

文章编号 1004-924X(2001)06-0568-04

靶丸定位系统中的图像处理

徐 洁¹, 张之江², 陆林海¹

(1. 上海大学 机电工程与自动化学院, 上海 200072;

2. 上海大学 通信工程系, 上海 200072)

摘要: 靶丸定位是惯性约束核聚变(ICF)实验中的关键性环节。介绍了靶丸定位系统,提出了一种靶丸定位过程中的图像处理方法。利用散焦测距原理,通过 Variance 和 Brenner 组合调焦评价函数,首先实现旋转和俯仰二维方向和一维平移找正;再利用质心法来实现二维平移找正。通过原理性实验,验证了方法的可行性。

关键词: 图像处理;靶丸定位;调焦函数;质心法

中图分类号: TP391 文献标识码: A

1 引言

靶丸定位是惯性约束核聚变(ICF)实验中的关键性环节,通过对靶丸进行五个自由度的调整后,将靶丸定位在靶室中心,其定位精度将直接影响最终的打靶实验。ICF 实验中使用两个相互正交的 CCD 摄像头^[3-4]2、3,对靶丸目标进行图像采集。通过图像处理,获得靶丸相对中心的三维调整量,从而驱动调整机构完成靶丸的定位。充分利用 CCD 采集来的图像,并使用适当的图像处理来提取目标物体所处的三维场景信息(如靶丸目标的坐标位置)将简化靶丸定位的调整过程,使其较现有的人工瞄准更为有效。这一图像处理过程的实质是靶丸的相对三维信息的获得。现在,利用计算机视觉方法来获得目标物体所处三维场景信息的方法有许多。从图像采集角度来分有单目视觉,双目视觉,三目视觉等;从图像处理方法来看有时域与频域等之分。考虑到调整精度和速度的前提下,本文提出了一种将单目视觉中的聚焦法与质心法相结合的图像处理方法,用以确定靶丸目标在所处三维场景中的相对位置,以实现靶

丸的定位。

2 定位过程中的图像处理

2.1 系统结构及调整原理

靶丸定位系统的目标是将靶丸目标定位于靶室的中心,靶室的结构示意图如图 1 所示。靶丸被置于一个具有五个自由度(三维平动,二维转动)的靶架系统上,通过对两个相互正交 CCD 摄像头 2、3 所采集来的图像进行图像处理^[2,5],获得靶丸的空间位置信息及其与目标位置的偏移量(其中 CCD 摄像头 1 仅作为辅助使用),然后控制靶架系统先后进行五个自由度的定位调整,直到将靶丸精确定位于靶室中心为止。

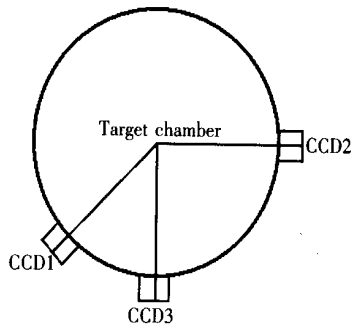


Fig. 1 Relative position of CCD.

收稿日期: 2001-08-19; 修订日期: 2001-09-20

基金项目: 上海市教委青年基金资助项目

在定位调整过程中采用分两步走的方法来实现:首先,根据散焦测距原理,通过 Variance 和 Brenner 组合调焦评价函数,对 CCD 摄像头 2,3 所采集到的图像进行评价,实现靶丸的旋转和俯仰及一维平移找正。根据 CCD 的位置,使用 CCD3 采集的是靶丸的径向图像,使用 CCD2 对靶丸的轴向图像。虽然,所采到的目标图像的轮廓形状不同,但是它们都有一个共同点即随着靶丸的空间位置的不同,目标图像的清晰度及其边缘锋利度也有相应的变化。根据散焦测距原理,只要满足这一点,便可利用调焦评价函数对图像进行调焦评价,实现旋转等三个自由度方向找正。同理,即使各种靶丸的形状各异,使用调焦的方法可忽略靶丸形状对定位调整的影响;而后再使用 CCD 摄像头 2 来采集靶丸的轴向图像,由于靶丸中心的靶孔可使靶室中的背景光束通过,在所获得的图像中形成了较明显的对比,同时由于小孔的形状为中心对称的圆形,因此,在将小孔分割出来后,利用质心法来获得其圆心位置并计算其偏移量,以实现二维平移找正。最终完成靶丸的 5 个自由度的定位调整。

2.2 图像处理

靶丸目标有多种形状,现将一个典型的靶丸假设为一个圆形,直径为 r 、厚度为 b 的铜片,其中心为一个微小的圆孔。假设其正中的圆心为坐标原点,其轴向为 X 轴方向(主法矢),径向为 Y、Z 轴。处于理想位置时从 Y 轴方向 CCD3 看,为一个图像清晰边缘明显的狭长的矩形,从 X 轴方向 CCD2 看则是一个图像清晰的正圆。但当靶丸有一定旋转或俯仰等偏移量时,则靶丸目标处于离焦状态,图像不再清晰,边缘变得模糊。在此可以利用调焦评价的方法来进行靶丸的轴向、旋转及俯仰找正。由调焦评价得到旋转及俯仰在深度上的偏离量,因此,应将深度偏离量转化为电机调节所需要的角度量,便对电机实现角度控制。设深度偏移量 y ,旋转量为 θ ,则

$$\theta = y/r \text{ (rad)}$$

根据散焦测距原理^[1]聚焦的图像比散焦的图像包含更多的信息和细节,这是单目视觉聚焦方法的基础。假设摄像机位置不动,而将目标物体进行前后移动,那么 CCD 摄像头 3 所采集到的一系列其清晰度有规律变化的图像。物体聚焦的过

程,其实质是一个判决的过程,为此需要寻找一个满足条件的判决函数。图像调焦评价函数就是用来评价摄像机相对于物体在不同位置所拍摄图像的离焦量,评价函数的最大值对应的位置就是摄像机的聚焦位置。一个好的图像调焦评价函数应具有无偏性、单峰性、能反映离焦极性;较高的信噪比及计算量小。

图像调焦函数可以分为以下几类:1. 灰度变化函数;2. 梯度函数;3. 图像灰度熵函数;4. 频域类函数。

Variance 函数从调焦的角度来讲,它与标准差函数的实质是一样的。其表达式^[1]为:

$$F(I) = \sum_x \sum_y [I(x, y) - u]^2$$

式中: $I(x, y)$ — 像元 (x, y) 的灰度值, u — 讨论区域内的灰度平均值。

Brenner 函数又称为梯度滤波器法,它对象邻近的像元灰度进行平方、求和,其表达式^[1]为:

$$f(I) = \sum_x \sum_y [I(x+z, y) - I(x, y)]^2$$

式中 $I(x, y)$ — 像元 (x, y) 的灰度值, z — 像素间的间隔,一般 $z = 1$ 。

Variance 函数具有较大的有效调焦范围,曲线的平滑性较好,抗干扰能力较强适用于大范围调焦。另外,由于它是计算像素灰度与平均值之差,故对电源电压波动干扰不敏感,这就为函数的实际应用提供了可能。Brenner 具有较短的运算时间,较窄的顶部宽度,适合于小范围精调焦。本文采用 Variance 和 Brenner 结合的调焦函数,以 Variance 函数作为大范围调焦,待接近聚焦的小区域中使用 Brenner 函数进行精调。

在使用调焦评价函数完成径向、旋转及俯仰方向找正后,从 X 方向的 CCD 摄像头 2 所采集到的图像为清晰的正圆图像。由于目标为正圆,圆心与重心重合,因此可以通过使用灰度质心法计算靶丸中心的微小圆孔的圆心坐标的方法实现二维平移找正。

质心法所求质心为所选目标部分图象的灰度分布重心。首先需对 CCD 所获取的图像进行分割;选取适当的阈值将目标源从背景中分割出来,背景为黑目标保留原值;然后根据重心计算公式求出目标重心。根据物理学重心定义,设一幅 $M \times N$ 的图像其重心为:

$$\left\{ \begin{aligned} \bar{x}_0 &= \frac{\sum_{x=0}^{N-1} x \sum_{y=0}^{M-1} f(x, y)}{\sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} f(x, y)} \\ \bar{y}_0 &= \frac{\sum_{x=0}^{N-1} y \sum_{y=0}^{M-1} f(x, y)}{\sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} f(x, y)} \end{aligned} \right.$$

由于质心法计算目标圆圆心的方法是统计平均的过程,是经过图像中各个像元灰度加权平均得到的位置,所以用灰度质心法求取目标圆圆心随机误差小、精度高、稳定性好。通过辨别预处理,再对目标范围内进行处理。从而得到更快的处理速度。

圆心的求取也可通过亚像素边缘提取^[1]的方法来取得,特别是针对非对称靶丸时。

3 实验结果及分析

3.1 实验条件

实验中采用 OK - M 10M 图像采集卡,焦距镜头 $f = 25\text{mm}$, MT - 1881EXCCD 摄像机,及分辨率为 $10\mu\text{m}$ 的移动平台。

3.2 实验结果

针对提出的图像处理方法进行调焦评价函数及质心法的实验数据见图 2、图 3。

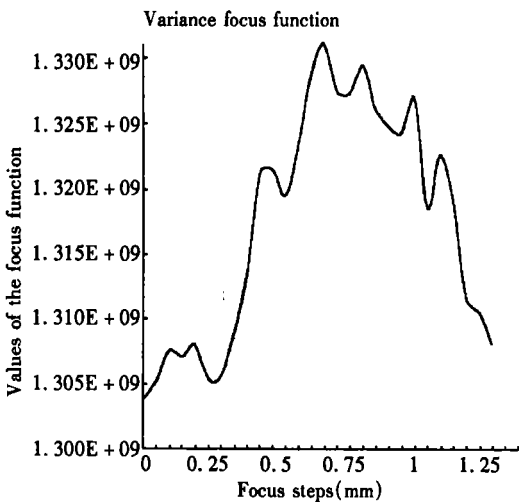


Fig. 2 Picture of the variance focus function.

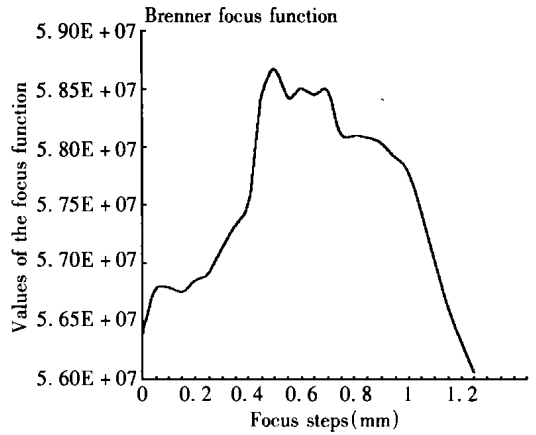


Fig. 3 Picture of Brenner focus function.

调焦函数的实验中,先找到一个近正焦的位置,然后在移开一定的范围后,进行单向移动,每隔一定间隔采集一次图像计算其调焦函数值,从而获得调焦函数曲线图 2、3。根据图 2、3 的数据,可得出该方法可达到的精度为 $0.4'$ 符合调整的精度要求。实验也表明使用 Variance 和 Brenner 评价函数相结合的方法是可行的。

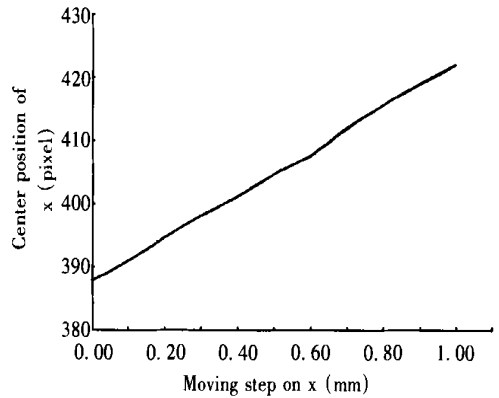


Fig. 4 Position of the center.

质心法求圆心的实验数据如图 4 所示,其纵坐标为用质心法求得的靶丸目标圆心在图像中的位置,横坐标则为实际目标的移动距离,其单位间隔为 0.1mm 。由实验曲线可见,其变化接近线性变化,精度可达 $3\mu\text{m}$,满足靶丸平移找正的 $3\mu\text{m}$ 的分辨要求。但由于该方法中阈值的选取结果的影响较大,因此,阈值的选取也是整个计算的关键环节之一。

4 结 论

由实验分析表明,本文提出靶丸定位中的图像处理方法可以实现 $3\mu\text{m}$ 的三维平移调整精度,

及 $0.4'$ 旋转和俯仰调整精度,并且具有不受靶丸形状限制的优点。

结合实际定位需要,简化定位摄像系统,提高图像处理速度及抗干扰能力,是实现自动、快速、准确定位的关键。

参考文献:

- [1] Groen Frans C A, Young Ian T, Ligthart Guido. A comparison of different focus functions for use in autofocus algorithms [J]. Cytometry, 1985, 6: 81- 91.
- [2] Tabatabai Ali J, Mitchell O Robert. Edge location to subpixel Balues in digital imagery[J], IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1984. PAM I- 6(2):188- 196.
- [3] 周富强,郝继贵,杨学友,等.CCD摄像机快速标定技术[J]. 光学精密工程,2000,8(1): 96- 100.
- [4] 佟首峰,阮锦,郝志航.CCD图像传感器噪声技术研究[J]. 光学精密工程,2000,8(2): 140- 145.
- [5] 陈晓钟,孙华燕.一种自然纹理背景下的图像目标检测方法[J]. 光学精密工程,2000,8(5): 421- 424.

Image Processing for the Automatic Positioning System of Pellet Target

XU Jie¹, ZHANG Zhi jiang², LU Lin hai¹

(1. *Electromechanical Engineering and Automatization Academy of Shanghai University, Shanghai 200072, China;*

2. *Communication Engineering Department of Shanghai University, Shanghai 200072, China)*

Abstract: Pellet's position is the key of ICF experiment. The paper introduces an automatic positioning system, and also describes an image processing method which is used to achieve the pellet's automatic positioning. Based on the theory of distance measurement by defocusing, the spotting in two σ dimension of rotation and pitch, and one σ dimension of translating by using the improved focusing evaluation function which is the combination of variance and Brenner have been realized, respectively, and the spotting of translating in three dimensions has also been implemented by detecting the mass center.

Key words: image processing; pellet's automatic position; focusing function; subpixel

作者简介:徐洁(1977-),女,上海市人。1999年毕业于上海大学机电一体化专业并获得工学学士学位,同年直升为上海大学机械电子工程系精密仪器及机械专业硕士研究生。主要的研究方向为图像处理及自动控制。E-mail: clair@21cn.com