

视觉坐标测量中直接光学法透镜光学中心的标定

张之江¹, 车仁生²

(1. 上海大学通信学院通信工程系, 上海 201800;

2. 哈尔滨工业大学机电学院仪器仪表及测控技术系, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要:介绍了目前视觉坐标测量系统中摄像机成像中心标定的一般方法,即变焦距法、径向准直约束法和直接光学法,比较了上述方法的优缺点。详细介绍了直接光学法的原理以及实际标定过程的步骤,并进行了实验验证。实验结果表明直接光学法具有精度高、重复性好等优点,采用的标定过程可行。

关键词:视觉坐标测量; 光学中心; 标定

中图分类号: TN948.41 文献标识码: A

1 引言

视觉坐标测量是近年来发展起来的新测量技术,在航空、航天、汽车制造、CAD 模型三维数据快速获取以及工艺品复制和服装设计等领域得到了广泛的应用。根据被测对象的不同,目前已发展有固定点视觉坐标测量系统、三维扫描视觉坐标测量系统、多视点视觉坐标测量系统、目标跟踪视觉坐标测量系统以及靶标观察视觉坐标测量系统等许多形式^[1-2]。在所有这些系统中,摄像机参数的正确标定,是系统实现准确测量的前提。摄像机参数标定分为内部参数标定和外部参数标定两部分,内部参数标定包括摄像机镜头光学中心(成像中心)、有效焦距、像素纵横转换当量以及镜头成像畸变系数等的标定。不同的视觉坐标测量系统,上述众多阐述的标定有许多不同的方法^[3-4],本文只就其中摄像机镜头光学中心的标定做一讨论。

2 镜头光学中心的标定方法

镜头光学中心(摄像机成像中心)是指通过透镜的光轴与 CCD 像面的交点。通常镜头光学中心是图像处理的原点,同时,在高精度应用场合它也是透镜径向、切向畸变标定模型的中心。实现镜头光学中心的标定,对某些视觉测量系统,如单摄像

机测头成像视觉坐标测量系统,也即是实现了世界坐标系与摄像机坐标系之间的转化,对一般视觉坐标测量系统,则是实现视觉坐标系和摄像机坐标系之间转化的前提,因此,镜头光学中心的标定,是视觉坐标测量系统中必须进行的参数标定。

镜头光学中心的标定,文献[5]将其归纳为变焦距法、径向准直约束法和直接光学法三类。

2.1 变焦距法

在摄像机透镜系统中,当透镜有效焦距变化时,图像区域将发生变动,但此时,图像区域的中心将稳定不变。若在有效焦距变动时,设所取针孔做沿光轴方向的移动,很显然,此时图像区域中心将处于光轴与图像的焦点上,此点即是成像中心。即用改变有效焦距的方法可以确定镜头的光学中心。用变焦距法标定镜头光学中心时,其标定精度是三类方法中最低的,标定偏差最大可达 28 像素,重复性为 ± 20 像素^[5],故此方法一般只用于透镜光学中心的粗略估计。

2.2 径向准直法

图 1 中 $P(x_w, y_w, z_w)$ 是 P 点在世界坐标系 $x_w y_w z_w$ 中的坐标, $P(x, y, z)$ 是 P 点在摄像机坐标系 xyz 中的坐标, (Y_d, Z_d) 是 P 点在 CCD 像面坐标系 $YO_i Z$ 中实际成像位置坐标, OO_i 为摄像机的有效焦距, (Y_u, Z_u) 是 P 点在 CCD 像面上的理想成像位置, (Y_f, Z_f) 是 P 点在计算机坐标系 $Y_f O_f Z_f$ 中的图像采集坐标。

径向准直条件是指当成像中心确定无误差时,图1中 (y, z) 、 (Y_u, Z_u) 和 (Y_d, Z_d) 沿径向共线。这一条件的成立与透镜畸变、有效焦距等有关。径向准直条件代数方程表示如下:

$$(y, z) \quad (Y_u, Z_u) \quad (Y_d, Z_d) = (Y, Z)$$

对于标定点 $P_i(x_{wi}, y_{wi}, z_{wi})$, 根据空间坐标变换和成像关系, 可将径向约束条件方程进一步表示如下^[5]:

$$Y_i x_{wi} r_1 + Y_i y_{wi} r_2 + Y_i z_{wi} r_3 - X_i x_{wi} r_4 - X_i y_{wi} r_5 - X_i z_{wi} r_6 = 0$$

取大于 5 个标定点 P_i , 则可通过非线性求解部分参数, 然后通过非线性迭代方法求解径向畸变系数 k_1 、有效焦距 f 、平移矩阵中 T_z 以及畸变中心 (C_y, C_z) 。

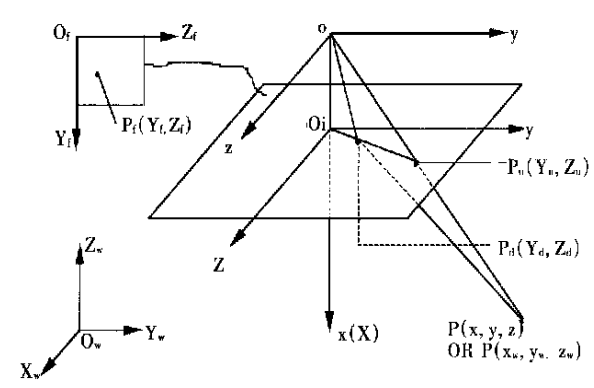


Fig. 1 Camera calibration model

2.3 直接光学法

根据文献[5]报导, 这一标定方法精度很高,

重复性很好, 其重复性为 ± 3 像素, 文献[5]没有给出这一方法标定偏差值的数据, 但该文给出的前两种法的镜头光学中心的标定偏差值都是相对以直接光学法的标定结果作为标准的偏差值。目前国内还没有采用直接光学法进行镜头成像中心标定的报道。本文结合研究课题的需要, 实现了采用直接光学法镜头光学中心的标定, 并取得了满意的结果。

3 直接光学法镜头光学中心的标定

3.1 实验设备及标定原理

实验设备主要有 JJX-2 型双频激光器及其支架, 二维精密工作台, 升降台, MTV-1881EX 型 CCD 摄像机, 镜头焦距 $f = 8.125\text{mm}$, CCD 相面尺寸约为 $6.4\text{mm} \times 4.8\text{mm}$, 一个像素尺寸约为 $8\mu\text{m} \times 8\mu\text{m}$ 。图像采集卡为 MPE-1000, 采集灰度精度为 $\pm 1/256$, 点扰动 (pixel jitter) $< 10\text{ns}$, 图像采集尺寸为 $768(\text{v}) \times 576(\text{H}) \text{ pixel}$, 标定时计算机读取图像左上角起 $640(\text{v}) \times 480(\text{H}) \text{ pixel}$ 。

目前许多摄像机的标定方法都是秉承了这一思想^[6], 文献[5]给出这一方法与直接光学法标定畸变中心相比, 其平均偏差为 $4 \sim 8$ 像素。

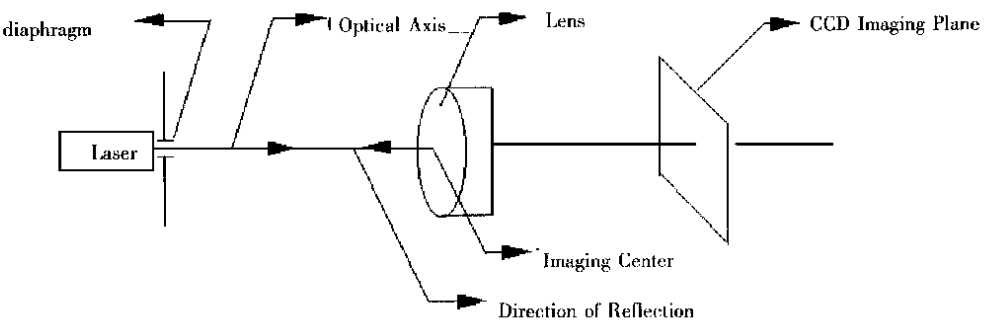


Fig. 2 Direct optical method

标定原理如图2。当激光束射向镜头表面, 大部分光束透过镜头, 部分光束由镜头各表面反射, 当激光束与镜头光轴不同轴时, 在激光束出射光阑面上可观察到由反射光束形成的许多个亮度不同的分布在光阑面上的不同位置的干涉光斑(见

图3)。此时调整激光束相对于镜头的位置, 到所有的反射干涉光斑均与激光束出射光阑重合时, 表明此时激光束与镜头轴线同轴, 此时打开摄像机, 激光束在 CCD 像面上的像点(见图4)即为镜头光学成像中心。需要特别指出的是, 必须特别仔

细地观察, 耐心地调整, 尽可能将所有的干涉光斑, 包括某些不易觉察的非常暗淡的光斑, 都要调整到与激光束出射光阑重合, 否则对镜头光学中心的标定偏差值及其重复性有很大影响。

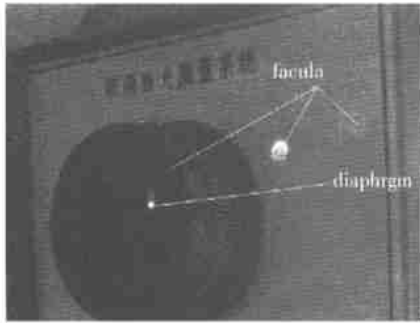


Fig. 3 Interference phenomenon

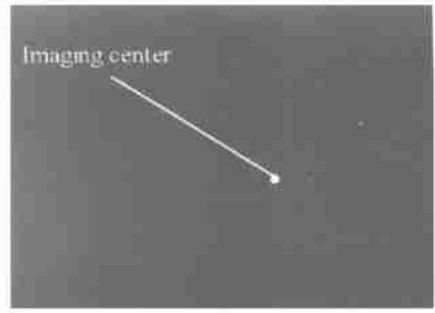


Fig. 4 Imaging center of CCD

3.2 实验结果

实验结果如表 1 所示, 四组实验, 每组测 10 次, 每次的标定结果都是在打乱激光器与摄像机的相对位置后重新调整得到的。由四组标定结果得光学成像中心坐标平均像素位置为(400.705, 197.258), 成像中心坐标平均值分散 $< 0.3\text{pixel}$, 标准差 $< 0.35\text{pixel}$ 。由表中的 σ_y 、 σ_z 值可得标定成像中心重复性(3σ) $< 1.4\text{pixel}$ 。

Table 1 Calibration experiment of the distortion imaging center (pixel)

Groups	I	II	III	IV
Test value of ten groups (Y, Z)	1 (400.96, 197.06)	(400.93, 197.26)	(400.42, 197.20)	(401.01, 197.25)
	2 (400.62, 197.85)	(400.48, 197.11)	(400.48, 197.55)	(400.53, 197.38)
	3 (400.51, 196.79)	(400.91, 197.10)	(400.76, 197.46)	(400.50, 197.80)
	4 (400.29, 197.58)	(400.58, 197.47)	(400.42, 196.96)	(400.75, 197.42)
	5 (401.05, 196.92)	(400.38, 197.05)	(400.54, 197.28)	(401.04, 196.72)
	6 (400.71, 197.63)	(401.07, 197.26)	(400.56, 197.70)	(401.00, 196.99)
	7 (401.06, 197.12)	(400.50, 197.58)	(400.51, 196.87)	(400.96, 197.14)
	8 (400.83, 197.19)	(400.29, 197.17)	(400.55, 197.66)	(401.03, 197.52)
	9 (400.72, 197.61)	(400.97, 196.84)	(400.62, 196.96)	(400.58, 197.47)
	10 (400.93, 197.32)	(400.67, 196.82)	(400.45, 196.95)	(400.98, 197.33)
Average(Y, Z)	(400.77, 197.31)	(400.68, 197.16)	(400.53, 197.26)	(400.84, 197.30)
Stand. errors σ_y	0.2481	0.2740	0.103	0.224
	σ_z	0.3483	0.2423	0.318

4 结 论

(1) 直接光学法原理简明, 可用于对镜头成像中心直接进行标定, 而与其他标定参数无关。实验表明, 该方法标定精度高, 重复性好, 是一种可行

的标定镜头光学中心的方法, 标定结果在实际系统中使用良好。

(2) 所有反射干涉光斑是否与激光束出射光阑重合, 是标定精度的决定因素, 因此熟练的实验技巧及细致、耐心的调整是本方法成功与否的关键。

参考文献:

- [1] Bosch John A. Coordinate Measuring Machines and Systems[M]. Hongkong: Marcel Dekker Inc, 1995. 76- 79.
- [2] 张之江, 车仁生, 等. 仿生计量学的新领域——视觉坐标测量机[J]. 宇航计测技术, 1998, 18(4): 19- 23.
- [3] Weng Juyang, Cohen Paul, Herniou Marc. Camera calibration with distortion models and accuracy evaluation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1992, 14(10): 965- 980.
- [4] Shah Shishir, Aggearwal J K. Intrinsic parameter calibration procedure for a (high-distortion) fish-eye lens camera with distortion model and accuracy estimation[J]. Pattern Recognition, 1996, 19(11): 1775- 1788.

- [5] Lenz Reimar K, Tsai Ronger Y. Techniques for calibration of the scale factor and image center for high accuracy 3D machine vision metrology[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1988, 10(5): 713–720.
- [6] Weng Juyang, Cohen Paul, Herniou Marc. Camera calibration with distortion models and accuracy evaluation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1992, 14(10): 965–980.

Direct optical method for calibrating the optical center in vision coordinate measurement

ZHANG Zhi-jiang¹, CHE Ren-sheng²

(1. *Department of Communication Engineering, School of Communication,
Shanghai University, Shanghai 200071, China;*

2. Department of Measurement & Control Instrumentation,

School of Computer and Electric Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: The paper introduces the methods for calibrating the optical center in vision coordinate measurement – the method of varying focal length, radial alignment method and direct optical method, and compares their characteristics. It describes the principle and calibrating procedures of direct optical method in details and makes some experiments. The results show that direct optical method has the virtues of high accuracy and good repeatability. The experiments also indicate that the calibrating procedures is feasible.

Key words: vision coordinate measurement; optical center; calibration

作者简介: 张之江(1968–), 男, 上海市青浦县人, 讲师(博士)。1991年7月毕业于哈尔滨理工大学精密仪器专业, 获工学学士学位, 1996年3月毕业于哈尔滨工业大学精密仪器及机械专业, 获工学硕士学位, 1999年1月毕业于哈尔滨工业大学精密仪器及机械专业, 获工学博士学位。现工作于上海大学通信与信息工程学院。主要研究方向: 视觉坐标测量, 图像处理, 检测技术等, 已发表学术论文18篇, 参编专著一部, 获部级科技进步三等奖一项。