航空武器对地模拟攻击实时自动报靶系统的实现

赵思宏,陆亚兵,陈晓旭,姚新兵,王长宇

(空军航空大学,吉林 长春 130022)

摘 要: 为了弥补传统人工报靶的不足,提高航空武器对地攻击训练中的报靶效率,并为实现战场打击实时自动评估探索新思路,运用光学交汇测量原理,通过 CCD 成像、图像分析对比等方法,提出了航空武器对地模拟攻击实时自动报靶系统设计方法,解决了多目标动态检测算法、图像畸变校正算法、图像阈值计算及打击目标重心(质心)提取等技术问题,实现了实时对模拟打击点的测量、计算、记录和分析。实验证明:该系统对视场内光点目标的捕获能力达到了 97%以上,打击点测量坐标相对误差小于 0.23%。

关键词:自动报靶; 畸变校正; 对地打击

中图分类号: V557.4 文献标志码: A 文章编号: 1007-2276(2014)S-0078-05

Realization of real-time automatic target reporting system for simulant airborneweapon attacking over ground

Zhao Sihong, Lu Yabing, Chen Xiaoxu, Yao Xinbing, Wang Changyu

(Aviation University of Air Force, Changchun 130022, China)

Abstract: In order to remedy the traditional target reporting, improve the efficiency of target reporting in training of airborneweapon-attacking over the ground, and put forward new method to realize real-time automatic target reporting in battlefields, the design method of the realization of real-time automatic target reporting system for simulant airborneweapon attacking over the ground was put forward by using intersection measurement method theory and adopting CCD imaging principle, image analysis method, the function of pick up all dynamic target, the function of correcting for distortional image, calculation of image threshold and method of focus (center of mass) extraction were solved, and the real-time measurement, caclulation, record and analysysis of hit points were realized. The result of experiment has proved that the capture rate of this system for light spot in the field of view is more than 97%, the relative error of hit points' coordinate is less than 0.23%.

Key words: automatic target reporting; correction of image distortion; attacking over ground

收稿日期:2014-10-05; 修订日期:2014-11-09

基金项目:军队科研基金

作者简介: 赵思宏(1965-), 男, 副教授, 硕士生导师, 主要从事航空兵作战与装备保障方面的研究。Email:zhaosihongzsh@sina.com

0 引 言

传统地靶训练采用人工报靶的形式来对打击效果进行评估,难以实现实时评估和分析,不利于提高训练水平,为了解决该问题,采用光学测量、图像分析及计算机辅助运算技术实时对打击效果进行评估,设计了该系统解决打击点的实时自动评估,旨在为实现实弹实时自动报靶提供有效的方法,提高训练的效率。

1 空间点坐标测量原理

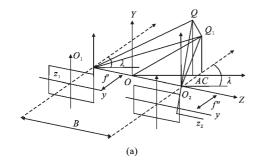
对空间某一测量点的定位,需采用至少两个摄像机在两个不同方向上进行测量,类似于人类的双目视觉测量^[1],为了测量模拟打击点的落地位置,可采用双摄像机,分别架设在模拟攻击区域两个垂直的方向,从两个方向分别进行位置测量,并将两个数据合成,交会测量出目标的空间位置。可采用交汇测量法^[2]确定运动目标在某个瞬间的空间位置(x,y,z)。交汇测量法是由两台以上测量设备分别同步测出目标对各仪器站点的方位角和高低角,在已知站点间距离的情况下求出目标的空间位置。文中采用交汇测量法。

交汇测量法的原理如图 1 所示。测量时两台摄像机的光轴在空间交汇从而使两个探测面重叠,形成一个交汇探测面也就是靶面,当弹丸穿过该靶面时,将同时在两台摄像机上成像,根据两台摄像机的空间关系与成像位置计算出目标的空间坐标。图中 O₁ 和 O₂ 为在 XOZ 平面的两个测点,目标 Q 在空间的坐标为:

$$x = Bf' \times cos \lambda / a - By_1 \times cos \lambda / a$$
 (1)

$$y = Bf' \times *sin \lambda / a + By_1 \times *cos \lambda / a$$
 (2)

 $z=Bz_1/a \tag{3}$



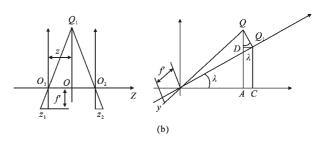


图 1 交汇测量原理

Fig.1 Intersection measurement method theory

两个测量站实时将普通电视系统测量的脱靶量、编码器的测角数据、焦距值输出至中心站,在采样时刻内根据公式计算出目标的空间位置,记录数据并在显示器上实时显示弹道曲线。

根据交汇测量原理,可以确定使用两台测量摄像机对模拟打击点进行提取和分析,具体设计结构如图 2 所示^[3]。

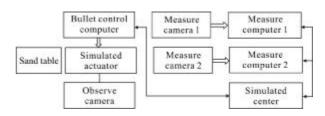


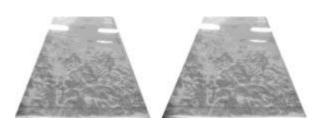
图 2 自动报靶系统结构图

Fig.2 Auto indication of shots system structure chart

2 计算方法

2.1 多目标动态检测

图像中目标的提取和跟踪采用全屏多目标动态 检测方法^[4]。该方法可完成在图像序列中同时提取所 有动态目标,同时,采用基于图像序列帧间检测的方 法来提取运动目标,该算法适用于在图像中包含较 复杂背景情况下的动态目标提取,比较适合该系统 的设计,基于图像序列帧间检测的动态测量过程如 图 3 所示。

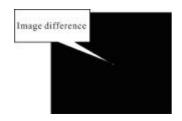


(a) 本底图像

(a) Background image

(b) 实时图像

(b) Realtime image



(c) 动态检测图像

(c) Dynamic measurement image 图 3 动态目标检测过程

Fig.3 Process of detecting dynamic target

图 3(a)为采集的本底图像,图 3(b)为进入了目标后的实时图像,对二者进行差分运算,则可得到图 3(c),进入目标的区域被标示了出来。

2.2 图像阈值计算及落点重心提取

对于经过图像减影后的图像,其特点是目标在整个图像视场中所占比例较小,其余大部分均为背景,且背景灰度比较集中,利用这个特点进行图像自适应阈值的选取^[5]。设 P_1 和 P_2 分别为背景和目标出现的概率, μ_1 和 μ_2 分别为背景和目标像素出现的高斯密度均值, σ 为方差。则可得自适应阈值为:

$$T = \frac{\mu_1 + \mu_2}{2} + \frac{\sigma^2}{\mu_1 - \mu_2} \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$
 (4)

通过该值对图像进行阈值处理,并将图像中的各个连通区域提取出来,分别计算这些连通区域的各自位置重心(质心)。

设某连通区域范围为 M×N 窗口,其灰度重心(质心)为:

$$y = \frac{\sum_{k=1}^{N} k \sum_{j=1}^{M} f(j,k)}{\sum_{k=1}^{M} \sum_{j=1}^{N} f(j,k)} \qquad x = \frac{\sum_{j=1}^{M} j \sum_{k=1}^{N} f(j,k)}{\sum_{k=1}^{M} \sum_{j=1}^{N} f(j,k)}$$
$$j = 1, \dots, M; \ k = 1, \dots, N$$
 (5)

由于计算重心的过程是个统计平均过程,它算出的跟踪点不是个别的最亮点位置,而是图像中各个像元灰度加权平均的位置,所以以重心为跟踪点,跟踪的随机误差小,抗干扰能力强,精度高,稳定性好。

2.3 图像畸变校正

球面光学摄像机在对图像的获取中会产生一定的畸变,影响对结果的计算和分析,必须加以解决才能提高测量系统的精确度。由于球面光学成像系统的轴对称性,它产生的图像畸变一般具有如下特征:一是畸变以光轴为中心对称,一般以图像中心点为

对称;二是越靠畸变中心则畸变越小,反之越大。这两个特征具有明显的球面特征[5]。因此,使用以下的球形模型来模拟图像畸变的产生。

考虑一个垂直于摄像机光学镜头轴线的平面 P,它的理想像面是 P'。假设一个球面 S,它以镜头的像方主点为圆点,以像方焦距 f 为半径与 P'平面相切于光轴通过 P'平面的 O 点,如图 4 所示。

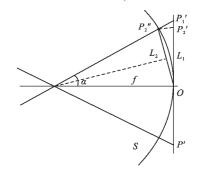


图 4 球形模型图像畸变原理图

Fig.4 Spherical model image distortion theory

设平面 P上的一点 P₁,如果不发生任何畸变,应该成像在成像面 P'上的 P₁'点处,假设现在由于光学系统或传感器的某些原因,成像发生了桶形畸变 (对于枕形畸变可以类似分析),即成像不再遵循正确的规律,但是由于光学系统或传感器的畸变原因是很难精确描述的,为了正确进行畸变的校正,将这种畸变做如下等效:设光学系统或传感器不产生任何畸变,但是成像面发生了弯曲,即成像面不再是一个平面 P',而是形成了某种曲面,称这个曲面为畸变等效曲面。这样入射的光线不再成像在原来的成像平面上,而是成像在这个畸变等效曲面上,调整这个曲面使其产生的畸变的结果与原来完全相同。那么这个畸变等效曲面就代表了这种畸变产生的完全原因,只要对这个曲面进行分析,并设法将其校正到原来的平面成像面,就可以达到畸变校正的目的。

根据前面论述的图像畸变的球面特征,为了方便分析,这里取畸变等效曲面为球面,如图 4 所示。球面 S 即为畸变等效曲面,其球心为像方主点,球半径为像方焦距 f 。由 P₁ 入射的光线在向 P₁'投射过程中与球面 S 相交于 P₂",即成像在畸变等效曲面 S 上的 P₂"点处。对应到最终图像上则为 P₂'点(图中 OP₂'=OP₂"),即图像的畸变相当于平面 P'上的各个点沿着各自的光线移到球面S 上。这样被摄物上一点的正常像 P₁'(与 O 点的距离为 L₁) 畸变后就对应

球面上的 P_2 "点, 距离 L_1 也就变成了 P_2 与 O 点的距离 L_2 , 由图 5 可见:

$$\alpha$$
=arctan $\frac{L_1}{f}$ (6)

$$L_2 = 2 \times f \times \sin(\alpha/2) \tag{7}$$

由此可得:

$$L_2=2\times f\times \sin\left[\left(\arctan\frac{L_1}{f}\right)/2\right] \tag{8}$$

从公式(8)中看到,被摄物上的点距离其中心点越远, L_1 越大, L_2 也就越大,也就是说这种畸变以图像中心为对称点,越靠图像外围,畸变量越大,符合桶形和枕形畸变的情况。

按照前面假设的球形畸变模型可以得到进行畸变校正的公式和步骤。

图 5 中本应成像在 P_1 '的点由于发生畸变而成像在 P_2 '点,只要将 P_2 '恢复到 P_1 '点即可达到图像畸变校正的效果。设图像的原点位于左下角,图像的宽和高分别为 W 和 H,则图像中心 O 的坐标为(W/2,H/2)。设畸变后的点 P_2 '的坐标为(X_2 , Y_2),则畸变校正后的点 P_1 '的坐标(X_1 , Y_1)可通过以下过程求得。

计算点 P2′与图像中心的距离 L2:

$$L_{2} = \sqrt{\left(x_{2} - \frac{W}{2}\right)^{2} + \left(y_{2} - \frac{H}{2}\right)^{2}}$$
 (9)

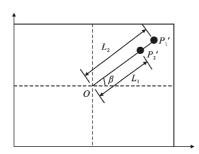


图 5 畸变校正原理图

Fig.5 Principle of distortion correction

计算点 P_2 与图像中心 O 的连线倾角 B_2

$$\beta = \arctan \frac{\mathbf{x}_2 - \frac{\mathbf{W}}{2}}{\mathbf{y}_2 - \frac{\mathbf{H}}{2}} \tag{10}$$

计算校正后的距离 L₁,由公式(3)得:

$$L_{1}=f\times tan\left(2\times arcsin\left(\frac{L_{2}}{2\times f}\right)\right) \tag{11}$$

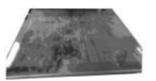
计算校正后的点 P₁ 的坐标:

$$x_1 = \frac{W}{2} + L_1 \cos \beta$$

$$y_1 = \frac{H}{2} + L_1 \sin \beta \tag{12}$$

对图像中的每个点进行上述操作就实现了畸变图像的校正,图6所示为畸变校正过程。





(a) 畸变图像

(b) 校正后图像

(a) Distortional image

(b) Correcting image

图 6 图像畸变校正过程

Fig.6 Process of correction for distortional image

3 实验验证

系统的实用性主要体现在两个方面:一是对模拟打击点的捕获能力;二是系统的测量误差,分别对其进行实验验证,判断系统是否满足设计要求。

3.1 模拟打击点捕获能力验证

为了检验该系统对打击点的捕获能力,采取如下方法进行验证:系统进行初始化配置后进入测量状态,同时以两个激光照射器发射激光照射目标区域,检查测量系统对多目标的提取能力,系统测量图像如图7所示。打击点捕获实验结果如表1所示。

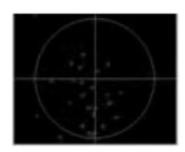


图 7 进行目标测量的实验图像 Fig.7 Experiment picture of measured target

表 1 打击点捕获实验结果

Tab.1 Result of hit points capture experiment

Emitted number	Reported number		
2	2		
4	4		
20	21		
40	43		
60	60		

3.2 系统测量误差验证

由于目标真值无法准确获得,实验对特定目标 点进行多次激光频率照射,并进行自动测量,以其平 均值为目标真值位置,检查图像脱靶量的测量精度 和测量分辨率。

对同一目标以频率 5 Hz 和 10 Hz 连续打击 10 s, 共 50 和 100 个数据样本,如表 2、3 所示,统计该组 数据。

表 2 打击点测量精度实验结果(以 X 轴计算)

Tab.2 Result of hit points precision experiment (calculate on X axis)

Attack fre- quency /Hz	Dura- tion/s	Theo- retical number	Report- ed number	mum	mum	Aver- age value	Maxi- mal relative error
5	10	50	50	273	272	272.52	0.19%
10	10	100	100	273	272	272.65	0.23%

表 3 打击点测量精度实验结果(以 Y 轴计算)

Tab.3 Result of hit points precision experiment (calculate on Y axis)

Attack fre- quency /Hz	Dura- tion/s	retical	Report- ed number	mum	mum	Aver- age value	Maxi- mal relative error
5	10	50	50	335	334	334.26	0.22%
10	10	100	100	335	334	334.35	0.19%

通过分析实验数据可以看出,测量系统可正确 提取出现在视场中的激光点目标,捕获率达到 97% 以上,可实现多目标捕获。在打击点测量误差实验 中,得出打击点测量坐标相对误差小于 0.23%,能够 满足测量的精度需求。

4 结 论

航空武器对地攻击实时自动报靶系统首先对摄

像机模型进行标定,进而运用空间目标交汇测量方法和多目标动态检测算法等手段完成打击点的提取、跟踪和测量。实验结果表明:测量系统可以较好地提取出现在视场中的激光点目标并实现多目标捕获,打击点坐标测量相对误差小于 0.23%,对出现在视场内的激光点目标进行捕获的能力可达到 97%以上。系统运用的图像校正方法提高了测量系统的测量精度,从而为"实弹训练实时自动报靶"的实现提供了有效的方法。

参考文献:

- [1] Zhu Shiping, Chen Juqiang. Efficient stereo fractal video coding based on pre-searching [J]. Optics and Precision Engineering, 2012, 20(3): 1263-1269. (in Chinese) 祝世平, 陈菊嫱. 基于预搜索的高效双目分形视频编码 [J]. 光学 精密工程, 2012, 20(3): 1263-1269.
- [2] Jiang Mingxin, Wang Hongyu, Liu Xiaokai. A multi-target tracking algorithm based on multiple cameras [J]. Acta Automatica Sinica, 2012, 38(4): 78-82. (in Chinese) 姜明新, 王洪玉, 刘晓凯. 基于多相机的多目标跟踪算法 [J]. 自动化学报, 2012, 38(4): 78-82.
- [3] Wei Qun, Ai Xingqiao, Jia Hongguang. Development of small-scale and dual-field visible light optical system [J]. Optics and Precision Engineering, 2012, 20(4): 1429-1434. (in Chinese) 魏群, 艾兴乔, 贾宏光. 小型可见光双视场光学系统的研制[J]. 光学 精密工程, 2012, 20(4): 1429-1434.
- [4] Ma Weizhang. Research of multi-target tracking algorithms [D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2011. (in Chinese)

 马纬章. 多目标跟踪算法研究 [D]. 北京: 北京理工大学, 2011.
- [5] Wang Bin, Wang Zongyang, Wang Jianli, et al. Phase-diverse speckle imaging with two cameras [J]. Optics and Precision Engineering, 2012, 19(6): 1384-1390. (in Chinese) 王斌, 汪宗洋, 王建立, 等. 双相机相位差异散斑成像技术 [J].光学 精密工程, 2012, 19(6): 1384-1390.