

doi: 10.7690/bgzd.2014.03.024

## 靶场高精度脱靶量测量方案与仿真实现

卓宁

(中国人民解放军 92941 部队 96 分队, 辽宁 葫芦岛 125000)

**摘要:** 针对靶场目前飞行器系统脱靶量测量存在使用条件的限制、不能满足试验要求的问题, 提出一种将双天线分集接收、伪距差分测量和双频载波相位差分测量相结合靶场高精度脱靶量测量方案。在对靶场现有 GPS 脱靶量测量技术分析的基础上, 设计了高精度的脱靶量测量原理图, 并对其可行性进行仿真分析。仿真结果证明: 该方法有效地提高了脱靶量测量精度, 满足靶场高精度飞行器试验的测量要求。

**关键词:** 伪距差分; 载波相位差分; 高精度; 脱靶量

**中图分类号:** TJ06 **文献标志码:** A

## Design and Simulation Realization of High Precision Miss Distance Measurement in Range

Zhuo Ning

(No. 96 Team, No. 92941 Unit of PLA, Huludao 125000, China)

**Abstract:** Aiming at the limit application condition of aircraft system miss distance measurement which can not meet the test requirement, put forwards a range high precision miss distance measurement scheme by combining dual-antenna diversity reception, pseudo range difference measurement and dual frequency carrier phase difference measurement. Based on analysis of GPS miss distance measurement technology, design the high precision miss distance measurement schematic diagram, then carry out simulation analysis on feasibility. The simulation results show that the method effectively improve miss distance measurement precision, satisfy the measurement requirement of high precision aircraft test in range.

**Keywords:** pseudo range difference; carrier phase difference; high precision; miss distance

## 0 引言

脱靶量测量是飞行器系统命中精度的主要评估依据, 也是衡量靶场测量精度水平的重要标志<sup>[1-3]</sup>。型号部门、靶场、设备研制单位以及使用单位都十分关注脱靶量测量的方法和精度, 它与飞行器系统的精度分析及其改进、定型有着密切的关系。目前我国飞行器系统脱靶量测量主要采用光学设备、遥测系统进行脱靶量的测量, 由于系统自身存在使用条件的限制, 不能够满足试验要求。基于此, 笔者主要从 GPS 测量技术的应用方面考虑, 在对靶场现有脱靶量测量进行分析的基础上, 得出一种高精度的脱靶量测量方案, 并进行了仿真实验。

## 1 靶场现行脱靶量测量技术

光学跟踪测量系统测量脱靶量是利用光学测量和成像原理, 测量、记录目标的运动轨迹、姿态、运动中发生的事件, 以及目标的红外辐射和视觉特征, 来获取被测目标在空间随时间变化的位置、速度和加速度、发射时间、遭遇时间和脱靶量等数据。但这种方法通常受气象条件影响比较大, 且当靶标被击中时数据容易丢失。

遥测脱靶量测量系统是上世纪国外广泛采用的一种测量脱靶量方法, 但国内靶场很少运用。

随着 GPS 技术的飞速发展和各项性能的日趋完善, GPS 外弹道测量<sup>[4-7]</sup>在靶场测控领域得到了广

泛应用, GPS 测量方式主要分为: 伪距差分测量、载波相位差分测量。伪距差分测量的动态环境适应性较好, 但测量精度只能达到 10 m 以内; 载波相位差分测量方式的测量精度较高, 能到分米级, 但对动态环境适应性较差。

目前靶场飞行器系统上的 GPS 接收机一般采用单天线接收机, 脱靶量测量方式只能是伪距差分 and 单频载波相位差分测量 2 种方式, 笔者分别对这 2 种脱靶量测量方式的精度进行分析。

1.1 GPS 伪距差分测量结果精度分析<sup>[8-9]</sup>

设基准站接收机测量精度  $\sigma_m$ , 飞行器系统上接收机测量精度  $\sigma_w$ , 且  $\sigma_m = \sigma_w$ , 则伪距测量误差  $\delta$  及定位精度  $\sigma$  为

$$\delta = \sqrt{\sigma_m^2 + \sigma_w^2} = 1.4\sigma_w \quad (1)$$

$$\sigma = \delta \times \text{pdop} \quad (2)$$

在动态条件下, GPS 接收机伪距测量精度能达到 0.6 m 左右, 则式 (1) 中的  $\delta = 0.84$  m。在无遮挡且无多路径效应、GPS 接收机天线位置水平时, 基准站与飞行器系统数据处理后共视星大于 6 颗, PDOP 值一般小于 2.5 时, 式 (2) 中伪距测量误差为 2.1 m。但是如果飞行器系统在攻击目标前有较大的姿态调整或低空飞行受海面等多径效应的影响时, GPS 收星数就会变少, 有时甚至收星数小于 4 颗, 不满足最低定位条件; 因此, 无法正常定位, 测量

收稿日期: 2013-11-19; 修回日期: 2013-12-04

作者简介: 卓宁(1976—), 女, 安徽人, 硕士, 高级工程师, 从事无线电外测数据处理、精度鉴定等研究。

精度也难以满足需求。

## 1.2 GPS 单频载波相位差分测量结果精度分析<sup>[10]</sup>

在动态条件下，GPS 接收机载波相位测量精度能达到厘米级，按 PDOP 值为 2.5 计算，根据公式(2)，可以计算出单频载波相位差分测量的定位结果精度。考虑短基线测量和接收机受动态环境的影响，这种测量方式的精度应能满足靶场目前脱靶量的测量要求。但在实际使用中存在如下问题：整周解模糊是载波相位测量的关键技术，为了可靠地求解出整周相位模糊度，采用目前比较先进的方法可以把基线解算时间缩短至 5 min，但前提是飞行器系统接收机和目标基准接收机共视至少 5 颗以上 GPS 卫星，这对于高动态的靶场飞行器系统试验来说是比较困难的，所以单频载波相位差分测量用于高动态环境下是不可取的。

通过以上分析不难发现，不论是伪距差分测量还是单频载波相位差分测量，在飞行器系统作较大姿态调整时，有可能出现收星数目较少、解算整周模糊度时间较长等问题，因而实用性较差。

## 2 脱靶量测量方案设计

为满足靶场脱靶量测量需求，笔者提出了一种高精度的脱靶量测量方案，即双天线分集接收、伪距差分测量和双频载波相位差分测量相结合的方法，设计方案如图 1 所示。

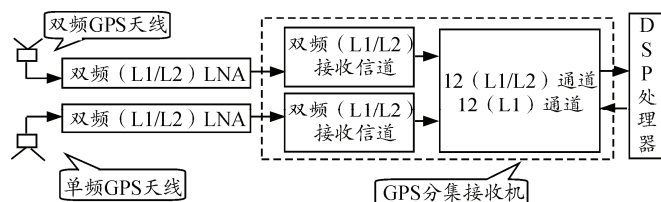


图 1 高精度的脱靶量测量原理

从图 1 中可以看出，本测量方案是分别在飞行器系统上部和下部安装一个 GPS 天线，下部的天线为 GPS 单频天线，上部天线为 GPS 双频天线。在实际测量时载波相位只能处理一个天线入口的信号。为了节省资金，只在飞行器系统的上部安装双频天线。在观测条件较好，即上部 GPS 天线接收卫星数较多的条件下，系统则进行双频载波相位测量，获得高精度的脱靶量测量结果；在观测条件较差，卫星接收数量较少不能满足载波相位测量条件时，系统则会对上、下两个天线的 GPS 测量信息处理完成伪距差分测量，以保证脱靶量测量精度要求。

同时，为了避免信号干涉，2 部天线的 GPS 信号接收不是采用直接合成而是采用分集接收的形式，使接收信道相互独立，所以接收机最多可同时接收处理 12 颗 GPS 卫星信号。

## 3 实验仿真结果及其分析

笔者采用动态跑车的方式对测量方案的设计进行了仿真实验，在已知具体位置的一个固定点布设了基准站，动态跑车的实测路线选择了某高速公路作为主测路线，将车载接收机数据利用 WayPoint8.40 软件及 VC++6.0 软件编写的后处理程序进行处理，并计算脱靶量。

在满足活动站与基准站工作正常，载波相位信息完整，定位卫星数大于 5，PDOP 小于 3.0 的条件下，通过本方案进行的动态跑车实验的事后数据处理精度如表 1 所示。

表 1 动态实验测量精度 (95%置信区间)

测量方式	定位方式	
	载波相位差分定位/cm	伪距差分定位/m
平面	5.17	0.194
高程	8.58	1.802
三维	10.02	1.812

由此计算的脱靶量测量精度如表 2 所示。

表 2 脱靶量测量精度

定位方式	基线长度/km	精度/m
双频载波相位差分	0~15	优于 0.3
伪距差分	0~15	优于 3

## 4 结论

笔者从靶场实用性的角度分析论证了双天线分集接收、伪距差分测量和双频载波相位差分测量相结合的脱靶量测量方案，并对方案作了仿真实验。实验结果表明：该方案能解决高动态条件下解算整周模糊度时间较长，发生跳周后难以修复的问题，提高了飞行器的测量精度，从而有效提高靶场脱靶量测量精度。

## 参考文献：

- [1] 王菊, 吴嗣亮. 基于目标运动轨迹提取的矢量脱靶量测量方法[J]. 北京理工大学学报, 2005, 2(25): 164-168.
- [2] 刘旭春, 伍岳, 黄学斌, 等. 多频组合数据在原始载波观测值预处理中的应用[J]. 测绘通报, 2007(2): 14-17.
- [3] 高昆山, 周克栋, 赫雷. 激光测速靶前端电路设计[J]. 兵工自动化, 2012, 31(7): 82-84.
- [4] 生仁军. GPS 载波相位定位中周跳探测方法的研究[D]. 南京: 东南大学硕士学位论文, 2006.
- [5] 赖育网. 星载双频 GPS 数据预处理方法研究及软件实现[D]. 长沙: 国防科学技术大学硕士学位论文, 2009.
- [6] 刘盼. 多频连续波雷达系统目标跟踪与脱靶量算法研究[D]. 西安: 西安电子科技大学硕士学位论文, 2007.
- [7] 刘晓宁. 差分 GPS 技术在靶场脱靶量测量中的应用研究[C]. 杭州: 第十五届全国遥测遥控技术年会论文, 323-329.
- [8] 刘利生, 吴斌, 曹坤梅, 等. 卫星导航测量差分自校准融合技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007: 162-165.
- [9] Iliott D. Kaplan. GPS 原理与应用[M]. 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2007: 101-105.
- [10] 史琳. GPS 整周模糊度及其在姿态测量中的应用研究[D]. 武汉: 武汉理工大学硕士论文, 2008.