞行器轨迹测量进行了研究. 文中讨论了测量方法实现的基本原理, 并进行了实验验证. 实验结果表明该方法与其它常规方法相比, 具有不受气候、目标散射截面以及距离等因素影响的优点. 解决了飞行体在中长飞行距离时轨迹及内部工作参数测量这一技术问题.

关键词: GPS 定位技术; 遥测技术; 轨迹测量

中图分类号: V556. 2; TP873+ . 14 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2003) 12-1894-03

A New Method of Trace and Parameter Measurements for Flying Objects

GUI Yan2Ning¹, ZHANG Fu2Shun², JAO Li2Cheng¹

(1. Key Laboratory of Radar and Signal, Xidian University, Xi. an 710071, China;

2. Key Lab. of Antennas and Microwave, Xidian University, Xi. an 710071, China)

Abstract: A method of trace and parameter measurement for flying objects is discussed with the GPS and telemetering technique over the range of middle and far distances. The principle of measurement is presented and the experiments are made. It is shown that this method has many advantages over other ones with no influence of climate, target RCS and long distances on the measurement. The problem of measuring trace and parameter for flying objects at middle and far distances is solved.

Key words: GPS technique; telemetering technique; trace measurement

1 引言

随着中远程常规制导飞行器的发展, 现有的测试技术已不能满足其测试的需求. 这些新飞行器与以往的常规飞行器相比, 具有飞行距离远、组织试验困难及造价昂贵等特点. 因此, 在产品研制过程中, 不能像往常一样靠大量的外场飞行试验来考核飞行器系统的性能. 而要求在一次试验中尽可能多的获取各种试验数据, 例如: 要求同时获取制导飞行的内部工作参数、惯性参数及飞行弹道上的轨迹等参数, 用于故障定位及分析飞行器的气动外形和飞行稳定性等. 这些内部工作参数及惯性参数可通过遥测技术测量并获取, 而飞行轨迹的测量, 通常只能采用光学仪器或雷达来获取. 这两种设备都有着各自的局限性, 均不能满足中远距离轨迹测试的需求. 采用光学经纬仪进行测量, 作用距离近, 受气候的影响大; 而雷达造价高, 且测量距离随目标反射截面的大小而变, 目标越小测试距离越近, 测量精度就越差. 然而常规制导飞行器不仅体积小, 而且设计时要求其具有较好的隐身性, 故此采用雷达测试轨迹更加困难. 因此必须研究新的测试方法, 使其经济、有效地用于中远程制导飞行器飞行轨迹和其内部工作参数的测试.

2 测量原理

2.1 遥测系统

遥测系统通过无线信道对飞行器飞行过程中的内部工作参数进行测量, 由器载设备和地面接收站两部分组成, 通常采用 PCM/FM 遥测体制, 工作波段为 S 波段或 P 波段. 被测信号经传感、调理变换后, 送入 PCM 编码器完成量化、编码, 形成的 PCM 数据流调制器载发射机, 经器载天线辐射到遥测地面站. 遥测地面站对接收到的 PCM 数据流进行实时解调、处理、显示并存储^[1]. 虽然遥测系统在制导飞行器靶场试验中起着至关重要的作用, 但是它只能测量飞行器内部工作参数和惯性参数等, 而不能测量弹丸飞行中的空间位置.

2.2 GPS 定位系统

由美国国防部开发研制的 GPS 全球定位系统, 由处于 20200km 高, 分布在 6 个轨道面上的 24 颗轨道卫星、地面支撑运行控制子系统和用户接收机三大部分组成^[2]. 卫星识别码及导航电文(如星历、星钟参数等)通过伪随机码序列调制在 L 波段 $f_1 = 1575.42\text{MHz}$ 和 $f_2 = 1227.60\text{MHz}$ 两个频率上向地球发射. GPS 用户可获得足够信息用于精确定位和定时. 一般分为单点定位和相对定位, 相对定位精度高于单点定位精

度^[3]. GPS 技术用于弹道测量和靶场监测, 具有原理简单、使用方便、精度高、受气象环境影响小, 节省设备、人员, 数据处理速度快等优点, 特别适用于对中远程制导飞行器飞行轨迹的全程连续测量, 是其它系统无法比拟的.

21.3 GPS/遥测复合系统

综合二种系统的优点, 将器载 GPS 接收机看作遥测系统中的一个空间位置传感器, 用以实时获取飞行体的空间位置、速度等其它可用于轨迹测量的定位数据. 并将这些数据与遥测数据统一编码形成符合遥测标准的 PCM 串行码流, 通过遥测信道传送到遥测地面站, 进行数据分离和处理. 可在一次测量中同时获取飞行器内部工作参数、惯性参数、转速参数及飞行器飞行速度和空间位置等参数, 而无需增加其它任何辅助设备, 同时不受距离、气候及目标反射截面小或隐身性能好的影响.

3 测量系统的工程实现

31.1 系统测量框图

系统测量框图如图 1 所示. 内部工作参数通常有两类, 一类是各部件的工作参数, 另一类是传感器参数, 两类被测参数均经过 A/D 转换器量化为数字信号. GPS 定位数据经器载 GPS 有源天线、接收机获取, 并转换为数字信号. 对于单点定位, 接收机实时解算出经度、纬度、高度和速度, 对于相对定位, 接收机输出星历、钟差等其它原始定位数据. 在单片机的控制下, 这些定位数据通过 RS232 或 RS422 串行接口以 ASCII 代码或二进制代码的格式送入遥测 PCM 编码器与其它遥测数据一起按照 IRIG 遥测标准统一编码, 形成 PCM 串行数据流, 经过调制前滤波器滤除谐波后, 调制器载发射机, 通过器载共形天线发回到遥测地面站. 遥测地面站系统框图如图 2 所示. 遥测接收天线和接收机对已调射频进行接收和解调. 在计算机的控制下, 完成对 PCM 串行数据流的分路、时间码的插入, 进而处理出 GPS 参数和其它遥测数据.

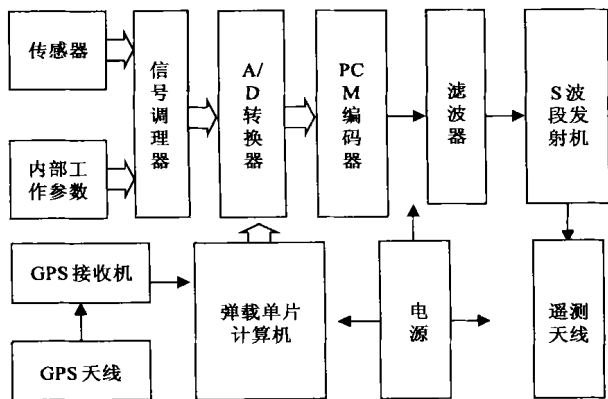


图 1 GPS/遥测器载系统框图

31.2 GPS/遥测硬件接口设计

由图 1 可知, 将 GPS 定位数据溶合到 PCM/FM 遥测数据中的关键是 GPS 接收机与遥测编码器的接口设计, 包括硬件接口设计和相应软件的设计. GPS/遥测硬件电路如图 3 所示. 接口控制器选用 89C2051 单片机, 通过单片机的串行通讯口

与 GPS 接收机进行通讯, 并将收到的 GPS 定位串行数据转换成并行数据. PCM 编码器输出的 CS 片选信号与单片机 P3.2 引脚进行握手, 同时选通 HCT373 锁存器, 将 89C2051 单片机 P1 口输出的定位信息分时送给编码器, 插入到遥测相应的通道中, 周而复始完成数据的交换与溶合.

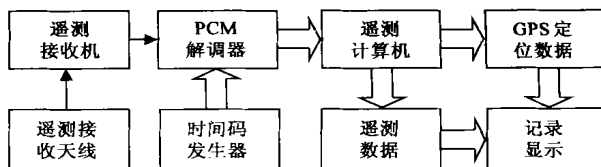


图 2 GPS/遥测地面系统框图

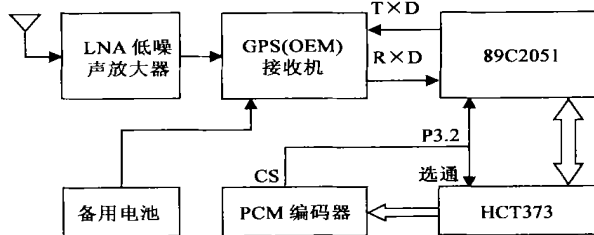


图 3 GPS/遥测接口硬件电原理

31.3 接口通讯软件设计

设置 89C2051 单片机串行口为工作方式 1, 通讯波特率 9600bps, 利用单片机内部 RAM 作为数据缓冲区, 起始地址为 08H. 具体流程如图 4 所示. 单片机上电后, 首先初始化, 包括设置通讯方式、波特率、堆栈指针及中断方式等, 再将串行中断打开, 等待 GPS 接收机的通讯中断. 在中断处理程序中, 完成 GPS 接收机与单片机的数据交换, 并将定位数据暂存在 08H 单元开始的缓冲区内. 退出中断处理程序后, 通过 P3.2 与 PCM 编码器握手, 低电平数据有效, 完成数据交换后, 打开串行口中断, 等待 GPS 下一次中断. 重复上述过程, 完成全飞行弹道上的轨迹测量.

31.4 坐标转换及数据处理

GPS 定位是建立在 WGS84/全球大地系统 0 (World Geodetic System) 的基础上, 它是以地球质心为原点与地球固连的坐标系^[2-4]. 可表示为空间直角坐标系 (ECF) 和大地坐标系 (LLA) 两种形式. ECEF 坐标原点与地球质心重合, Z 轴指向地球北极, X 轴指向格林威治子午面与地球赤道的交点 E, Y 轴垂直于 XOZ 平面构成右手坐标系. 在 LLA 坐标系中, 地球椭球的中心与地球的质心重合, 椭球短轴与地球自转轴重合. 定义大地纬度 U 为过地面点的椭球法线与椭球赤道面的夹

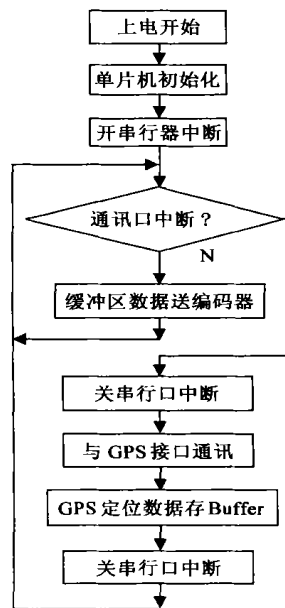


图 4 接口通讯软件设计流程

角,大地经度 K 为过地面点的椭球子午面与格林威治平大地子午面之间的夹角,大地高 h 为地面点沿椭球法线至椭球面的距离. WGS84 椭球参数定义如下:

椭球长半轴 $a = 6378137\text{m}$;

椭球短半轴 $b = a @ (1 - f) = 6356752.31424518\text{m}$;

其中: $f = 1/298.257223563$;

椭球第 1 偏心率 $e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}}$;

椭球第 2 偏心率 $e' = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{b^2}}$.

器载 GPS 接收机实时给出经度、纬度和高度定位信息,需要通过 ECEF 空间直角坐标系将 ILA 坐标转换到飞行器坐标系中,具体如图 5 所示. OXYZ 为 ECEF 空间直角坐标系,设飞行器初点的经、纬度和高度分别为 K 、 U 和 h 则该点在 ECEF 中的坐标 X 、 Y 、 Z 可通过(1)式获得:

$$\begin{cases} X = (N + h) \cos U \cos K \\ Y = (N + h) \cos U \sin K \\ Z = \left(\frac{b^2}{a^2} N + h \right) \sin U \end{cases} \quad (1)$$

式中 N 为椭球曲率半径且:

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 U}} \quad (2)$$

设过初始点的椭球法线与椭球面的交点为 o , 先将 OZ 轴逆时针旋转 K 角度, 再将 OX 轴逆时针旋转 U 角度, 最后将 O 点沿 Oo 方向平移 N , 即可得飞行器直角坐标系 αyz . 其中 αz 轴指向北, αy 轴指向东, αx 轴沿椭球法线方向与 $y\alpha z$ 平面构成右手直角坐标系. 飞行器在该直角坐标系 αyz 中的轨迹坐标 x 、 y 、 z 可由(3)式确定:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos K \cos U & \sin K \cos U & \sin U \\ -\sin K & \cos K & 0 \\ -\cos K \sin U & -\sin K \sin U & \cos U \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} N \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中 x 轴表示飞行高度, αxz 平面为飞行轨迹平面.

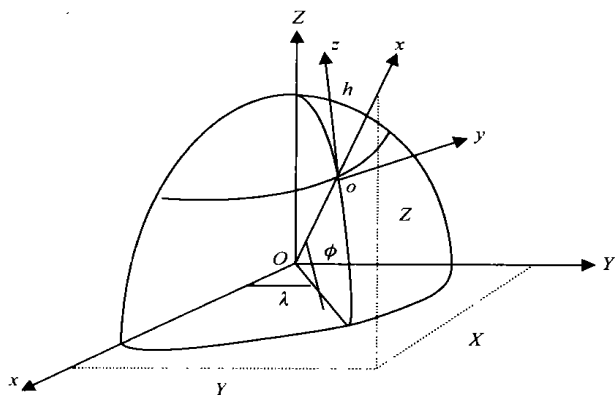


图 5 GPS 坐标变换原理图

地面数据处理首先从遥测 PCM 数据流中分离出 GPS 定位数据(经度、纬度和高度), 通过(1)式、(2)式和(3)式解算出轨迹坐标 x 、 y 、 z , 并向 αxz 平面投影即可获得飞行轨迹曲线.

4 试验结果

GPS/ 遥测复合测试系统在某实际飞行试验中进行了验证, 遥测载波频率为 2250.5 MHz, 遥测体制为 PCM/ FM, 发射功率 32 dBmW. 飞行器初始高度 $H_0 = 2000\text{m}$, 初始速度 $V_0 = 238\text{m/s}$. 同时获取了飞行器飞行轨迹和其它遥测数据. 处理后的飞行轨迹如图 6 所示, 图中实线为实际飞行轨迹, 虚线为理论计算轨迹, 实际轨迹与理论计算吻合良好.

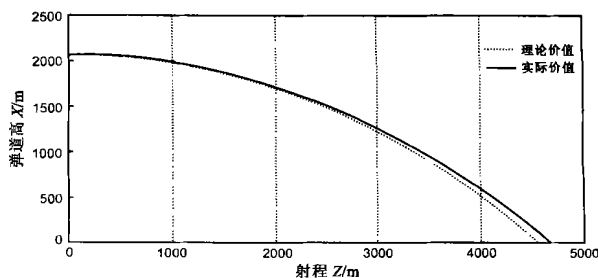


图 6 实测飞行器飞行轨迹

5 结论

本文研究的 GPS/ 遥测复合测试技术是在遥测系统的基础上增加了 GPS 定位功能, 具有测量方法简单, 测量精度高, 一次测量可获得多类参数等优点. 对常规制导飞行器特别是中远程制导飞行器参数测量具有非常高的实用价值.

参考文献:

- [1] 李邦复. 遥测系统[M]. 北京: 宇航出版社, 1991.
- [2] 方群. 卫星定位导航基础[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2000.
- [3] 王广运. 差分 GPS 定位技术与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 1998.
- [4] 魏子卿. GPS 相对定位的数学模型[M]. 北京: 测绘出版社, 1999.

作者简介:



桂延宁 男, 1958 年生于浙江宁波, 高级工程师, 硕士, 西安电子科技大学博士研究生, 主要研究方向为信号处理、信号传输和模式识别技术.

张福顺 男, 1960 年生于西安, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为天线理论与测量, 发表学术论文 40 余篇, 出版著作 3 部.

焦李成 男, 1959 年生于陕西, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为智能信息处理, 发表学术论文 100 余篇, 出版专著 2 部.