

文章编号 1004-924X(2002)05-0533-04

一种非接触三维位置测量系统

孙 宁¹, 乔彦峰², 林维才²

(1. 中国人民解放军军需大学, 吉林 长春 130062;

2. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130022)

摘要:某型导弹填装车为发射车自动装弹前, 需要获得两车之间精确的相对位置关系参数。介绍了一种非接触三维位置测量系统, 该系统由一组面阵 CCD 探测器、实时图像处理及快速数据解算系统组成, 对三卤钨灯目标与测量系统之间 x 、 y 、 z 、 α 、 β 、 γ 的相对位置关系进行测量, 介绍了测量原理, 推导出了参数计算公式。实验表明, 此系统测量精度满足用户要求, 为非接触三维位置测量提供了新的思路。

关键词:面阵 CCD; 非接触测量; 位置测量系统

中图分类号: TH166 文献标识码: A

1 引言

随着航空航天技术的飞速发展, 对位置测量设备的精度要求也不断提高, 电荷耦合器件 CCD (Charge Coupled Devices) 由于具有自扫描、光电灵敏度高、几何尺寸精确、功耗低、便于数字化等系列优点, 被广泛应用于非接触测量领域^[1-2]。

美国在 50 年代就开展了非接触位置测量系统的研究工作, 到 70 年代初出现了 CCD, 它伴随着单片机的迅速发展, 被广泛应用到各种固体火箭及航天飞机上, 如美国的三叉戟 MX 运载火箭、法国的 M4 运载火箭, 国内于 80 年代初期开展了此方面的研究工作, 并运用到了实际中。但是, 已知的国内外所采用的非接触测量系统, 或者不能同时测量出长度和角度的位置关系, 或者由于同时使用多组 CCD 探测器, 加大了系统的复杂性, 限制了此项技术在非接触三维位置测量方面的推广及应用^[3-6]。

本文所介绍的系统, 只使用一组 CCD 探测器即可测量出某型导弹填装车和发射车之间三维相对位置的六个参数, 并且具有结构简单、快速、准确、精度高等特点, 满足实际测量的要求。

2 测量原理及方法

某型地空导弹发射车在需要重新装弹时, 填装车开到其尾部填装导弹。为使装弹过程得以快速、准确、自动进行, 就要求精确地提供发射车与填装车之间的相对位置关系。本文所讨论的系统就是为完成此项任务专门研制的。

发射车尾部安装三个卤钨灯 (A 、 B 、 D) 作为测量目标, 如图 1 所示, 点 M 为测量点。

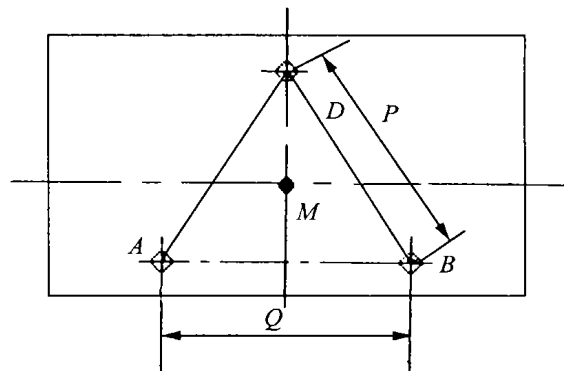


图 1 测量目标

Fig. 1 Object to be measured.

为提高测量精度,光学系统采用了像方远心光路^[7]。以望远镜物方焦点为原点(测量中心),主光轴为 Y 轴建立右手坐标系。如图 2 所示,对任目标 A,可以得到其在 CCD 靶面上的像点 a。

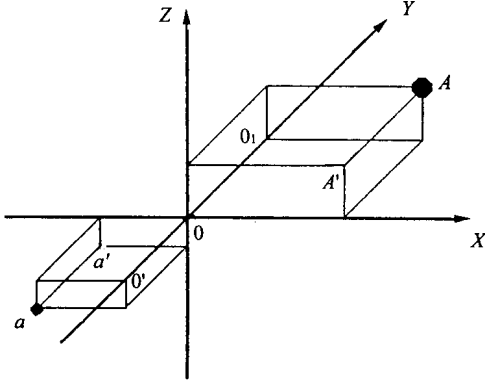


图 2 目标点 A 与其像点 a 的位置关系

Fig.2 Positional relationship between point A and its image point a.

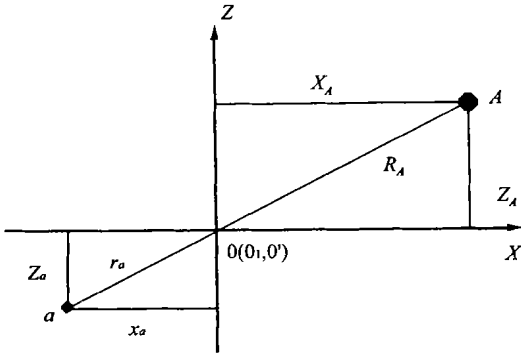


图 3 XOZ 平面投影

Fig.3 Projection in the XOZ plane.

观察 A、a 在 XOZ 平面内的投影,如图 3 所示,可得:

$$\frac{z_A}{x_A} = \frac{z_a}{x_a} \Rightarrow z_A = \frac{z_a}{x_a} x_A, \quad (1)$$

另有:

$$R_A = \sqrt{x_A^2 + z_A^2}, \quad (2)$$

$$r_a = \sqrt{x_a^2 + z_a^2}. \quad (3)$$

其中 z_a, x_a 可由 CCD 测出,则 r_a 为已知量。

观察 A、a、O 三点及望远镜主光轴(OY 轴)所在平面,如图 4 所示。

由三角形近似关系可得:

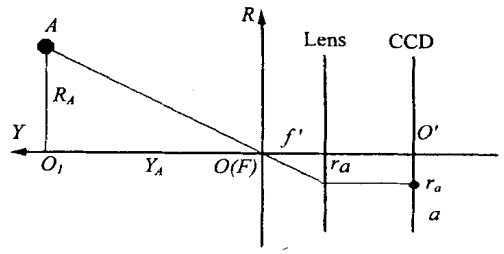


图 4 ROY 平面投影

Fig.4 Projection in the ROY plane.

$$y_A = f \Rightarrow y_A = \frac{R_A f}{r_a} = \sqrt{\frac{x_A^2 + (\frac{z_a}{x_a} x_A)^2}{x_a^2 + z_a^2}}$$

$$f = \frac{x_A}{x_a} f = -\frac{x_A}{x_a} f \Rightarrow x_A = (-\frac{x_a}{f}) y_A$$

又

$$z_A = \frac{z_a}{x_a} (-\frac{x_a}{f}) y_A = (-\frac{z_a}{f}) y_A$$

所以,点 A 的坐标为:

$$((-\frac{x_a}{f}) y_A, y_A, (-\frac{z_a}{f}) y_A)$$

同理,点 B 的坐标为:

$$((-\frac{x_b}{f}) y_B, y_B, (-\frac{z_b}{f}) y_B)$$

点 D 的坐标为: $((-\frac{x_d}{f}) y_D, y_D, (-\frac{z_d}{f}) y_D)$

图 1 中,设 $|AD| = |BD| = P, |AB| = Q, AB \perp DM$,点 M 到直线 AB 和点 D 的距离相等,则有:

$$\begin{aligned} |AD|^2 &= (x_A - x_D)^2 + (y_A - y_D)^2 + (z_A + z_D)^2 \\ &= [(-\frac{x_a}{f}) y_A - (-\frac{x_d}{f}) y_D]^2 + (y_A - y_D)^2 \\ &\quad + [(-\frac{z_a}{f}) z_A - (-\frac{z_d}{f}) z_D]^2 = P^2 \end{aligned}$$

经整理:

$$\begin{aligned} (x_a^2 + z_a^2 + f^2) y_A^2 + (x_d^2 + z_d^2 + f^2) y_D^2 \\ - 2(x_a x_d + z_a z_d + f^2) y_A y_D = P^2 f^2, \quad (4) \end{aligned}$$

同理可得:

$$\begin{aligned} (x_b^2 + z_b^2 + f^2) y_B^2 + (x_d^2 + z_d^2 + f^2) y_D^2 \\ - 2(x_b x_d + z_b z_d + f^2) y_B y_D = P^2 f^2, \quad (5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (x_a^2 + z_a^2 + f^2) y_A^2 + (x_b^2 + z_b^2 + f^2) y_B^2 \\ - 2(x_a x_b + z_a z_b + f^2) y_A y_B = Q^2 f^2. \quad (6) \end{aligned}$$

解此三元二次方程组(4、5、6),可以得到 $y_A、$

$y_B、y_D$ 的值,进而求出 $x_A、z_A、x_B、z_B、x_D、z_D$ 的值。

由图 1,可以确定点 M 的三维坐标,

$$x_M = \left(\frac{x_A + x_B + 2x_D}{4} \right),$$

$$y_M = \left(\frac{y_A + y_B + 2y_D}{4} \right),$$

$$z_M = \left(\frac{z_A + z_B + 2z_D}{4} \right)$$

又,由 $A、B、D$ 三点坐标,可以得到此三点所确定平面的方程(三点式):

$$\begin{cases} x - x_A & y - y_A & z - z_A \\ x - x_B & y - y_B & z - z_B \\ x - x_D & y - y_D & z - z_D \end{cases} = 0$$

将其整理成法式平面方程:

$$R(x - x_E) + S(y - y_E) + T(z - z_E) = 0$$

则可知此平面法线(即发射车轴线)方向为

$$n = \{ R, S, T \}$$

$$\text{令 } N = \sqrt{R^2 + S^2 + T^2}$$

则 n 与 $X、Y、Z$ 三坐标轴的夹角(n 的方向角)、 $\alpha、\beta、\gamma$ 分别为:

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{R}{N} \quad \beta = \cos^{-1} \frac{S}{N} \quad \gamma = \cos^{-1} \frac{T}{N}$$

则两车相对位置的六个参数 $x_M、y_M、z_M、\alpha、\beta、\gamma$ 均已得出。

3 实验结果与分析

根据前述公式编程,在测量范围 $x : \pm 200\text{mm}, y : 1700 \pm 200\text{mm}, z : \pm 600\text{mm}, \alpha、\beta、\gamma :$

参考文献:

[1] 金杰,徐锡林.提高 CCD 分辨率的一种尝试[J].现代计量测试,1997(3):37-41.
 [2] 安志勇,张国玉.高分辨率 CCD 光电尺寸自动检测仪的研究[J].光学技术,1997(3):35-37.
 [3] 梁保俊.美国固体火箭球窝摆动喷管的发展述评[J].国外固体火箭技术,1982,1(2):50-52.
 [4] 朱耆祥.CCD 探测器在多维动态测量中的应用[J].光电工程,1994,21(3):9-15.
 [5] 张尧禹,张明慧,乔彦峰.一种高精度非接触位置测量系统[J].光学精密工程,2001,10(1):41-44.
 [6] 吕海宝,杨华勇.多 CCD 交汇测量技术研究[J].光电工程,1998,25(2):14-19.
 [7] 王庆有.CCD 应用技术[M].天津:天津大学出版社,2000.166-180.

$\alpha、\beta、\gamma : \pm 5$ 区域内,对 $Q = 1200\text{mm}$ 、点 D 到直线 AB 的距离为 400mm ($P = 721.1\text{mm}$)的固定三卤钨灯目标进行测量。

望远镜头焦距 $f = 30\text{mm}$;大面阵 CCD 像敏单元数为 5000×5000 ,像敏单元尺寸为 $7\mu\text{m} \times 7\mu\text{m}$ 。

光学系统及 CCD 探测器固定在一经纬仪上,经纬仪可在 $X、Y$ 轴方向的导轨上移动和在 XOY 平面内转动。将在不同的位置、角度情况下测得的结果进行比较,最大差值 $x : 0.36\text{mm}, y : 0.75\text{mm}, z : 0.58\text{mm}, \alpha : 2.56', \beta : 2.33', \gamma : 2.29'$ 。在实际应用中经过调校,即可满足用户对测量精度的要求(长度: $\pm 1\text{mm}$,角度: $\pm 3'$)。

在应用中,若要进一步提高系统精度,可以适当加大 $P、Q$ 的值或者选用像元尺寸更小的面阵 CCD,也可以使用特殊算法提高 CCD 的分辨率,从而提高系统精度^[1]。

大面阵 CCD 价格比较昂贵,使其测量范围受到限制,可用线阵 CCD 加轴角编码器代替,但如此一来将会增加探测时间并且加入了角度误差。

4 结 论

本系统采用大面阵 CCD 探测器、物方远心光路、实时图像处理技术及快速数据解算系统,具有结构简单、快速、准确、精度高等特点。本系统研制成功,为非接触位置测量提供了新的思路,将提高非接触位置测量方面的理论研究、测量技术及工程设计水平。

Non-contact 3-D position measurement system

SUN Ning^{1,2}, QIAO Yan-feng², LIN Wei-cai²

(1. *Quartermaster University of the PLA, Changchun 130062, China*

2. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022, China*)

Abstract : To load a missile on the emissive vehicle automatically, the positional relationship between the emissive vehicle and loading vehicle must be acquired. A non-contact 3-D position measurement system is introduced in the article. The system is composed of a planar array CCD detector and real time image processing and quick data calculating system, which can survey the positional relationship between the 3-lamp objects on the emissive vehicle and the measuring system on the loading vehicle. The principle of the measurement is discussed, and the parameter calculating equation is derived. The experiments show that the measuring precision meets the requirements by the user.

Key words : planar array CCD ; non-contact measurement ; position measuring system

作者简介 : 孙 宁 (1974-), 男, 吉林省辽源市人, 1995 年毕业于浙江大学机械工程学系, 长春解放军军需大学讲师, 现在中科院长春光机所攻读硕士学位, 主要研究方向为光电测量系统。