

基于双 CCD 交汇测量子母弹散布面积的测量方法*

刘建媛,王明泉,李士林

(中北大学,太原 030051)

摘要:建立双 CCD 交汇测量系统的数学模型,选择最佳的布站参数,对采集到的图像进行数字图像处理,得出子弹空间三维坐标。应用 Matlab 软件实现对子母弹抛撒曲面的重建,最终实现对子母弹散布面积的测量。这种测量方法系统结构相对简单,目标定位精度较高,不易受到外界环境的影响,缺点是测量设备成本较高。

关键词:子母弹;CCD;交汇测量;数字图像

中图分类号:TJ413.3;TJ410.6 文献标志码:A

The Measurement Method for Cluster Munition's Distribution Area by Two CCD Intersection Measurement

LIU Jianyuan, WANG Mingquan, LI Shilin

(North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: The mathematic model of two CCD intersection measurement systems was established. The optimal embattling parameters were chosen for digital image processing of the collected image to get the submunition three-dimensional coordinates. The application software Matlab was used for rebuilding cluster munitions' dispersion curve for measuring the munitions' distribution area. The measurement method is featured with simple system structure; high target positioning accuracy, insensitive to surrounding environment, but its cost is high.

Keywords: cluster munitions; CCD; intersection measurement; digital image

0 引言

子母弹弹药由母弹携带多枚多用途子弹,在目标区上空将子弹抛撒从而毁伤目标,可用于毁伤集群坦克、装甲车辆、技术装备等,是一种高效的面杀伤武器。为了验证子母弹的杀伤力效果,就必须对子母弹产品进行检测和散布面积进行测试,并对数据进行统计分析,总结其散布规律,从而使子母弹更好的达到预期效果。

利用 CCD 作为光敏感器件的交汇测量技术,成为现代靶场中动态飞行目标(如弹头)跟踪测量应用的研究热点,且已在大型动态目标的轨迹测量上获得了较成功的应用。文中即是根据双 CCD 建立交汇测量系统,采集视频数据进行图像处理,从而实现对子母弹散布面积的测量。

1 双 CCD 交汇测量系统模型

1.1 双 CCD 交汇测量原理

基于 CCD 是具有较高灵敏度的光电传感器,并

有较高的测量精度,因此对空间目标的定位应用中有着明显的优越性。双 CCD 交汇测量系统是利用两台位置相对固定的

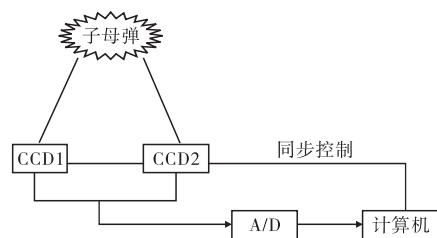


图1 双 CCD 交汇测量系统工作原理图

摄像机,从不同角度同时采集同一场景的两幅图像,用数字图像采集卡接收摄像机送出的视频信号,并将其转变为数字信号送入计算机,然后通过图像处理计算出空间对应点的二维坐标,最后在显示器中显示出来(如图1)。

1.2 双 CCD 交汇测量数学模型

本系统模块主要采用的是结构与性能完全相同的两个 CCD,分别固定安装在两个经纬仪上,并保证其在同一水平面上,使得两 CCD 物镜中心 O_1 、 O_2 相距 l ,两主光轴相交于 O 点,且仰角分别为 φ_1 和 φ_2 ,这样两台 CCD 探测器都能测到的区域形成一个公共交

* 收稿日期:2011-01-17

作者简介:刘建媛(1985-),女,山西太原人,硕士研究生,研究方向:信号与信息处理。

迭区,任何通过这个区域的目标都会同时成像在两个 CCD 上。在摄像机图像上建立二维坐标系,则目标点 N 在两个 CCD 图像坐标系中的坐标为 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) ; O 、 N 点在 xO_1z 面的投影为 O' 、 N' ,如图 2 所示。设两个 CCD 的焦距为 f ,则有 N 点在空间坐标系中的三维坐标公式为:

$$x = l \cdot \frac{\sin(\alpha_2 + \frac{x_2}{f})\cos(\alpha_1 + \frac{x_1}{f})}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2 + \frac{x_1 + x_2}{f})}$$

$$y = -l \cdot \frac{\sin(\alpha_2 + \frac{x_2}{f})\sin(\alpha_1 + \frac{x_1}{f})}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2 + \frac{x_1 + x_2}{f})}$$

$$z = l \cdot \frac{\sin(\alpha_2 + \frac{x_2}{f})\tan(\varphi_1 + \frac{y_1}{f})}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2 + \frac{x_1 + x_2}{f})}$$

由三维坐标公式可知在两 CCD 视场范围内的 N 点的空间三维坐标仅与两 CCD 物镜中心 O_1 、 O_2 之间的距离 l 、两摄像机的仰角 φ_1 和 φ_2 、方位角 α_1 和 α_2 、焦距 f 以及子弹在 CCD 上所成像的二维坐标 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) 有关。 d 、 φ_1 、 φ_2 、 α_1 、 α_2 、 f 为初始值,成像的二维坐标则需要对图像处理获得。

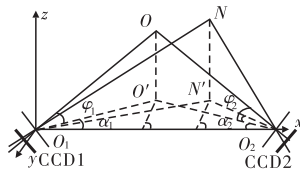


图 2 双 CCD 交汇测量原理图

2 图像的获取与处理

运用双 CCD

交汇测量系统测量量子母弹的散布面积时需要获取两个 CCD 同时刻

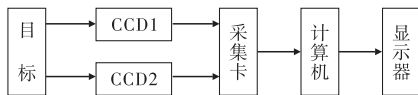


图 3 双 CCD 图像获取原理图

拍摄的图像,系统利用同步控制电路提供的一对同步信号同时启动两个 CCD,从而获得连续的图像。接采集卡到 PC 机,可以实现实时采集,对视频采集同时刻的两幅图像进行图像处理。图像获取原理图如图 3。

对视场内子弹丸的识别问题是图像处理主要解决的问题。这里主要应用角点匹配的方法对同一时刻的左右图像同一点及不同时刻的左或右图像同一点进行目标识别。

对子母弹散布图像的处理是双 CCD 交汇测量系统的一部分,主要是把 CCD 拍摄的二维图像数字化,找出子弹信息,通过空间坐标公式,确定子弹在空中的三维坐标,得出运动参数速度 v , $v = [(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2]^{1/2} / t$ 。其中 Δx 、 Δy 分别为同一子弹丸不同时刻的方向位移差; t 为时间差,可以由 CCD 的内置参数

获得。

3 仿真

实验中采用的是与静爆子母弹抛撒曲面相同的物体曲面进行面积测量。视场中采取基准标度,将两个 CCD 摄像机分别固定在经纬仪上,保证经纬仪的位置不变,以左 CCD 作为标准原点,进行拍摄。在对 CCD 采集的图像进行处理后,运用 LabView 对选定点的二维坐标三维化,通过对同一子弹不同时刻位置计算得出速度 v ,再运用 Matlab 仿真软件对抛物曲面及散布面进行仿真,从而得出子弹抛撒落点面,得出面积。仿真结果表明:利用选取点的空间三维坐标能实现对曲面的重建,并且可以计算出散布面的面积,能达到预期的实验目的。

结构参数的选取直接影响坐标测量的定位精度,因此通过对 CCD 测量方法布站方式进行优化后选取误差相对较小的结构参数: $\alpha_1 = \alpha_2 = \varphi_1 = 45^\circ$, $f = 30$, $l = 2\text{m}$ 。选取特征点,则可由公式得出特征点空间三维坐标,如表 1 所示。图 4 为曲面仿真模型图。根据图 4 右即可得出面积 $S = 2.3013\text{m}^2$ 。

表 1 特征点空间三维坐标

散点	图像坐标				空间点三维坐标 $\times 10^3$		
	CCD1	CCD2	X	Y	Z		
1	54	232	1850	959	0.6135	-1.1190	0.2606
2	35	746	639	879	0.4411	1.5702	0.6263
3	85	185	2060	878	0.8542	1.7185	-0.7333
4	77	76	455	782	1.0423	-0.4676	-0.4942
5	377	782	87	872	0.7544	4.3593	-1.2227
6	148	292	38	749	1.5409	-2.8158	0.5312
7	2057	860	2067	989	1.3424	5.8370	-0.6807
8	2647	906	1862	650	0.1403	-0.3857	-0.4798
9	1567	270	1256	248	1.8510	0.2204	0.2912

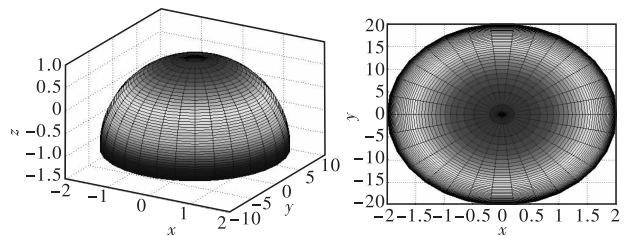


图 4 Matlab 对抛撒曲面的理想仿真模型

4 结论

文中针对子母弹散布面积的测量提出了一种新的测量方法,并证明这种测量方法是可行的。文中建立了双 CCD 交汇测量数学模型,利用对采集二维图像的数字图像处理及三维坐标公式,得出子弹的空间

$$Q^* = 0.3 \min\left\{\frac{2}{72}, 1\right\} + 0.15 \min\left\{\frac{24}{72}, 1\right\} + 0.07 \min\left\{\frac{168}{72}, 1\right\} \approx 0.13$$

因此,在3昼夜时间内被杀伤目标无战斗能力的概率约为0.13。

评估统计估值 Q^* 的精度和可靠性,为此求其均方根误差:

$$S_{Q^*} = \sqrt{\frac{0.13 \times 0.87}{30}} \approx 0.06$$

取置信概率 $d = 0.9$,查 t 分布表 $t_{0.05}(29) = 1.7$ 。计算置信区间的半宽:

$$\epsilon = t_{\frac{1-d}{2}}(N-1) \cdot \frac{S_{Q^*}}{\sqrt{N}} = 1.7 \times \frac{0.06}{5.48} \approx 0.018$$

得出的结果:作战行动期间,未知的集群目标杀伤概率以90%的置信概率位于 $0.11 < Q < 0.15$ 范围内。

通过研究,可以看出:

1) 杀伤兵器作用于集群(面)目标时,在弹药量一定的情况下,最后一次火力急袭对目标毁伤的概率达到最大,随着作战行动时间的增长,目标战斗力逐渐恢复;

2) 对敌目标打击时,应尽量增大火力密度,以保证使更多的目标遭受不同类型的毁伤,且需较长时间才能恢复战斗能力,为其他地面部队遂行作战任务创造更多的时间;

3) 在可能的情况下,使用精确制导弹药杀伤集群目标中的重要单元目标,提高按A类型杀伤的目标比例,从而增大在特定时间内,目标无战斗能力的概率。

3 结束语

文中运用统计模拟法,针对组成集群目标的各单

元目标结构和功能的复杂性、多样性,将目标工作能力(战斗力)损伤情况作为目标毁伤评估的评判依据,推导出集群目标杀伤概率统计估值函数,并通过实例验证。

正确评估目标战斗力损失,不仅关系杀伤兵器的区分、射击方法和弹药消耗的确定,更关系到合成军下一步的战斗行动^[6]。集群目标的毁伤效果评估之所以要从目标工作能力(战斗力)角度进行研究,从作战需要上讲,是便于毁伤意图的量化和火力计划的拟制。用目标工作能力(战斗力)的变化情况作为火力打击的计算依据,已经成为现代各国联合火力打击理论的研究方向^[7]。

参考文献:

- [1] 李新其,向爱红,李红霞. 系统目标毁伤效果评估问题研究[J]. 兵工学报,2008,29(1):57-62.
- [2] В И Власов, В А Ерохин, А И Буравлев, Т. Р. Теоретические основы огневого поражения и планирования [J]. Военная Мысль, 1993(10): 22-24.
- [3] А И Буравлев, В А Ерохин. О некоторых проблемах теории огневого поражения противника и методологии их решения[J]. Военная Мысль, 1994(6): 47-50.
- [4] Буравлев А И, Ерохин В А. Критерии оценки эффективности огневого поражения в операции // Труды ВВИА им. Проф. Н. Е. Жуковского. 2007. Т. 5. No 8. Серия: Авиационные работотехнические системы[M]. Радиотехника,2008.
- [5] 张从军,刘亦农,肖丽华,等. 概率论与数理统计[M]. 上海:复旦大学出版社,2006.
- [6] 徐雷,王桥,金勇杰,等. 基于目标战斗力的炮兵火力毁伤评估模型[J]. 兵工自动化,2009,28(8):21-22.
- [7] 刘家军. 俄陆军火力毁伤理论体系[J]. 外国军事学术,2004(4):59-60.

(上接第116页)

三维坐标,利用 Matlab 软件的强大功能实现对三维曲面的重建,从而得到子母弹的散布面积。这种测量方法精度较高,不易受外界环境影响,但是对布站参数要求较高。文中没有采用多次数据拟合,对数据的处理存在误差较大,需要进一步完善。

参考文献:

- [1] 吴慎将. 烟花炸点高度测量方法研究[D]. 西安:西安工

业大学,2006.

- [2] 廖海波. 非旋转子母式弹药抛撒技术研究[D]. 南京:南京理工大学,2009.
- [3] 周承仙,王高,李仰军,等. 基于非对称双 CCD 交汇的信号弹高度测量方法[J]. 测试技术学报,2009,23(3):240-243.
- [4] 孙传杰,卢永刚. 一种无控子母弹落点散布分析[J]. 弹箭与制导学报,2010,30(1):109-111.