

·测试、试验与仿真·

信号弹高度测试技术

张磊¹, 雷树峰², 冯巧玲¹, 王 高¹

(1. 中北大学 仪器科学与动态测试教育部重点实验室, 山西 太原 030051; 2. 山西北方晋东化工有限公司, 山西 阳泉 045000)

摘 要: 信号弹的发射高度是信号弹的重要技术参数。为了测试信号弹发射高度, 通过建立数学模型, 提出采用单个面阵 CMOS 相机对信号弹高度进行测试的技术。通过前期相机工作视场角标定, 对 CMOS 相机采集的视频图像采用 MATLAB 进行处理, 实现对信号弹发射高度的实时测试。同时分析了误差来源, 估算了系统误差精度。最终测得某信号弹的发射高度在 159.348 ~ 167.567 m 之间。结果表明, 该测试系统具有成本低、操作简单、布站方便、测量精度高、自动化程度高、不受测量场地的限制、排除了人工读取误差等优点。

关键词: 高度测试; 面阵 CMOS; 信号弹; 图像处理

中图分类号: O438

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2011)03-0074-04

Height Measurement of Signal Flare

ZHANG Lei-lei¹, LEI Shu-feng², FENG Qiao-ling¹, WANG Gao¹

(1. Key Laboratory of Instrumentation Science & Dynamic Measurement of Ministry of Education, North University of China, Taiyuan 030051, China; 2. Shanxi North Jindong Chemical Industry Co., Ltd, Yangquan 045000, China)

Abstract: The launching height is an important technical parameter for the signal flare. In order to test the launching height of the signal flare, the measurement technology based on the single area array CMOS camera is proposed by establishing mathematical model. By calibrating the camera angle of view, the video images collected from CMOS camera are processed by MATLAB, and the real-time measurement for launching height of signal flare is achieved. Meanwhile, the sources of error are analyzed and the accuracy of the system error is estimated, and the launching height of the signal flare is between 159.348 m and 167.567 m. The result shows that the advantages of the measurement system are low cost, simple operation, easy deployment, high precision, high degree of automation, without limitations of measurement environment and errors of manual reading, etc.

Key words: height measurement; area array CMOS; signal flare; image processing

信号弹是利用发光信号剂或发烟剂的燃烧产生有色光或烟团来传递信号或指示目标的一种特殊弹种, 具有不受人工干扰、使用简便、能经常保持备用状态、利于观察、使用广泛等特点^[1]。为验证信号弹的性能, 必须对信号弹发射高度进行测试, 并对数据进行统计分析, 总结信号弹发射高度的规律, 可用于指导产品生产、工艺改进以及安全使

用^[2]。

利用全站仪和查表方法是现有对信号弹发射高度测试的主要方法。基于 CMOS 相机测量技术是近年来迅速发展起来的一种非接触式测量技术, 由于其具有结构简单、使用方便、测量精度高、实时性强、自动化程度高且较 CCD 相机而言相对成本低等諸多优点^[3], 已在坐标测试、速度测试中得到广

收稿日期: 2011-02-08

基金项目: 电子测试国家重点实验室基金 (9140C1204041009)

作者简介: 张磊磊(1987-), 男, 浙江嘉善人, 硕士研究生, 主要从事测试计量技术及仪器方面的研究。

泛的应用。但是以往都是基于多阵面 CMOS 相机或多面阵 CCD 相机^[4-6],难以达到相机同步要求。如参考文献[3]提到的测试方法,其结构复杂,繁琐的布站程序,大量的参数测量导致稍有误差就会对最后的测量结果造成较大的误差;且由于其双面阵 CCD 系统,成本也相对较高。

针对这些问题通过数学建模,建立单面阵 CMOS 相机测试信号弹高度的系统,利用 MATLAB 对采集的视频数据进行实时图像处理,实现了信号弹高度的自动化测试^[7-8]。

1 面阵 CMOS 相机高度测试数学模型

如图 1 所示信号弹在 A 点发射,通过发射枪架规定信号弹沿 z 轴的正方向或负方向且俯仰角在 80°到 90°(信号弹一般发射俯仰角)之间发射。当信号弹通过 CMOS 相机成像面时,在成像面内的目标都会成像于 CMOS 相机上,对于该平面可成像范围内任意点 S₀来说,在 CMOS 图像上有相对应像素点,通过图像处理,可以计算出该点在 CMOS 上的成像坐标 (X₀, Y₀),结合 CMOS 相机的仰角 (θ+α),相机离信号弹发射点的距离 a,相机镜头中心离地高度 H₁和信号弹发射的高度 H₂,就可以计算信号弹最高点离地面的高度,其数学模型如图 1 所示。

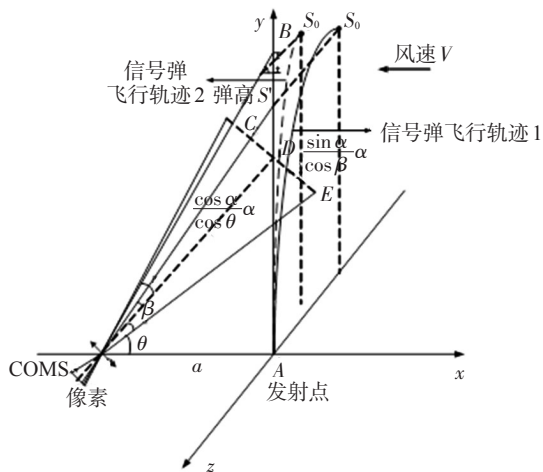


图 1 测高模型图

通过图像处理,假设求得信号弹最高点对应在面阵 CMOS 上的坐标为 (X₀, Y₀),其中 1 ≤ X₀ ≤ X, 1 ≤ Y₀ ≤ Y,其中 X、Y 分别为面阵 CMOS 的横向、纵向的总像素,则有

$$OD = a \cdot \tan(\alpha + \theta) \tag{1}$$

$$DE = OD \cdot \tan \alpha = a \cdot \tan(\alpha + \theta) \cdot \tan \alpha \tag{2}$$

又如图 2 所示有

$$\frac{2Y_0 - Y}{Y} = \frac{CD}{DE} \tag{3}$$

$$CD = \frac{2Y_0 - Y}{Y} \cdot DE = \frac{2Y_0 - Y}{Y} \cdot a \cdot \tan(\alpha + \theta) \cdot \tan \alpha \tag{4}$$

$$\tan \beta = \frac{CD}{OD} = \frac{\frac{2Y_0 - Y}{Y} \cdot a \cdot \tan(\alpha + \theta) \cdot \tan \alpha}{a \cdot \tan(\alpha + \theta)} = \frac{2Y_0 - Y}{Y} \cdot \tan \alpha \tag{5}$$

$$\beta = \arctan\left(\frac{2Y_0 - Y}{Y} \cdot \tan \alpha\right) \tag{6}$$

$$H_0 = a \cdot \tan(\beta + \alpha + \theta) + (H_2 - H_1) \tag{7}$$

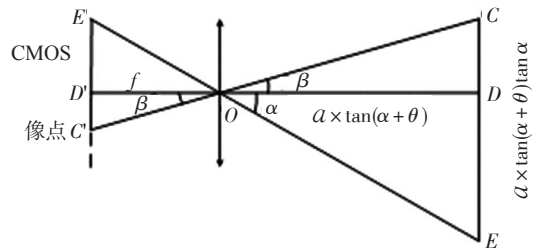


图 2 原理图局部

如图 2 所示,其中 β 也可以这样计算

$$\tan \beta = \frac{C'D'}{OD'} \tag{8}$$

式中, C'D' = (Y₀ - Y/2) · n₀, 其中, n₀ 为一个像原的尺寸,单位为 μm。根据高斯成像公式: 1/f = 1/u + 1/v。式中, f 是镜的焦距; u 是物距; v 是像距。那么有

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{OD} + \frac{1}{OD'} \tag{9}$$

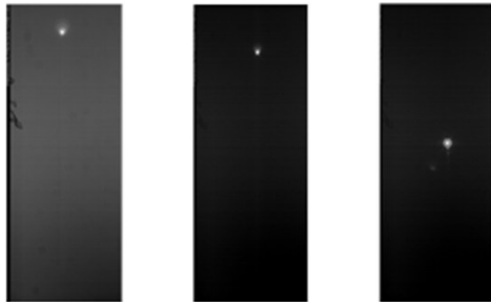
式中, f 为所用相机镜头的焦距; OD' = $\frac{f \cdot OD}{f + OD}$ = $\frac{(f + a \cdot \tan(\alpha + \theta))}{f \cdot a \cdot \tan(\alpha + \theta)}$, 其中

$$\beta = \arctan \frac{C'D'}{OD'} = \arctan \frac{(Y_0 - \frac{Y}{2}) \cdot n_0 \cdot (f + a \tan(\alpha + \theta))}{a \tan(\alpha + \theta) \cdot f}$$

式中, H₀ 为信号弹弹高; H₁ 为相机镜头中心到地面的距离; H₂ 为发射枪中心到地面的距离。

2 图像处理

拍摄得到的图像序列直接通过千兆网高速传输到计算机,如图3所示是拍摄某信号弹最高点的图像。处理步骤如下:



第一发最高点图像 第二发最高点图像 第三发最高点图像

图3 信号弹最高点图像

(1)先将存储图像的文件夹里的所有图像信息一次性读入并以数组的方式存储起来。

(2)通过循环函数对每张图像进行灰度化、阈值化、提取边缘以获得每张图片上最高点信息,处理结果如图4所示。



第一发图像结果 第二发图像结果 第三发图像结果

图4 图像处理结果

(3)进行相邻帧图像边缘纵坐标最大值相减运算,因为拍摄的是完整的信号弹发射过程,所以判定获取最高点的算法可为:If $F[i]-F[i+1]>0$,则可判定 $F[i]$ 为信号弹最高点图像的纵坐标值。

(4)最后将获取的纵坐标值,通过公式计算得到信号弹高度。

图像处理程序以及测试原理计算程序全部在MathWork公司Matrix Laboratory环境下编写,容易实现图像相减、截区处理以及最高点像素识别等。一般情况下,信号弹的高程在60~300 m,下面是本系统测试某信号弹所得结果,如表1所示。

由于不同信号弹发射的高度不同,在实际使用

表1 某型信号弹测试结果

| 序号 | 距离 a/m | 俯仰角 $\theta + \alpha / (^\circ)$ | 高度 H_0/m |
|-----|----------|----------------------------------|------------|
| 第1发 | 100 | 45 | 167.567 |
| 第2发 | 100 | 45 | 159.348 |
| 第3发 | 50 | 60 | 162.298 |

该系统时可以对本相机的俯仰角 $\theta + \alpha$ 和相机到发射点的距离 a 做相应的调整。

3 误差分析

如图1所示系统测量的误差主要由测量时的风速引起,假设风速 V 的方向是沿 X 轴的负方向,而大小 $<3 \text{ m/s}$ (信号弹测高时允许的风速),信号弹发射后星体飞行时间 t 大约是6~8 s,由于风速的作用,信号弹沿轨迹2飞行,最高点 S_1 会向 X 轴的负方向飞行 $\Delta a = V \times \frac{t}{2}$ 的距离。那么这时由风速引起的最大误差高度为: $\Delta H = \Delta a \times \tan(\theta + \alpha + \beta)$ 。同理如果风速 V 的方向沿 X 轴正方向也会造成相应的误差。另外在参数 a 、 θ 测量上存在人为的误差以及存在图像模糊边缘和图像处理算法引起的CMOS成像面内像素判别的误差。以及在参考文献[3]中所提到的由于像素引起的误差在文中同样也存在,由于篇幅原因,不再详细阐述。

4 结论与展望

(1)通常对空间运动物体高度测量需要两台或两台以上的相机,该测试技术只需一台相机即可。从而简化了测试结构,降低了测试成本,方便测试人员布站。

(2)提出了两种利用CMOS相机测试信号弹高度的方法,并在理论上进行了推导,最终得到了相应的关系式。

(3)数据全部由PC处理,排除了人为读取误差,实现自动化测试,且精度高。

(4)此信号弹高度测试技术的最大误差是由风速引起的。解决办法为尽量选择无风天气,并在相机三角架上安装一个便携风速的仪,根据测得的风速,在程序中加入校正。这样可大大减小本方案的误差。

该测试方案具有自动化程度高、操作简单、测

量精度高、容易实现、不受测量场地限制、排除了人工读取误差等优点,最后实弹实验验证了系统的可靠性。本方案同样可用于检测烟囱高度、烟花高度、高压线悬弧高度以及低空可见目标的高度(小于1 000 m)的测量,对现实中各种低空可见目标的高度测试具有普遍的意义。

参考文献

- [1] 陈宇虹. 国产信号弹[J]. 轻兵器, 2009(12):22-23.
- [2] 张伟. 烟花高度的测量方法[J]. 测绘通报, 2004(5): 65-66.
- [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(5):

(上接第64页)

制出来,主要性能指标达到任务书要求,等到进行规范的电磁兼容测试才发现问题,再采取措施就会事倍功半,若等到整个系统组装好进行联试才发现问题,那就更为时已晚。

电磁兼容设计是实践性非常强的工作,要求设计人员要全面地掌握电磁兼容理论知识,对周围复杂电磁环境要有一个全面地了解,从设计、试验、改进过程中不断丰富自己的实践经验。从系统分析、元器件选用到专业设计,从设备试制、试验到验收、测试以及安装调试工作中,都要切实可行地采取电磁兼容控制措施。同时,要重视原始试验数据的积

(上接第73页)

4 结 论

利用SPR实现瓦斯浓度检测技术是一项近几年发展起来的新兴技术。SPR技术以其突出的优越性,为气体的检测提供了一种崭新的检测手段,具有广阔的应用前景。

文中选择合适的硬件电路元器件组建了FO-SPR分布式传感网络,对系统报警功能进行了编程,并用Labview件对系统进行了仿真,仿真结果与程序有很好的吻合。

参考文献

- [1] 郭文婷, 李秀丽, 韦天新. 表面等离子体波共振技术应用于气体检测[J]. 化学进展, 2008, 20(1): 155-162.

240-243.

- [4] 钟堰利, 贾福娟, 丁凌. 双CCD交汇测量系统的设计方法[J]. 光学技术, 2002, 28(6): 481-484.
- [5] 高昕, 苏建刚, 张光明. CCD摄像机交汇测量目标脱靶量布站分析[J]. 应用光学, 2000, 21(5): 40-43.
- [6] 李开端, 赵育良, 李英杰, 等. 面阵CCD航空相机的自动对焦技术研究[J]. 光电工程, 2002, 29(5): 22-24.
- [7] Fairweather M, Hargrave G K, Ibrahim S S, et al. Studies of Premixed Flame Propagation in Explosion Tubes [J]. Combustion and Flame, 1999(4).
- [8] Ibrahim S S, Masri A R. The Effects of Obstructions on Overpressure Resulting from Premixed Flame Deflagration [J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2001(3).

累,对材料选择、电路、结构和工艺设计等方面逐步实行规范化管理,以不断提高设备电磁兼容性。

参考文献

- [1] 苏东林, 雷军, 王冰切. 系统电磁兼容技术综述与展望 [J]. 宇航计测技术, 2007(S1): 34-38.
- [2] 陈淑凤. 航天器电磁兼容技术[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2007.
- [3] 蔡仁钢. 电磁兼容原理、设计和预测技术[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1997.
- [4] 陈楚, 张雅虹, 黄春晖. 高速差分光电检测电路的设计 [J]. 光电技术应用, 2008, 23(1): 45-48.

- [2] 毛良明, 孟爱东, 骆飞, 等. 光纤分布式传感器[J]. 传感器世界[J], 1999(2):5-8.

- [3] 赵冬娥, 赵豫姝. 表面等离子体共振传感理论仿真研究 [J]. 测试技术学报, 2008, 22(3): 265-268.

- [4] 霍志广. 分布式光纤传感器的机理和研究现状分析 [D]. 青岛: 青岛理工大学, 2006.

- [5] 江福椿, 朱昌平, 林善明, 等. 气体浓度检测技术的现状和应用[J]. 河海大学常州分校学报, 2004, 18(1): 15-18.

- [6] 郑龙江, 李鹏, 秦瑞峰, 等. 气体浓度检测光学技术的研究现状和发展趋势[J]. 激光与光电子学进展, 2008, 45(8): 24-32.

- [7] 吴英才, 袁一方, 徐艳平. 表面等离子共振传感器的研究进展[J]. 传感器技术, 2004, 23(5): 1-5.

- [8] 王幸之, 钟爱琴, 王雷, 等. AT89系列单片机原理与接口技术 [J]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004: 101-102.