

文章编号 : 0253-2239(2001)10-1272-03

一种抗光扰动的矢量纠偏方法研究*

朱方明 杨国光

(浙江大学现代光学仪器国家重点实验室 杭州 310027)

摘要 : 在半球成像系统实时跟踪目标的过程中,从受到光扰动影响的圆环像中迅速准确地提取圆环的中心是一个关键。为适应半球成像系统跟踪目标的实时性和抗扰性要求,根据圆的几何对称性,提出了一种矢量纠偏的抗光扰动的圆环中心确定方法。实验结果表明,对于无扰动的圆环图像其误差小于 1 个像素;对于有扰动的圆环像误差不得超过 5 个像素。

关键词 : 半球成像系统 (HIT); 矢量纠偏; 边缘检测

中图分类号 : TN911.73 文献标识码 : A

1 引 言

半球成像系统 (Hemispherical Imaging and Tracking System) 是一种重量轻、没有运动部件、依靠全景环形透镜实现实时的半球视场范围内搜寻、制导和跟踪的系统。全景环形透镜全景成像原理如图 1 所示,它依靠光线的折射和反射,对环绕光轴 360°的某一段侧向视场在透镜内部产生该视场的环形虚像,即图 1 中物点 A 和 B 分别发出的两束光(光线 1、2 和 3、4)经全景环形透镜以后的出射光呈发散状,在透镜内部形成虚像,图中像面上的每一个同心圆是与光轴成同一角度的点的轨迹。

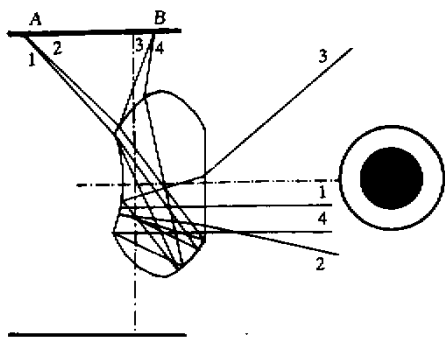


Fig. 1 Ray diagram for a panoramic

图 2 为半球成像系统,位于半球成像系统前方半球视场范围内的目标发出的光线穿过侧窗 1 进入半球成像系统。当光线位于 α 角区域,直接经 2 即全景环形透镜成像;当目标进入 β 角区域,光线先

经环形反射镜 3 反射后再被全景环形透镜收集,光线经全景环形透镜后成一虚像,该虚像由后继透镜 4 送到焦平面阵列 5 上。当目标偏离光轴大于 2° 时目标成点像,当目标偏离光轴小于等于 2° 时为对称半月像,当目标对准光轴即半球成像系统完全瞄准目标时,出现圆环像。

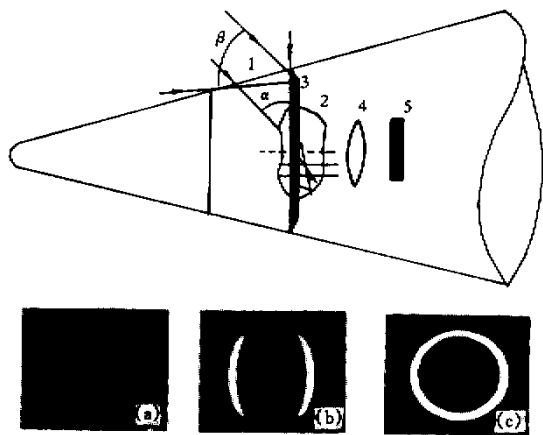


Fig. 2 Optechology's hemispherical imaging and tracking (HIT) system inside. (a) $> 2^\circ$; (b) $\leq 2^\circ$; (c) Aligning to optical axis

通过在圆环上等间隔取 3 或 4 个点,比较它们的光强是否一致来确定圆环的均匀性,从而判断系统是否对准目标,可见半球成像系统可以很方便地实现制导、跟踪。但是等间隔取点必须基于一个确定的圆环中心,由于目标和系统之间不可避免地存在着光扰动,特别是高速飞行时大气的气动光学效应和加热效应,使得经系统产生的圆环像发生抖动、畸变等,所以要实现半球成像系统的准确制导与跟踪,必须先确定受到光扰动影响的圆环的中心位

* 国家自然科学基金(69789803)资助课题。

收稿日期 2000-06-05;收到修改稿日期 2000-09-04

置。圆心的确定方法,目前采用较多的是霍夫(Hough)变换法以及各种改进算法,由于这些方法都基于霍夫变换,需要占用大量的计算机内存,并且处理时间较长,Wu等人曾提出一种利用椭圆的几何特性确定椭圆中心的方法^[1],该方法确定了一种椭圆中心判别规则。为适应半球成像系统对处理速度和抗扰性的要求,根据圆的几何对称特性,本文提出了一种新的圆心确定方法,即矢量纠偏法。

2 矢量纠偏法

建立如图 3 所示的坐标系。

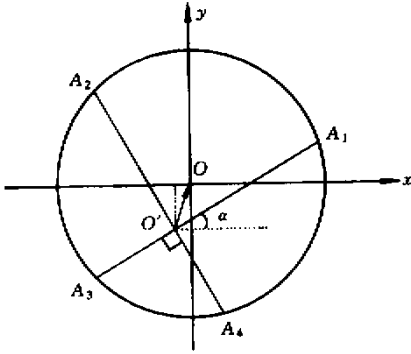


Fig. 3 The correction of vector error

为了确定圆心位置 $O(x, y)$,在圆内预先确定一点 $O'(x', y')$ 从 O' 出发引两条互相垂直的直线并与圆相交于四个点 A_1, A_2, A_3, A_4 , 其中各点的坐标为 $A_i(x_i, y_i)$, 定义 $l_i = |O'A_i|$ 为矢径长度($i = 1, 2, 3, 4$) 则有

$$l_i = \sqrt{(x' - x_i)^2 + (y' - y_i)^2}$$

定义 $O'A_1$ 与 x 轴的夹角为方向角 α ($0 < \alpha < \pi/2$), 设 O' 点与圆心 O 的偏移矢量 $O'O$ 沿 x, y 方向分解的坐标分量为 $(\Delta x, \Delta y)$, 通过几何关系证明,可以得到下列公式:

$$\Delta x = [(l_1 - l_3)/2] \cos \alpha + [(l_4 - l_2)/2] \cos \alpha$$

$$\Delta y = [(l_3 - l_1)/2] \sin \alpha + [(l_4 - l_2)/2] \sin \alpha$$

令 α 从 0 到 $\pi/2$ 变化,重复上述过程,得到一组偏移矢量值,取算术平均得到平均矢量偏差 $(\overline{\Delta x}, \overline{\Delta y})$,对 O' 点纠正偏差即可获得圆心坐标。

该方法不仅原理简单,计算量少,而且具有抗光扰动性。当光扰动呈辐射对称状分布时,该方法不受扰动影响;当光扰动不满足辐射对称性时,由于圆环是当目标对准光轴,即目标发出的关于光轴 360° 对称的所有平行光线经半球成像系统而成的像,光扰动引起的圆环中心偏移误差等概率地分布在圆环

上,该方法可以近似认为不受扰动影响。另外,所取的 α 角越密,即参加求和的点数越多,越能消除光扰动影响,即该方法抗扰动的效果越好。

3 基于矢量纠偏的圆环中心确定方法

假定 CCD 摄像机产生的图像由正方形像素组成^[2,3],选择直角坐标系的 x 轴和 y 轴分别与像素的水平和垂直方向一致。这样,当目标对准光轴时,光线经半球成像系统所成的像在 CCD 靶面上形成一个亮的圆环图像,要确定圆环的中心,先对圆环进行边缘检测。对于边缘检测,目前已提出多种不同的检测算法,考虑到半球成像系统所成的圆环像,环上各点与背景差别明显,环上点的灰度值很大,而背景的灰度值接近于零,所以采用索贝(Sobel)算子进行检测,检测器的输出经阈值处理后,得到一幅由两个圆组成的二值图像,其中值为 1 的点表示边缘上的点。

接下来需要初步确定圆环中心。圆环的中心即为两个同心圆(内圆和外圆)的圆心,可以选择其中一个圆大致确定圆心位置^[4]先对圆进行垂直扫描,得到上、下两个点,并求得中点;后对圆进行水平扫描,得到左右两个边界点,求得中点;将这两个中点取平均后的坐标,作为圆的大致圆心位置。

最后,根据矢量纠偏法,计算出该点偏离圆心的矢量偏差,对该点坐标实施消除偏差运算即可获得真正的圆心坐标。

4 实验结果与结论

对无光扰动的圆环和叠加了光扰动的圆环分别作了实验,圆环的外径为 145 个像素。被测图像如图 4 所示。在无扰动的情况下,对图 4(a)测试结果如表 1 所示,圆心坐标的绝对误差不超过 1 个像素。

Table 1. Test result of not-perturbed image (Unit: pixel)

the real location of the center of ring (x_1, y_1)	the calculated location of the center of ring (x_2, y_2)	measurement error $(x_1, y_1) - (x_2, y_2)$
(159, 187)	(158, 186)	(+1, +1)
(164, 180)	(163, 179)	(+1, +1)
(175, 174)	(174, 175)	(+1, -1)

对圆环引入一定的光扰动,使圆环像发生一定的畸变,对不同扰动幅度的图像图 4(b)图 4(c)图 4(d)的测试结果如表 2 所示,随着扰动的增大,测试

误差逐渐增大,但在较大扰动幅度下,测量误差仍小于 5 个像素。

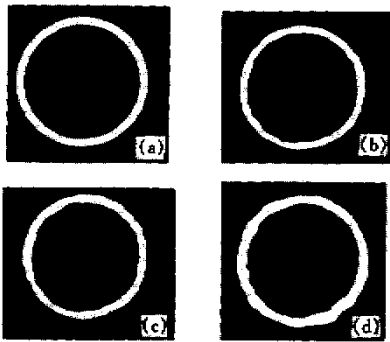


Fig. 4 (a) not-perturbed image ;(b) perturbed image 1
(c) perturbed image 2 ;(d) perturbed image 3

结论 提出了一种矢量纠偏的抗光扰动的确定圆环中心的方法。实验表明:它对于无扰动的圆环图像的误差不超过 1 个像素,对于有扰动的圆环像,误差不超过 5 个像素。

A Method of Correcting Vector Error for Resisting Light Perturbance

Zhu Fangming Yang Guoguang

(State Key Laboratory of Modern Optic Instrument, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

(Received 5 June 2000; revised 4 September 2000)

Abstract: The precise location from the perturbed ring image is an important step for hemispherical imaging and tracking (HIT) system targeting object. Conventional method could not satisfy the HIT system tracking object in real time. According to the feature of geometric symmetry of a circle, a new method of resisting light perturbation is presented. The experimental results show that the measurement error might be no more than 1 pixel for perturbation-free images. In the meantime, by the proposed method the measurement error might be no more than 5 pixels for perturbed images.

Key words: hemispherical imaging and tracking system; correcting vector error; edge detecting

Table 2. Test result of the algorithm of perturbed image (Unit: pixel)

image	the real location of the center of ring (x_1, y_1)	the calculated location of the center of ring (x_2, y_2)	measurement error (x_1, y_1) - (x_2, y_2)
(a)	(189, 190)	(189, 188)	(0, +1)
(b)	(185, 174)	(183, 172)	(+2, +2)
(c)	(174, 180)	(177, 175)	(-3, +5)

参 考 文 献

- [1] Wu W Y, Wang M J J. Elliptical object detection by using its geometric properties. *Pattern Recognition*, 1993, **26** (10):1499~1509
- [2] 杨耀权, 施仁, 于希宁等. 用 Hough 变换提高激光光斑中心定位精度的算法. *光学学报*, 1999, **19**(12): 1655~1660
- [3] 侯成刚, 杨文献, 屈梁生. 一种快速检测圆心的抗噪声亚像素算法. *光学学报*, 1998, **18**(4):481~485
- [4] Ho C T, Chen L H. A fast ellipse/circle detector using geometric symmetry. *Pattern Recognition*, 1995, **28**(1): 117~124