

# 某机载瞄准系统精度评估测试方法

吴 衡

(中国飞行试验研究院, 西安 710089)

**摘要:** 为了评估某型机载瞄准系统的精度, 根据飞行试验参数测试需要, 提出了通过图像测量与 DGPS 融合处理方法进行瞄准精度评估的测试方法; 该方法利用飞行试验获取的图像数据与其他测量数据相结合, 同时进行了理论分析并给出了计算步骤, 建立精度评估测试方法, 并且计算出了跟踪精度; 最后将该方法在工程上的应用做了分析, 得出该评估方法在该机载武器瞄准系统精度评估方面具有一定的参考意义, 并且可在同类试验课题中推广应用。

**关键词:** 精度评估; 飞行试验; 测量; 图像处理

## Aim Precision Test Technique of a Airborne Arms System

Wu Heng

(Chinese Flight Test Establishment, Xi'an 710089, China)

**Abstract:** In order to obtain Aim Precision, according to the parameter requirement of flight test, this paper describes a scheme to gain aim precision through Information fusion based on image measuring and DGPS processing. At the same time it has carried on the theoretical analysis and the calculation steps are given, the test method to estimate accuracy and the tracking accuracy is carried out. Finally the method in engineering application is introduced, it is concluded that the evaluation method in the airborne weapon aiming system accuracy evaluation has certain reference significance. It is good to apply the test technology in the same type flight test.

**Keywords:** precision evaluation; flight test measurement; image processing

## 0 引言

武器系统性能评估是国内航空界近几年讨论的热门话题之一, 发达国家曾投入大量人力和财力致力于这门科学理论的研究, 取得了丰硕的成果<sup>[1]</sup>。测试得出的武器性能评估结果, 不仅指导改进旧机件及其机载武器, 而且用于探索研究新型机载武器。近年来, 随着对红外、激光、电视等基础技术的研究和各种光电制导武器的引进, 光电瞄准技术渐趋成熟, 部分设备已装备部队。

某机载瞄准系统是我国自主研发的集电视、红外、激光指示为一体的目标搜索、识别、瞄准、跟踪系统, 它是飞机综合航电火控系统的一个重要组成部分。本试验目的通过飞行试验考核机载瞄准系统功能和性能是否满足规定的研制技术指标和使用要求, 尤其需要针对该系统的瞄准精度进行评估。

## 1 测试方法

某机载瞄准系统性能测试是一项复杂的系统工程, 必须经过地面试验, 系统交联试验及飞行试验三部分。在地面完成零位校准、光轴平行性、激光能量检查等工作, 然后把武器系统与飞机系统进行联试并进行功能性试验, 在所有功能满足要求的基础上, 在机载环境下进行相关的瞄准精度试验。

瞄准精度的评估主要依据跟踪视频记录图像及 DGPS 数据, 通过图像分析及融合处理, 取每个航次激光开始照射到照射结束稳定跟踪时间段, 给出瞄准十字线相对靶板中心的自动跟踪标准偏差以及光斑相对靶板中心的照射标准偏差。上述两个偏差直接关系到瞄准系统的精度评估。

收稿日期:2014-06-15; 修回日期:2014-07-08。

基金项目:航空基金(2010ZD30004)。

**作者简介:**吴 衡(1974-), 男, 陕西西安人, 高级工程师, 主要从事光电测试方向的研究。

### 1.1 飞行试验与测量原理

某机载瞄准系统跟踪偏差角指该系统的实际跟踪中心和移动靶板上预定瞄准中心连线的夹角, 见图 1, 某机载瞄准系统在飞机头部加装, 地面通过移动靶板形成动态的目标, 在靶板中心设置明显的十字线靶标。该试验方案就是通过图像解算方式计算跟踪中心偏离靶心的距离, 利用 DGPS 解算移动靶标与飞机的距离, 通过三角函数可估算出跟踪偏差角  $\theta$ 。

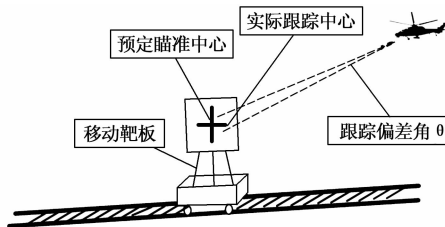


图 1 试验方案框图

#### 1.2.1 飞行试验数据获取

飞行试验前首先精确标定像机, 利用 GPS 和全站仪准确测量靶标中心的大地坐标、标定测量靶板的尺寸。

飞行试验中要求机载瞄准系统始终瞄准靶板的十字中心。在机载记录器上记录所有飞行试验瞄准图像, 并在其视频上叠加 IRIG-B 码时间信息用于融合处理的时间同步。

#### 1.2.2 摄像机的透视投影

为便于研究, 采用理想状态下针孔摄像机透视投影模型进行视频分析, 针孔摄像机透视投影如图 2 所示。

在计算偏移距离时一定要考虑图形的畸变修正。几何校正的原理是采用一个已知的标准板图像 (通常为规则矩形, 本课题利用长方形的靶板) 进行正常图像采集得到失真图像, 然后识别出失真图像上的控制点 (通常为网格节点), 由此建立起失真图像与未失真图像之间的空间映射关系, 获得每个像素的物理尺寸。

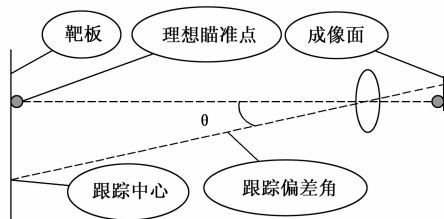


图 2 成像原理图

## 1.2 机载测试方案和系统组成

针对测试任务的特点和要求,要获得某机载瞄准系统瞄准精度,经多方调研确定的测试方案为:利用视觉系统进行跟踪偏移量的测定,通过融合处理的方式获得瞄准精度的解算。

系统组成:整个系统由光电成像系统、视觉处理系统、靶标准数据库, DGPS 测量系统、时间统一系统构成。

整个系统的组成框图如图 3 所示。

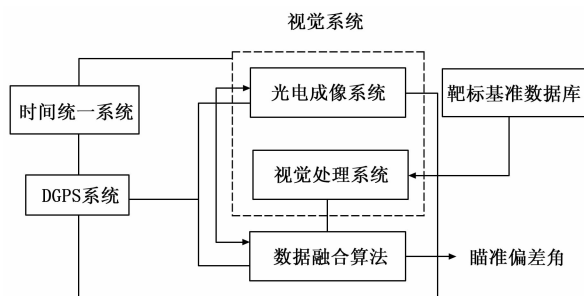


图 3 系统组成框图

为了获得机载瞄准系统瞄准靶标的偏移量,利用光电成像系统获取地面靶标的图像,使用视觉处理算法识别跟踪十字中心、光斑中心、靶板的轮廓;利用图像判读获得其偏移像素,经过标定、解算获得偏移量;为了获得飞机距离靶标的位置在飞机上加装了 GPS,在地面建立了 GPS 差分站,通过差分获得其相对运动的距离信息,并且利用 GPS 进行靶心位置的测量,利用全站速测仪标定了靶面各标示点位置;通过视觉处理系统与 DGPS 融合处理最终获得其偏差角。

系统的构成如下。

1) DGPS 定位系统:地面设置 GPS 基准站,修正信息经数据链电台实时发送至空中,机载 GPS 定位系统接收后在机上进行实时差分,得到飞机的即时位置信息(经度、纬度、椭圆高和时间);通过与靶标点联合解算获得距靶标的测距。

2) 光电成像系统。光电摄像机是基于光电成像的核心传感器之一。通过光电成像器件(红外、可见光或多光谱摄像机)获取靶标附近图像,包含靶标、光斑图像等。

3) 视觉处理系统<sup>[2-4]</sup>:视觉处理系统主要需要具有特征提取和相似度匹配识别的功能。其视觉与目标识别主要具有四部分功能:a) 预处理;b) 目标特征的提取;c) 目标识别;d) 像素的判读,处理。

4) 时间统一系统:时间统一是进行数据处理与分析的基础,采用高精度的 B 码时间信息进行系统内外设备对时,实现时间基准的统一。

5) 靶标准数据库:给出了用于试验的多种形式的靶标的尺寸、位置等。

6) 数据融合处理:通过对图像及 GPS 等测量数据进行联合处理获得各航次瞄准精度及统计结果。

## 2 飞行试验数据处理方法

数据处理系统由 GPS 差分站、PCM 回放、视频回放等设备和专用数据处理软件组成。利用地面数据处理系统对机载记录数据等进行预处理和二次处理及分析。

### 2.1 图像畸变修正

设未畸变的图像为  $g(u, v)$ , 实际获得的畸变图像为  $f(x, y)$ , 这里  $(u, v)$  与  $(x, y)$  分别表示畸变前后图像中同一点的坐标, 由于畸变, 两者的坐标值不再相等, 通常可以解析地表示为

$$\begin{cases} x = h_1(u, v) \\ y = h_2(u, v) \end{cases} \quad (1)$$

通常变换关系  $h_1(u, v)$  和  $h_2(u, v)$  都可以用多项式来逼近。这样由畸变图像  $f(x, y)$  恢复未畸变图像  $g(u, v)$  的变换关系可以显式表示为

$$\begin{cases} x = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^{n-i} a_{ij} u^i v^j \\ y = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^{n-i} b_{ij} u^i v^j \end{cases} \quad (2)$$

式中,  $n$  为多项式的次数,  $a_{ij}$  和  $b_{ij}$  为待定的畸变系数, 可利用已知的控制点对的坐标来求解。

如果控制点数目与方程组中未知数的数目相同, 则可以直接求解方程组; 而在一般的图像畸变校正处理中, 为了获得较高的校正精度, 总是控制点数目多于方程组中未知数的数目, 这样的方程组实际上可能是矛盾的, 但可以求其误差平方和最小准则下的最优近似解。

校正精度与所用校正多项式次数有关, 对一般的非线性失真, 通常采用三次多项式进行拟合<sup>[5]</sup>, 方法比较简单有效, 且精度较高, 此时多项式可写为

$$\begin{cases} x = a_{00} + a_{01}v + a_{02}v^2 + a_{03}v^3 + a_{10}u + a_{11}uv + a_{12}uv^2 + a_{20}u^2 + a_{21}u^2v + a_{30}u^3 \\ y = b_{00} + b_{01}v + b_{02}v^2 + b_{03}v^3 + b_{10}u + b_{11}uv + b_{12}uv^2 + b_{20}u^2 + b_{21}u^2v + b_{30}u^3 \end{cases} \quad (3)$$

### 2.2 偏移量计算方法

以目标上靶心为原点  $O$ , 以电视 / 红外像面水平方向为  $X$  轴, 垂直方向为  $Y$  轴, 在电视 / 红外像面上建立直角坐标系  $XOY$ , 机载瞄准系统电视视场十字线中心坐标为  $P_c(x_c, y_c)$ , 靶标的右下角在像平面的成像坐标  $P_b(x_b, y_b)$ , 根据靶的真实尺寸可以标定出每个水平像素表示的物理量  $pixH$ , 每个垂直像素表示的物理量  $pixV$  (标定所得),

$$\begin{cases} P_i(X) = (P_i(x) - P_c(x)) \cdot pixH \\ P_i(Y) = (P_i(y) - P_c(y)) \cdot pixV \end{cases} \quad (4)$$

其中:  $P_i(x)$  表示  $P_i(x, y)$  点的  $x$  坐标。

然后根据公式 (5) 解算出跟踪十字线中心到靶标中心的距离  $R_i$ :

$$R_i = \sqrt{P_i(X)^2 + P_i(Y)^2} \quad (5)$$

### 2.3 靶心距离机载瞄准系统距离计算<sup>[6]</sup>

靶心距离机载瞄准系统的距离通过事后差分 GPS 进行解算, 具体计算步骤如下:

1) 大地坐标系  $(L, B, H)$  转化为切面直角坐标系下坐标  $(x_i, y_i, z_i)$

$$\begin{cases} x_i = (N + H) \cos B \sin l \\ y_i = (N + H) (\sin B \cos B_0 - \sin B_0 \cos B \cos l + D \cos B_0) \\ z_i = (a + H) (\sin B \sin B_0 + \cos B_0 \cos B \cos l) - a - H_0 \end{cases} \quad (6)$$

(下转第 160 页)

### 3 结束语

回转窑煅烧时,实时准确地预测煅烧带温度对稳定工况、提高煅烧质量,节约能源极为关键。针对回转窑煅烧机理复杂、干扰因素多、难以建立精确数学模型的问题,本文采用极限学习机(ELM)对煅烧带温度建立预测模型,并采用黄金分割法优化 ELM 的输入权值矩阵取值,调整网络参数,在保证训练速度的前提下提高模型的预测精度。仿真结果表明,改进的 ELM 算法具有预测精度高、训练速度快、模型性能优的特点,可满足工况恶劣的回转窑的生产需要。

#### 参考文献:

- [1] 朱世发,许建华,罗英涛,等.石油焦高温煅烧技术的探讨和实践[J].轻金属,2010(3):33-37.
- [2] 雷先明,肖友刚.物料与窑壁间歇接触对回转窑传热过程的强化效应[J].中国工程科学,2006,8(8):39-44.
- [3] 王思明,刘伟,张国斌.基于 LS-SVM 的陶瓷窑炉温度预测控制[J].计算机测量与控制,2011,19(6):1364-1366.
- [4] 王雷鸣.基于改进 BP 神经网络在氧化球团回转窑温度控制系统中研究[D].鞍山:辽宁科技大学,2011.
- [5] 胡杰.氧化铁红回转窑焙烧温度控制系统研究[D].长沙:中南大学,2011.

(上接第 144 页)

其中:

$$\begin{aligned} N &= \frac{a}{\sqrt{1-e \cdot \sin^2 B}} \\ N_0 &= \frac{a}{\sqrt{1-e \cdot \sin^2 B_0}} \\ D &= e \cdot (N_0 \sin B_0 - N \sin B) \\ l &= L - L_0 \\ a &= 6378137.00 \\ e &= 0.00669437999013 \end{aligned} \quad (7)$$

上列公式中机载瞄准系统大地坐标  $(L, B, H)$  为需要坐标变换的数据,靶标中心点坐标  $(L_0, B_0, H_0)$  设为切面直角坐标系的原点;  $N$  和  $N_0$  分别为过变换点和过切面坐标原点的地球卯酉圈曲率半径。

b) 根据解算出来的直角坐标系解算出飞机距靶心的距离  $L_i$ :

$$L_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2 + z_i^2} \quad (8)$$

$(x_i, y_i, z_i)$  为切平面直角坐标值。

#### 2.4 偏心角解算模型

根据切平面直角坐标系转换出来的飞机距离、跟踪偏移靶标的距离算出偏移角度:

$$\theta_i = \arctan(r_i / L_i) \quad (9)$$

其中:  $r_i$  为跟踪偏移量,  $L_i$  为靶标中心距离机载瞄准系统的距离。

#### 2.5 瞄准精度评估统计模型

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \theta_i^2}{n-1}} \quad (10)$$

对一种典型目标,每次进入的跟踪精度  $\sigma_j$  为:其中  $n$  为测量图像帧数,即参与运算的统计点数。

### 3 实验结果与分析

根据上述测试方案对某机载瞄准系统的跟踪精度进行了评

南大学,2011.

- [6] Huang G B, Zhu Q Y, Siew C K. Extreme learning machine: a new learning scheme of feedforward neural networks [A]. IEEE International Joint Conference on Neural Networks [C]. 2004, 2: 985-990.
- [7] 陈华,章兢,张小刚,等.一种基于 Parzen 窗估计的鲁棒 ELM 烧结温度检测方法[J].自动化学报,2012,38(5):841-849.
- [8] Huang G B, Zhu Q Y, Siew C K. Extreme learning machine theory and applications [J]. Neurocomputing, 2006(70): 489-501.
- [9] Huang G B, Zhu Q Y, Siew C K, et al. Can threshold networks be trained directly [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems II: express briefs, 2006, 53(3): 187-191.
- [10] 鲍荣,何德峰,郑凯华.基于黄金分割法的阶梯式约束预测控制[J].上海交通大学学报,2012,46(12):1940-1944.
- [11] 杨晓东,李倩,申长雨.基于黄金分割法的聚合物熔体黏度模型数据拟合[J].机械工程学报,2014,50(2):70-76.
- [12] 穆二军,刘慧.石油焦煅烧技术方案比较[J].炭素技术,2013,32(2):13-18.
- [13] 孙玉珠.基于 DSP 的回转窑控制系统的设计[D].武汉:武汉理工大学,2009.

估,通过计算给出某日飞行试验跟踪精度的曲线如图 4 所示。

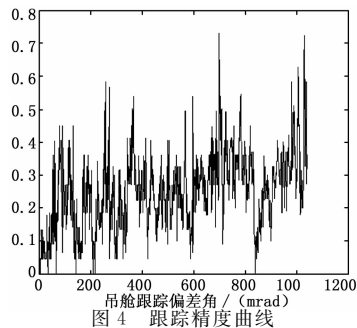


图 4 跟踪精度曲线

### 4 结束语

本文利用视觉处理及 DGPS 数据综合处理进行机载武器精度瞄准精度的评估,在测量过程中充分考虑了图形畸变,选择高精度的图像识别与测量算法,减小中心坐标  $(X, Y)$  的检测误差,可以达到高精度测量的要求。通过 10 多架次数据处理获得了满意的结果,真实评估出机载瞄准系统的瞄准精度。该处理方法也可应用于其它类似的光电跟踪武

#### 参考文献:

- [1] 郭齐胜.装备效能评估概论[M].北京:国防工业出版社,2005.
- [2] Mahesh Chand. GDI+图形程序设计[M].韩江译.北京:电子工业出版社,2005.
- [3] 胡学刚,吴永.基于轮廓结构元素和阈值分割的形态学去噪[J].计算机工程,2009,23(12):212-213.
- [4] 潘秀琴.图像处理算法及其在运动目标的检测及跟踪中的研究[D].北京:北京理工大学,2002.
- [5] 刘金根.一种基于现场定标的光电图像畸变校正算法[J].光子学报,2004,33(6):732-735.
- [6] 刘利生.外弹道测量数据处理[M].北京:国防工业出版社,2002.
- [7] 黄飞,王跃科,明德祥,等.测试仪器现状以及对未来仪器的展望[J].计算机测量与控制,2008,16(1):4-7.