

文章编号:1007-1180(2011)06-0048-04

确定 CCD 相机标定点个数的方法

王 凯

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘 要: 针对带有径向畸变的单摄像机针孔成像数学模型, 提出了确定标定点个数的方法。利用忽略切向畸变的径向一致约束推出线性方程式, 应用最小二乘法求得线性方程式的系数。通过不断增加标定点的个数, 得到系数的一系列解; 观察系数解的变化是否稳定, 从而判断所用标定点个数是否足够。

关键词: 相机标定; 标定点; 镜头畸变

中图分类号: TP391

文献标识码: A

DOI: 10.3788/OMEI20112806.0048

Number Confirming of CCD Camera Calibration Plot

WANG Kai

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences,
Changchun 130033, China)

Abstract: A simple method for confirming the number of camera calibration plots was proposed in terms of the mathematics model of the pin-hole single camera with radial distortion. The linear equation was obtained by using the radial alignment constraint, and the coefficients of the linear equation was solved. A series of values of the coefficients were achieved by increasing the number of the camera calibration plots. At last, we judged whether the number was enough through observing whether the values of the coefficients was stable.

Keywords: camera calibration; camera calibration plot; lens distortion

1 引 言

CCD 摄像机作为一种视觉检测的工具, 其应用

越来越普遍, 对摄像机的标定是视觉检测时从二维图像获取三维信息的前提和基础。摄像机标定的目的就是建立起世界坐标点与图像对应点之间的数学

模型并确定模型参数。

目前,带有径向畸变的针孔成像模型是常用的摄像机标定模型,该模型参数的求解有多种方法^[1],其中Tsai^[1]的两步法最具有代表性。但是,在众多论文中并没有提出标定点个确定的方法。本文先用径向一致约束得到一组线性方程,其系数是模型参数的函数;然后不断增加标定点的个数得到系数的一系列值,达到稳定时,即为合适的标定点个。

2 标定模型及参数求解

2.1 标定模型

图1为考虑一阶径向畸变的单摄像机针孔成像模型。其中 $O_w X_w Y_w Z_w$ 是世界坐标系; $oxyz$ 是以镜头光心 O 为原点的相机坐标系; z 轴与镜头光轴一致; $O_1 XY$ 是以光心 O_1 (光轴与成像平面的交点)为原点的图像物理坐标系, X, Y 轴分别平行于 x, y 轴。 (X_u, Y_u) 表示世界坐标点的理想图像物理坐标, (X_d, Y_d) 表示考虑一阶径向畸变的场景点的实际图像物理坐标,单位为mm;

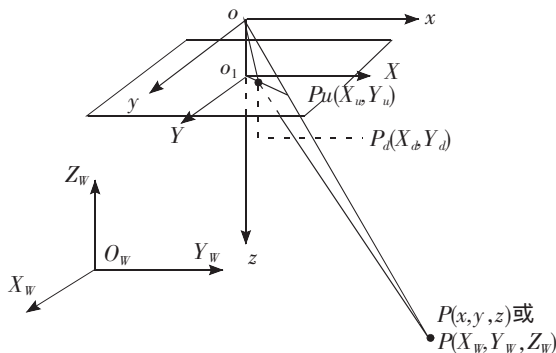


图1 针孔成像模型

2.2 坐标变换

摄像机坐标系和世界坐标系的关系为:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \mathbf{R} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix} + \mathbf{T} \quad (1)$$

其中, \mathbf{R} 为旋转正交矩阵, \mathbf{T} 为平移向量:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ r_4 & r_5 & r_6 \\ r_7 & r_8 & r_9 \end{bmatrix} \quad \mathbf{T} = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix}$$

物点从3D相机坐标变换到图像物理坐标,遵循针孔成像模型,其方程为:

$$X_u = f \frac{x}{z} \quad Y_u = f \frac{y}{z} \quad (2)$$

f 是光心到成像平面的距离。

考虑一阶径向畸变^[1]:

$$X_u = X_d(1 + k_1 r^2) \quad Y_u = Y_d(1 + k_1 r^2)$$

k_1 为一阶畸变系数, $r = \sqrt{X_d^2 + Y_d^2}$ 。

将图像物理坐标转换到像素坐标:

$$X_f = s_x d_x^{-1} X_d + C_x \quad Y_f = d_y^{-1} Y_d + C_y \quad (3)$$

(X_f, Y_f) 表示场景点在像素坐标系(计算机帧存坐标系)下的坐标,以像素为单位; (C_x, C_y) 为实际光心在图像像素坐标系下的坐标^[2]; s_x 为相机扫描和采集间的同步误差引起的不确定的比例因子; d_x, d_y 分别为 x, y 方向相邻感光单元间的物理距离。

由径向一致约束得到如下方程:

$$\frac{x}{z} = \frac{X_u}{Y_u} = \frac{X_d}{Y_d} \quad (4)$$

2.3 线性方程及系数

联合(1)(2)(3)(4)式,并考虑 $d_x = d_y$ 可以得到^[3]:

$$X_f = b_0 + b_1 X_w + b_2 Y_w + b_3 Z_w + b_4 X_w X_f + b_5 X_w Y_f + b_6 Y_w X_f + b_7 Y_w Y_f \quad (5)$$

其中:

$$b_0 = C_x - b_3 C_y$$

$$b_1 = -b_4 C_x - b_5 C_y$$

$$b_2 = -b_6 C_x - b_7 C_y$$

$$b_3 = \frac{T_x s_x}{T_y}$$

$$b_4 = -\frac{r_4}{T_y}$$

$$b_5 = -\frac{r_5 s_x}{T_y}$$

$$b_6 = -\frac{r_6}{T_y}$$

$$b_7 = \frac{r_7 s_x}{T_y}$$

将世界坐标系的原点定义在标定板之外,避免 $T_y=0$ 的情况。使标定点数大于待标定系数,则方程(5)是一个超定位线性方程,利用最小二乘方法,取标

定板上大于7个的角点, 可以求解系数 $b_i = (i=0, \dots, 7)$:

$$E = [b_0 \ b_1 \ b_2 \ b_3 \ b_4 \ b_5 \ b_6 \ b_7]^T$$

$$A = [A_1, A_2, \dots, A_n]^T$$

$$A_i = [1 \ X_{wi} \ Y_{wi} \ Y_{fi} \ X_{wi}X_{fi} \ X_{wi}Y_{fi} \ Y_{wi}X_{fi} \ Y_{wi}Y_{fi}]$$

$$B = \begin{bmatrix} X_{f1} \\ X_{f2} \\ \dots \\ X_{fn} \end{bmatrix} \quad B_i = [X_{fi}]$$

式 (5) 变为:

$$AE = B$$

$$E = (A^T A)^{-1} A^T B \quad (6)$$

其中, n 为参与最小二乘的特征点数。不断增加标定点的个数, 求得 b_i 的一系列值。这样, 就可以将 b_i 看成标定点个数的函数, 可以做出函数图像。根据函数图像即可知道当 n 达到什么值时, b_i 相对稳定, 从而确定标定点的个数。

3 实验验证

如图 2 所示, 我们采用真实图像实验来检验我们提出的改进的摄像机标定方法。试验在自然光条件下进行, 摄像机采用 JAI CV-M4+CL 型面阵 CCD, 分辨率为 $1\ 376 \times 1\ 024$, 镜头为 M0814-MP 型 8 mm 定焦工业镜头, 标定板采用激光打印机打出的 $10\ \text{mm} \times 10\ \text{mm}$ 黑白方格型标定板。由于标定的精度与角点检测的精度有关, 本文采用目前应用较多的 Jean-Yves Bouguet 工具箱中的角点检测方法提取图像的角点, 该算法可以使角点检测达到亚像素精度。

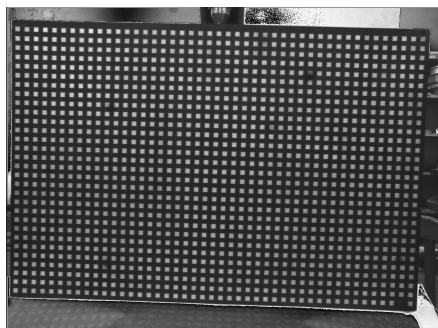


图2 CCD拍摄的模板图像

图 3 即为 b_i 随标定个数 n 变化的函数图像。从后 5 幅图像中可以看出, 若要获得相对稳定的 b_i 值, 至少需要 2 000 个标定点。 b_0, b_1, b_2 的变化图像稳定性比较差, 考虑到它们主要决定了 (C_x, C_y) 的值, 可以做 (C_x, C_y) 随标定个数 n 增加的变化图像, 如图 4。从图中可以看出, 当标定点的个数超过 2 500 个时, (C_x, C_y) 的值也就基本稳定了。所以, 在做摄像机标定试验时, 标定点的个数应该在 2 500 个以上才合理。

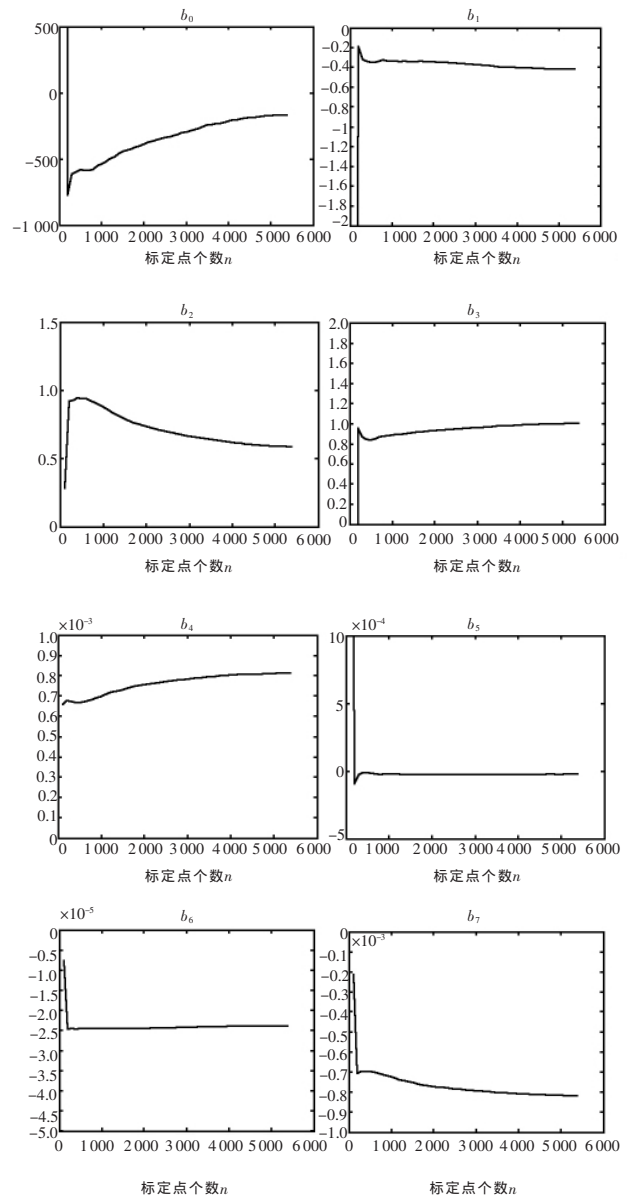


图3 b_i 与随标定个数 n 变化的函数图像

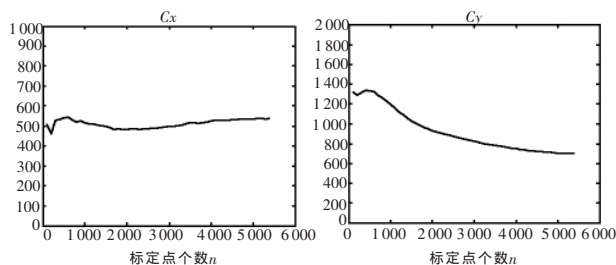


图4 (C_x, C_y) 随标定点数 n 变化的函数图像

4 结 论

基于 Tsai 的径向一致约束, 本文推出了一个可以简单确定标定点个数的方程。根据方程系数和标定点的函数图像, 可以确定在标定试验中采用多少个标定点是合理的。

参考文献

- [1] Tsai R Y. A versatile camera calibration technique for high accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses[J]. *IEEE J Robotics Automat*, 1987, RA-3(4): 323-344.
- [2] 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 Transactiona on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1988, 10(5): 713-720.
- [3] 王凯. CCD 相机的平面标定与应用[D]. 长春: 吉林大学硕士学位论文, 2009.

作者简介: 王凯 (1985-), 男, 汉族, 山东聊城人, 硕士, 助理研究员, 2009年于吉林大学获得硕士学位, 主要从事图像处理、光机结构设计研究。E-mail: calerkai@163.com

《液晶与显示》(双月刊)

《液晶与显示》由中国科学院长春光学精密机械与物理研究所和中国光学光电子行业协会液晶专业分会主办, 科学出版社出版。

- 中国最早创办的液晶学科专业中文核心期刊
- 中国唯一的液晶学科和显示技术领域综合性学术期刊
- 中国光学光电子行业协会液晶分会会刊, 中国物理学会液晶分会会刊
- 英国《科学文摘》(SA)、美国《化学文摘》(CA)、俄罗斯《文摘杂志》(PЖ)、美国《剑桥科学文摘》(CSA)、“中国科技论文统计源期刊”等20余种国内外著名检索刊物和文献数据库来源期刊

《液晶与显示》征集有关液晶和各类显示材料及制备方法、液晶显示、等离子体显示、阴极射线管显示、发光二极管显示、有机电致发光显示、场发射显示、真空荧光显示、电致变色显示及其他显示、各类显示器件物理和制作技术、各类显示新型模式和驱动技术、显示技术应用、显示材料和器件的测试方法与技术等研究论文。《液晶与显示》热忱欢迎广大作者、读者广为利用, 踊跃投稿。同时, 竭诚欢迎社会各界洽谈广告业务、合作组织技术交流与信息发布活动。

《液晶与显示》以研究报告、研究快报、综合评述和产品信息等栏目集中报道国内外液晶学科和显示技术领域最新理论研究、科研成果和创新能力, 及时反映国内外本学科领域及产业信息动态, 是宣传、展示我国该学科领域和产业科技创新实力与硕果, 进行国际交流的平台。其内容丰富, 涵盖面广, 信息量大, 可读性强, 是我国专业期刊发行量最大的刊物之一。

网址: <http://www.yjyxs.com> 欢迎访问!