

doi:10.16055/j.issn.1672-058X.2015.0003.009

基于正交消影点的摄像机标定方法*

陈旭,付胜楠,崔晓静

(云南大学 旅游文化学院信息科学与技术系,云南 丽江 674100)

摘要:利用 3 个正交方向的消影点在图像平面上提供的几何关系,首先计算出主点坐标,然后根据正交方向上的消影点与消影线对绝对二次曲线的像的约束方程,计算出其余参数;方法原理简单,只需要一幅图像就可实现摄像机内参数的求解;结果表明,方法具有较高的精度和较好的稳定性。

关键词:摄像机标定;消影点;主点坐标;自极三角形

中图分类号:TP391

文献标志码:A

文章编号:1672-058X(2015)03-0042-05

摄像机是三维(3D)世界和二维(2D)图像之间的一种映射。摄像机标定是从 2D 图像获取 3D 几何信息的基本要求,是完成许多视觉工作中不可缺少的步骤^[1]。摄像机标定是指建立摄像机图像像素位置与场景点位置之间的关系,其途径是根据摄像机模型,由已知标定点的图像坐标和世界坐标求解摄像机的模参数^[2]。摄像机标定方法主要分为传统标定方法、基于主动视觉的标定方法和自标定方法。传统的摄像机标定方法虽然可以获得较高的精度,但是标定块制作困难,不便于操作;基于主动视觉的标定方法,虽然算法简单,但是需要比较精密的仪器来控制摄像机的运动;摄像机自标定方法是利用摄像机内参数自身存在的与场景和摄像机的运动无关的约束,来实现摄像机内参数的求解,较前两种方法更为灵活^[3]。

针对摄像机的畸变因子为零且像素是正方形的情形,通过图像中提供的 3 个正交方向的消影点,利用几何关系求出主点坐标,进而再通过正交方向上的消影点和消影线对绝对二次曲线的像的约束方程,解出另一个参数。对于所需的图像信息主要采用边缘检测算法^[4]获得。标定方法操作简单,利用一幅图像就可以解出所需的摄像机参数。

1 基本原理

1.1 摄像机模型

令 $\tilde{X} = [X, Y, Z, 1]^T$ 为空间 3D 点的齐次坐标, $x = [u, v, 1]^T$ 为 \tilde{X} 在图像平面上的齐次坐标。摄像机采用针孔模型(图 1),那么空间点 \tilde{X} 与图像点 x 之间的射影关系为

$$\lambda x = P \tilde{X} = K [Rt] \tilde{X} \quad (1)$$

其中, λ 为任意的非零尺度因子, P 称为摄像机矩阵, 旋转矩阵和平移向量 (R, t) 称为摄像机的外参数, K 称为摄像机的内参数矩阵, 定义为

收稿日期:2014-08-02;修回日期:2014-08-31.

* 基金项目:云南省教育厅科学研究基金理工类重点项目(2012Z143C);云南省教育厅科学研究基金一般项目(2013Y167).

作者简介:陈旭(1986-),男,河南信阳人,硕士,讲师,从事计算机视觉研究.

$$K = \begin{bmatrix} f_u & s & u_0 \\ 0 & f_v & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中 (u_0, v_0) 为摄像机主点 p 的坐标, f_u, f_v 为图像上 u 轴和 v 轴上的尺度因子, s 为畸变因子。摄像机标定的任务就是求出 K 中的每一个参数。对大多数标准摄像机来说, 其畸变因子 $s=0$, 如果假定摄像机像素是正方形或其长宽比已知, 即 $f_u=f_v$, 则摄像机内参数矩阵可简化为^[3]

$$K = \begin{bmatrix} f & 0 & u_0 \\ 0 & f & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

绝对二次曲线的像(简称 IAC)是二次曲线

$$\omega = K^{-T} K^{-1} \quad (4)$$

绝对二次曲线的对偶图像(简称 DIAC)为 $\omega^* = \omega^{-1} = K K^T$ 。通过 IAC 或 DIAC 求出摄像机的内参数矩阵是摄像机自标定的基础^[1]。

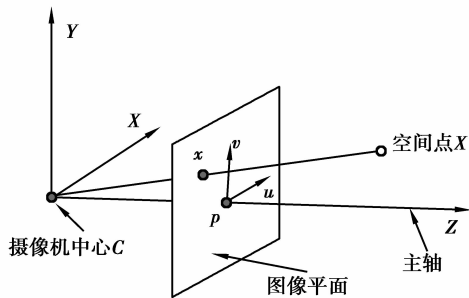


图 1 针孔摄像机几何

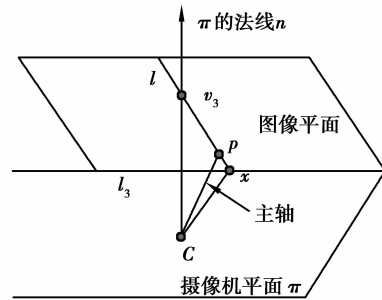


图 2 摄像机中心在图像平面上的位置

1.2 3 个正交方向上的消影点及几何关系

假设摄像机畸变因子为零且图像是正方形像素(如无特别说明均为此假设)。如图 2 所示, 过摄像机中心 C 的平面 π 与图像平面相交于消影线 l_3 , 平面 π 的法线 n 与主轴所定义的平面与图像平面相交于直线 l , 由几何关系可知 $l \perp l_3$, 则交点 v_3 是法线 n 的消影点, 且摄像机主点 p 一定在直线 l 上^[5]。

一张平面的法线方向的消影点 v 可按公式 $v = \omega^* l$ 由平面的消影线 l 获得^[6]; 反之有

$$l = \omega v \quad (5)$$

如图 3 所示, 点 v_1, v_2, v_3 是由空间上的一个长方体提供的 3 个正交方向产生的 3 个消影点, 其中点 p 是 $\Delta v_1 v_2 v_3$ 的垂心, 则在图像上 v_1 与 l_1, v_2 与 l_2, v_3 与 l_3 相互垂直, 且 $\Delta v_1 v_2 v_3$ 是关于 ω 的自极线三角形^[7]。根据上面结论得出摄像机主点为 $\Delta v_1 v_2 v_3$ 的垂心, 即点 p 。

1.3 摄像机主点坐标及参数 f 的计算方法

如图 3 所示, $v_1 A, v_2 B, v_3 C$ 分别为 $\Delta v_1 v_2 v_3$ 的高, 若已知 v_1, v_2, v_3 各顶点的坐标, 通过几何关系, A, B, C 3 点的坐标可表示为

$$A = v_2 + \left(\frac{v_2 v_1 \cdot v_2 v_3}{\|v_2 v_3\|^2} \right) v_2 v_3, B = v_1 + \left(\frac{v_1 v_2 \cdot v_1 v_3}{\|v_1 v_3\|^2} \right) v_1 v_3, C = v_1 + \left(\frac{v_1 v_3 \cdot v_1 v_2}{\|v_1 v_2\|^2} \right) v_1 v_2 \quad (6)$$

在利用直角三角形的性质, 可以得到垂心即主点 p 的表示^[8]

$$p = v_1 + \left(\frac{v_1 v_2 \cdot v_1 C}{\|v_1 A\|^2} \right) v_1 A \quad (7)$$

再由式(3)、(4)可得

$$\omega = \mathbf{K}^{-\text{T}} \mathbf{K}^{-1} = \frac{1}{f^2} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -u_0 \\ 0 & 1 & -v_0 \\ -u_0 & -v_0 & u_0^2 + v_0^2 + f^2 \end{bmatrix} \quad (8)$$

若求出主点 p 的坐标,则 (u_0, v_0) 已知。然后通过式(5)可计算出参数 f 的值,其中可选取 $v=v_1$,则 $l=l_1, l_1=v_2 \times v_3$ 。

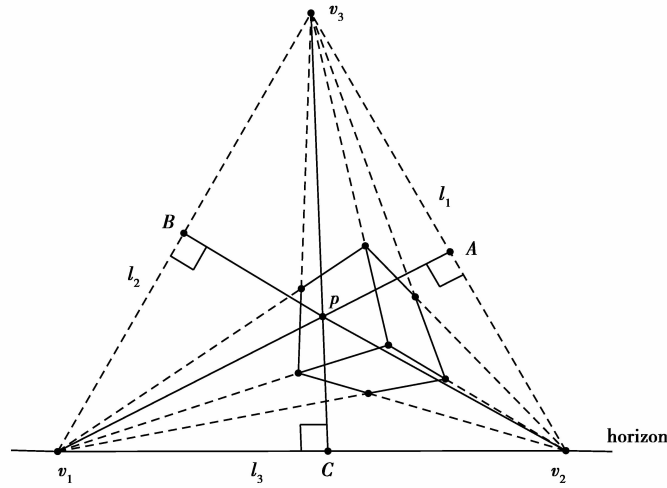


图 3 三个正交方向上的消影点

2 算法步骤

Sept 1: 制作一个长方体,用需要标定的摄像机拍摄出效果较好的图像,用于标定;

Sept 2: 采用 Hough 变换检测出图像中所能看到的长方体的各边,通过直线计算出三个正交方向的消影点 v_1, v_2, v_3 ;

Sept 3: 根据式(6)和(7)计算出主点坐标 (u_0, v_0) ;

Sept 4: 选取一个消影线及对边,根据式(5)计算出参数 f 。

3 实验

3.1 模拟数据实验

采用一个长方体作为标定物体来模拟验证算法的有效性。摄像机的内参数设置为 $\mathbf{K}=[900,0,500;0,900,360;0,0,1]$,图像的分辨率为 768×1024 像素。在模拟实验中,每条直线上均匀分布着 50 个数据点,并在图像相应的投影点上分别加上均值为 0,方差为 σ (噪声水平)的高斯噪声。对每个 σ 值分别进行 100 次独立实验,再求其平均值。图 4 显示了所设定的 3 个摄像机内参数的绝对误差在不同的噪声水平下的变化曲线。从图 4 可以看出,随着实验噪声的增加,3 个参数误差几乎是线性变化的,结果相对稳定,在较大的噪声条件下,仍然能够获得较好的实验结果。

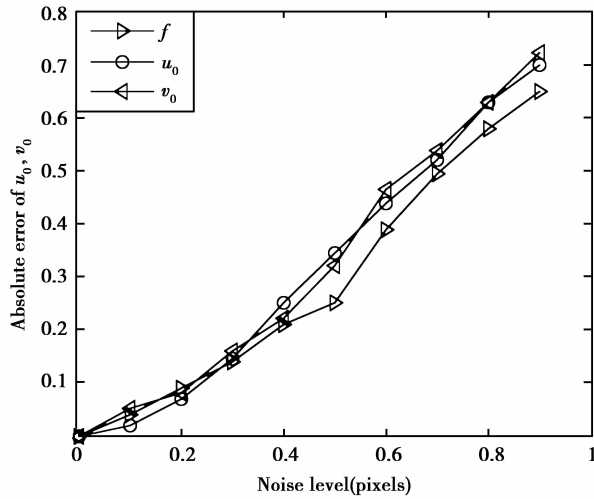
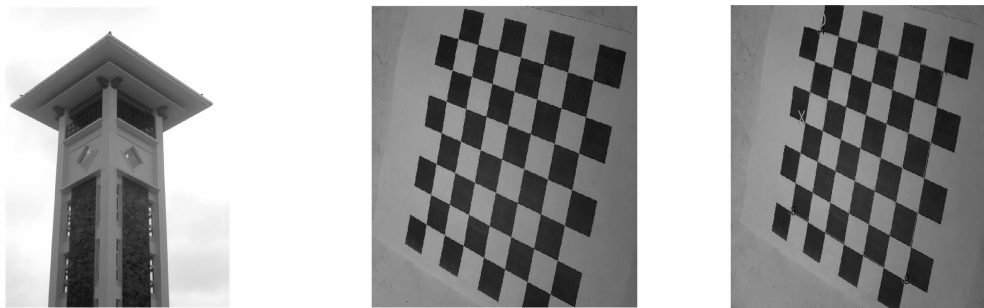


图 4 3 个摄像机内参数的绝对误差在不同的噪声水平下的变化曲线

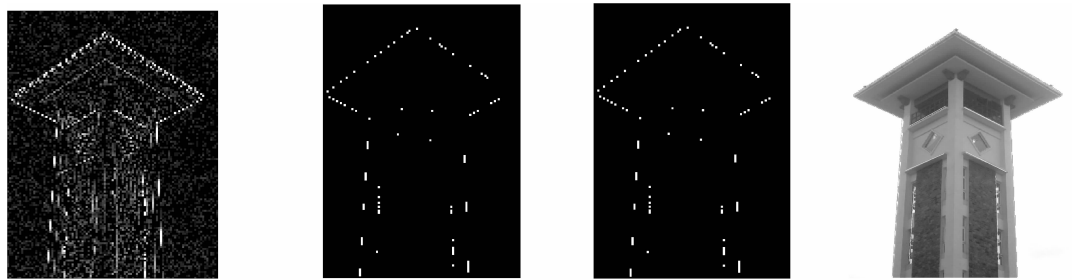
3.2 真实图像实验

为了验证算法的有效性,用 CCD 数码相机拍摄一幅真实场景的图像(图 5(a)),图像大小为 1 024×840 个像素。利用所给定的算法步骤进行操作,首先用 Hough 变换提取图像中的直线(图 6(d)),然后根据直线交点计算出 3 个正交方向的消影点,再根据式(6)、(7)计算出主点坐标,最后求出 f 完成 3 参数标定任务,所求参数见表 1。作为比较,对文献[9]的标定方法也进行了实现(图 5(b)(c))。从实验结果来看,两种方法标定结果基本上是相近的,只是文献[9]的方法内参数矩阵为式(2)。



(a) 用于文中方法的一幅真实图像 (b) 用于文献 [6] 方法的其中一幅图像 (c) 角点提取

图 5 真实场景图像



(a) 提取图像边缘 (b) 均值滤波处理 (c) 二值化处理 (d) 直线拟合

图 6 Hough 变换直线提取

表 1 两种方法的标定结果

	f_u	f_v	s	u_0	v_0
方法	692.699 0	692.699 0	0	305.270 3	228.400 2
文献[9]方法	692.717 9	691.836 4	-0.015 0	305.561 1	228.880 1

4 结 论

针对摄像机畸变因子为零和图像坐标在两个轴向上有等尺度的欧式坐标的情形,利用图像上的几何信息,线性求解出摄像机的 3 个参数。方法简单,便于操作,只用一幅图像就可以完成标定,并能获得较高的精度。

参考文献:

- [1] 马尔(D. Marr). 视觉计算理论[M]. 北京: 科学出版社, 1998
- [2] 刘婵楨. 关于机器人足球视觉系统中场地标定方法综述[J]. 重庆工商大学学报: 自然科学版, 2011, 28(3): 268-270
- [3] 孟晓桥, 胡占义. 摄像机自标定方法的研究与进展[J]. 自动化学报, 2003, 29(1): 110-124
- [4] 潘花. 一种基于模糊理论的图像边缘检测算法[J]. 重庆工商大学学报: 自然科学版, 2013, 30(7): 53-56
- [5] HARTLEY R, ZISSERMAN A. 计算机视觉中的多视图几何[M]. 合肥: 安徽大学出版社, 2002
- [6] 吴福朝. 计算机视觉中的数学方法[M]. 北京: 科学出版社, 2008
- [7] CAPRILE B, TORRE V. Using Vanishing Ppoints for Camera Calibration[J]. International Journal of Computer Vision, 1990, (4): 127-140
- [8] JUSTIN J, JAREK R. Determination of the Correct Eye Position for Viewing Perspective Images of 3D Scenes[R]. 2001
- [9] ZHANG Z. A Flexible New Technique for Camera Calibration[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22 (11): 1330-1334
- [10] 王磊, 李超, 胡春喜. 一种多功能通用异步串行 VART 接口的设计与实现[J]. 四川兵工学报, 2014, 35(12): 101-105

Camera Calibration Method Based on Orthogonal Vanishing Points

CHEN Xu, FU Sheng-nan, CUI Xiao-jing

(Tourism and Culture College of Yunnan University, Lijiang 674100, China)

Abstract: Making use of the geometry relation of three orthogonal vanishing points, first the coordinates of principal point is computed. According to the constraint equation of the image of absolute conic provided by the vanishing point and vanishing line in orthogonal directions, the remaining parameters are calculated. The method is easy to use and only one image can calculate the camera intrinsic parameters. The experiment results show that this approach is effective and precise.

Key words: camera calibration; vanishing point; the coordinates of principal point; self-polar triangle