

图像中心点预标定方法研究与应用

张霞¹, 葛芦生²

(1. 安徽工业大学 计算机学院, 安徽 马鞍山 243000;

2. 安徽工业大学 电气学院, 安徽 马鞍山 243000)

摘 要: 在应用视觉测量系统中, 视觉传感器即 CCD 摄像机的标定是必要的步骤。目前大部分标定算法都需要事先给出图像中心点, 文中讨论该参数的求取方法。介绍了目前几种常用的图像中心的标定方法, 有重点地介绍了各种方法的原理和实现流程, 对其实现原理的复杂性、实验仪器的精密性、操作方法的难易度进行了综合比较, 最后给出相应的实验结果及其结论。对各种视觉测量系统及摄像机标定精度要求不同的场合, 可以根据其实验条件及要求选取最合适的方法进行图像中心点的求取。

关键词: 摄像机标定; 特征点; 图像中心点

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2007)03-0044-04

Application and Research on Pre-Calibration of Image Center

ZHANG Xia¹, GE Lu-sheng²

(1. School of Computer Science, Anhui University of Technology, Maanshan 243000, China;

2. School of Electric Engineering & Information, Anhui University of Technology, Maanshan 243000, China)

Abstract: Calibration is a necessary step before applying photics sensor in measurement system. Recently most methods of camera calibration need to take the image center as a known parameter ahead. This paper discussed several common methods to get the parameter, and introduced theories and how to implement them emphasized their principles and realization flow, compared comprehensively the complexity of the principle, the precision of experiment instrument, the degree of difficulty of the operation methods, finally gave the results and conclusion. In terms of diverse vision measurement systems and CCD camera calibration occasions requiring different precision, regarding to the experiment condition and requirement, can choose a most feasible method to get the image center.

Key words: camera calibration; feature point; image center

0 引言

摄像机参数的正确标定, 是视觉测量系统实现准确测量的前提。摄像机参数标定分为内部和外部参数标定, 内部参数标定包括摄像机镜头光学中心(成像中心也即图像中心点)、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。按照“两步”标定法的思路, 图像中心是将图像坐标转换为实际图像坐标的必备参数之一, 是其他所有参数标定的前提。文中就摄像机镜头中心即图像中心的标定进行讨论。

1 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。目前对镜头光学中心的标定, 可分为直接光学法、变焦距法、径向准直约束法和基于延伸焦点(FOE)的解法^[1]。

1.1 直接光学法

直接光学方法原理非常简单, 其标定独立于任何其它参数。该标定方法精度较高, 重复性好^[1], 但要求较高精度的精密仪器(四个自由度的激光光源等)和操作技巧, 适用于高精度测量场合。当一束激光射向镜头时, 它在进入和离开透镜表面处都会发生反射, 在透镜内部也会发生多次反射, 这些反射可以通过其在镜

收稿日期: 2006-05-27

基金项目: 安徽省教育厅资助项目(2004Jq130)

作者简介: 张霞(1982-), 女, 安徽宿松县人, 硕士研究生, 研究方向为图像处理、计算机视觉等; 葛芦生, 博士, 教授, 研究方向为计算机视觉、人工智能等。

头前面的一张纸上的光点观察到,这张纸上预先为最初的那束激光留一个小孔。调节激光光源相对于镜头的方位,可以使所有的反射光与最初的激光束重合,这时激光束与光轴重合,然后在光路上放置衰减滤波器,打开摄像机,观测到光点中心即可作为图像中心^[1]。

1.2 径向准直方法

这是一种基于径向准直约束和等比不变性的求解方法。由于光学镜头的辐射畸变将引起像点在像平面上的偏移,根据辐射畸变^[2]的性质可知,由此引起的位移只能位于光心和像点的连线方向上。图1示出了畸变引起的位移方向。图2中,设空间有任意直线 L ,其上有4个点 A_1, A_2, A_3, A_4 , S 为投影中心,在理想小孔成像模型下,这4个点分别成像于影像平面 Ω 中的 p'_1, p'_2, p'_3, p'_4 。这4个像点共线于 L 在像平面上的投影直线 l 。由于辐射原因,这4个像点的实际位置发生了偏移。其偏移方向按照径向准直约束,一定位于 p'_i 和光心 O 的连线上,分别记为 p_1, p_2, p_3, p_4 。由几何原理可知,相交于一点的4条共平面直线与该平面内任意直线相交,其交点若依次记为 $A_i (i = 1, 2, 3, 4)$, 则有下列比例不变性:

$$\frac{A_1 A_3 \cdot A_2 A_4}{A_1 A_2 \cdot A_3 A_4} = \frac{\sin \theta_{13} \cdot \sin \theta_{24}}{\sin \theta_{12} \cdot \sin \theta_{34}} = c \quad (1)$$

其中 c 为常数。

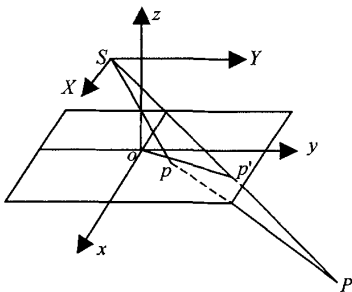


图1 径向准直约束

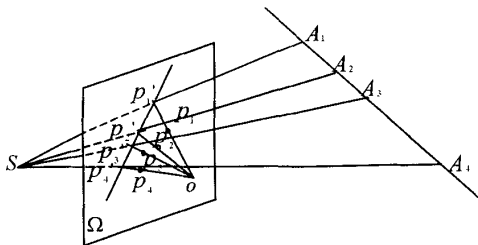


图2 径向畸变的投影不变性

图2所示的成像几何,对于空间直线 L 上的各点 $A_i (i = 1, 2, 3, 4)$ 和对于直线 l 上的各理想像点 p'_i ,都必须满足式(1)。所以下式成立:

$$\frac{A_1 A_3 \cdot A_2 A_4}{A_1 A_2 \cdot A_3 A_4} = \frac{p'_1 p'_3 \cdot p'_2 p'_4}{p'_1 p'_2 \cdot p'_3 p'_4} = c \quad (2)$$

在像平面 Ω 内,由于 p'_i 点同时位于直线 l 和 op'_i 的辐射线上,它们在平面 Ω 内也应该满足定理,所以式(1)的中间项的各角度可以利用 Ω 平面内 op'_i 的方向表达。又因为 op_i 和 op'_i 方向相同,则式(1)中的角度项可以用 op_i 各线的夹角计算,且有:

$$\sin \theta_{ij} = |op_i \times op_j| / \|op_i\| \|op_j\| \quad (3)$$

式中, $\|op\|$ 表示向量 op 的模。

而矢量积

$$|op_i \times op_j| = x_{di} y_{dj} - x_{di} y_{dj} \quad (4)$$

则由定理以及式(3)、(4)可得:

$$\frac{(\sin \theta_{13} \cdot \sin \theta_{24})}{(\sin \theta_{12} \cdot \sin \theta_{34})} = c = \frac{(f_{13} \cdot f_{24})}{(f_{12} \cdot f_{34})} \quad (5)$$

式中,

$$f_{ij} = (x_j - c_x)(y_i - c_y) - (x_i - c_x)(y_j - c_y) \quad (6)$$

式(5)的第二个等式可写为:

$$F = cf_{12}f_{34} - f_{13} \cdot f_{24} = 0 \quad (7)$$

对于确定的空间直线 L 上的各点 $A_i (i = 1, 2, 3, 4)$, c 可由式(1)计算出,其中的 x_i, y_i 是图像坐标。那么式(7)就是关于图像中心坐标(主点) c_x, c_y 的非共线方程式,必须经过线性化后代迭代计算。对式(7)进行线性化处理,可得误差方程式如下:

$$V = c_1 dc_x + c_2 dc_y + l \quad (8)$$

其中, $c_1 = c(f_{34} \nabla y_{21} + f_{12} \nabla y_{43}) - f_{24} \nabla y_{31} - f_{13} \nabla y_{42}$

$c_2 = c(-f_{34} \nabla x_{21} - f_{12} \nabla x_{43}) + f_{24} \nabla x_{31} + f_{13} \nabla x_{42}$

$$l = (cf_{12}f_{34} - f_{13}f_{24}) \quad (9)$$

可以证明由不准确的图像中心造成的景象准直残差是图像中心偏移量的二次函数,从而只有当图像中心偏移量为零时残差才为零。若在物方选择两条以上的直线,则由式(8)和式(9)可列出至少2个误差方程式,即可求关于 dc_x, dc_y 的最小二乘解。对式(9)的偏差进行最小化,所得到的图像中心即为实际的图像中心^[3]。计算过程是一个迭代过程,每次迭代时, l 系数的值由上次求得的参数计算得出。一般情况下, c_x 和 c_y 的初值可选取图像平面的中心像素值。

1.3 基于延伸焦点的解法

当观察者向正前方行进,且视线也正对行进方向时,会感觉到整个场景扑面而来。由于观察者与场景的相对运动而产生的图像瞬时位置速度场的方向来自于观察者正前方的某一点,这一点被称为延伸焦点 $FOE^{[4]}$ (focus of expansion)。根据 FOE 性质可以确定图像主点位置。

如图3所示,在图(a)中,设有一个目标物 AB ,在

表 1 FOE 法实验结果

坐标	交点一	交点二	交点三	交点四	平均值
C_x	387.76	386.52	392.07	384.44	387.698
C_y	294.85	299.31	294.70	296.16	296.255

面模板固定在一个刻度精确的轨道上,标定模板和图像如图 5 所示,使摄像机光轴尽可能垂直平面模板,在摄像机的有效焦距范围内通过调节摄像机镜头光圈,使图像清晰,焦距为 f 时采集图像 1,调节光圈,改变焦距到 f' ,得到图像 2,通过图像处理,得到图像上相应特征点(各圆的圆心)的像素坐标,采集到的数据经过计算和最小二乘法拟合,解得图像中心坐标(c_x , c_y)。利用最小二乘法,得出图像中心坐标为(393, 391, 279.688)。计算结果综合比较如表 2 所示。

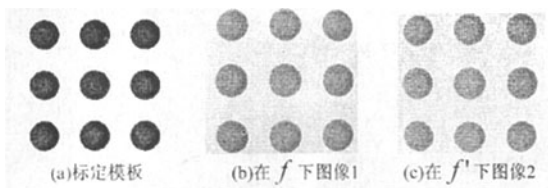


图 5 验证实验模板及图像

表 2 各种方法综合比较

坐标	径向准直法	求 FOE 法	变焦距法	线性模型标定分解	图像帧存中心
C_x	398.356	387.698	393.391	375.619	383.5
C_y	302.875	296.255	279.688	299.397	287.5

(上接第 22 页)

——将DllImportAttribute 属性应用于托管代码中的静态函数或方法,并用托管数据类型替换非托管数据类型。常用类型转换见表 1。

表 1 常用类型转换表

非托管类型	托管类名	说明
BStr	System. String	8 位
Bool	System. Boolean	32 位
.....

示例代码:

```
[DllImport("communication")]
public static extern uintIoControlBOOL(
    uint uiHandle,
    [MarshalAs(UnmanagedType.BStr)]string strCmd,
    [MarshalAs(UnmanagedType.Bool)]ref bool VARIANT_BOOL);
```

在这里,由于 uint 类型在托管和非托管代码中具有同样的表示形式,无须进行显式封送处理。而对于 System. String 和 System. Boolean,则需要进行 Interop 封送处理,并遵循转换规则进行操作。

3 总 结

文中讨论的各种方法中,直接光学方法原理简单,而且重复性和精度最好,但由于其实验设备和条件相对苛刻,在精度要求很高的视觉测量场合中才用到。径向准直约束法的精度也较高,但是方法原理比较复杂,限制相对较多,计算也比较复杂,该解法一般仅使用大畸变镜头的情况。由于它是一种基于径向准直约束和等比不变性的方法,若畸变很小或没有畸变时,解算过程可能不稳定。变焦距法和求延伸焦点(FOE)法原理相对简单,操作容易,实验条件要求不高,精度相对较低,对于一般测量场合值得推广。

参考文献:

[1] Lenz R K, Tsai R Y. Techniques for Calibration of the Scale Factor and Image Center for High Accuracy 3 - D Machine Vision Metrology[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1988, 10(5): 713 - 720.

[2] 苏小华,赵继广,张慧星. CCD 摄像机成像畸变的研究[J]. 物理实验, 2003, 23(9): 64 - 68.

[3] 周士侃,邢 渊. 用于反求工程的 CCD 摄像机图像中心、比例因子的标定[J]. 计量与测试技术, 2004(6): 29 - 36.

[4] 李德仁,王新华. CCD 阵列相机的几何标定[J]. 武汉测绘科技大学学报, 1997, 22(4): 70 - 76.

[5] 郑南宁. 计算机视觉与模式识别[M]. 北京:国防工业出版社, 1998: 26 - 27

6 结 论

随着 Radio 的应用领域的扩大,对 Radio 的复杂参数进行配置,特别是批量配置,成为业界研究热点。在 Radio 配置系统 CPS 中充分利用 Pinvoke 技术(Interop),在 C# 工程中重用成熟的 C++ 代码,不仅能减少重复劳动,提高软件生产率,缩短开发周期,而且能有效提高软件系统的质量。

参考文献:

[1] 周 毅,邵 晖,金 玮. 基于虚拟仪器的车载收音机在线测试系统[J]. 计算机测量与控制, 2004(12): 1159 - 1161.

[2] 刘 鑫. 中国 CompactPCI/PXI 技术发展与应用[J]. 测控技术, 2004, 23(6): 4 - 7.

[3] 黄瑾婷. Windows 监控程序的核心编程原理及设计方法[J]. 微机发展, 2004, 14(11): 87 - 89.

[4] Stevens A I, Walnum C. 标准 C++ 宝典[M]. 北京:电子工业出版社, 2001.

[5] 胡智文,陈国龙. 在 Visual Studio. NET 中有效利用 Windows API 资源[J]. 计算机工程与应用, 2004(12): 108 - 111.