

鱼眼相机内参标定的智能化研究

竺志敏

中电海康集团有限公司 浙江 杭州 310000

摘要: 机器视觉图像拼接或距离测量等应用需要用到相机参数, 相机参数包含内参和外参, 求解相机参数的过程又称为相机标定, 用来确定空间物体表面某点的三维几何位置与其在图像中对应点之间的相互关系, 从而建立几何模型进行畸变校正, 图像拼接或距离测量等。

本文主要针对鱼眼相机内参标定的测量方法进行研究, 尤其是可实施在量化生产中的计算机辅助智能化测量的方法研究。

关键词: 相机内参; 内参标定; 相机模型; 计算机辅助自动化标定

1 引言

相机参数包含内参和外参, 是机器视觉和计算机视觉中常见的概念。

相机外参指描述相机在三维空间中的位姿信息, 包括平移向量和旋转矩阵。平移向量表示相机在三维空间坐标系中的位置, 旋转矩阵则表示相机的方向和角度。相机外参能够将相机内部成像信息与三维物体的信息联系起来, 从而实现相机成像到三维重构之间的转换。

相机内参是描述成像模型的参数, 包括内部参数和畸变参数。^[1]内部参数指相机的固有参数, 包括焦距、像元尺寸、光轴相对于图像平面的位置等。畸变参数用于描述相机在成像过程中由于非理想光学系统而产生的畸变现象, 如径向畸变和切向畸变。径向畸变是由于光线从透镜中心出发到达成像平面的路径在不同半径处的光程不同而造成的畸变, 而切向畸变则是由于透镜不完全中心对称造成的畸变现象。

相机外参主要由主机厂进行标定测量, 内参由模组厂进行标定测量。

2 相机模组内参

2.1 相机模组内参原理

相机在拍摄的时候, 有四个坐标系: 物理成像坐标系, 像素坐标系, 相机坐标系, 世界坐标系。它们对应的坐标系公式为:

物理成像坐标系: $O'-x'-y'$; 像素坐标系: $O-u-v$;
相机坐标系: $O-x-y$, 世界坐标系: $O-x-y-z$;

在世界坐标系下的点 $P[x,y,z]^T$, 通过相机坐标系下的光心 O 投影到物理成像平面上的 $P'[x',y']^T$, 对应到像素坐标系下的 $[u,v]^T$, 其中 $z/f = x/x' = y/y'$, $x' = f_x/z$, $y' = f_y/z$;

从物理成像坐标系到像素坐标系, 相差了一个缩放和平移, 假设, 像素坐标在 u 方向上缩放了 α 倍, 在 v 方向

上缩放了 β 倍, 同时, 原点平移了 $[c_x, c_y]^T$, 则成像坐标转换为像素坐标为 $\{u = f_x \cdot x/z + c_x; v = f_y \cdot y/z + c_y\}$; 将坐标归一化后, 可得内参矩阵 K ,

$$\begin{aligned} f_x &= \frac{f}{dx} & c_x &= \frac{w}{2} \\ f_y &= \frac{f}{dy} & c_y &= \frac{h}{2} \end{aligned}$$

$$z \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} fx & 0 & cx \\ 0 & fy & cy \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \triangleq KP$$

解出矩阵 K , 即可得出相机内参 (f_x, f_y, c_x, c_y) 。

其中相机焦距 f , 单位 mm ; 像素单元长度 d_x, d_y , 单位 $mm/pixel$; 像素焦距长度 f_x, f_y , 单位 $pixel$; 图像大小 $[w, h]$, 单位 $pixel$; 光心位置 c_x, c_y , 单位为 $pixel$ 。

由于光学系统不完美, 相机在拍摄的时候会出现畸变现象, 广角相机和鱼眼相机尤为明显, 这些畸变会导致图像失真, 尺寸不准确等问题, 所以畸变参数也要作为相机的固有参数, 列入相机模组参数当中, 进行标定测量。

畸变参数包括径向畸变系数 K_1, K_2, K_3 和切向畸变系数 P_1, P_2 , 径向畸变系数公式为

$$x_d = x(1 + K_1 \cdot r^2 + k_2 \cdot r^4 + k_3 \cdot r^6), y_d = y(1 + K_1 \cdot r^2 + k_2 \cdot r^4 + k_3 \cdot r^6);$$

切向畸变系数公式为 $x_d = x + 2P_1 \cdot x \cdot y + P_2 \cdot (r^2 + 2x^2), y_d = y + P_1 \cdot (r^2 + 2x^2) + 2P_2 \cdot x \cdot y$, r 为距离图像成像中心点的距离, x_d, y_d 为畸变后的图像坐标, x, y 为去畸变的图像坐标; 上述计算公式可得相机畸变参数: $(K_1, K_2, K_3, P_1, P_2)$ 。

2.2 相机模组内参标定测量方法

常见的标定方法有: 直线标定法, 三维点法, 棋盘格标定法。

本文主要研究鱼镜头模组的标定自动化方案，考虑精度和速度优先选择棋盘格标定法。

2.2.1 棋盘格标定法Chart

棋盘格Chart选择反射率低印刷精度高的菲林材质，^[2]前端贴近玻璃板后端用背光板压住，这样chart不易褶皱扭曲影响拍摄精度，光线暗时，背光板开启进行补

光，可以提高拍摄采点精度和计算精度；黑白棋盘选用7*11格，每格尺寸为25cm*25cm。棋盘格chart固定在支架上保持不动，放在自动化设备正上方。传统方式是手持chart，通过转动身体或手臂，拍摄chart与模组相对位置及不同角度的变化照片，如图1、图2、图3所示。



图1 左侧拍摄



图2 俯视拍摄



图3 右侧拍摄

2.2.2 棋盘格标定法自动化设备

内参标定拍摄设备如图4所示，包括：基台、立臂底座、步进转台1，步进转台2，步进转台3，承靠立臂，转接摇臂，模组承靠基座，模组镜头，线束。基座用来承载其他部件，其上有步进转台1和步进转台2及步进转台3，它们分别带有一个步进马达，用来驱动转台在X轴，Y轴，和Z轴三个方向的转动。步进转台1在转动的同时会带动与其连接的转接摇臂一起绕X轴联动转动，转动角度可达360度，转接摇臂的延伸部分承载着步进马达2及模组承靠基座，步进转台2可绕Y轴方向旋转正负90度，转动角度总量为180度，步进转台2固定在承靠立臂上，承靠立臂又和步进转台3连接，可在步进转台3的驱动下，绕Z轴旋转正负90度，转动总量为180度，模组镜头安装在模组承靠基座上，其带有的线束可由承靠立臂的孔中穿过与电脑显示屏进行连接拍摄。

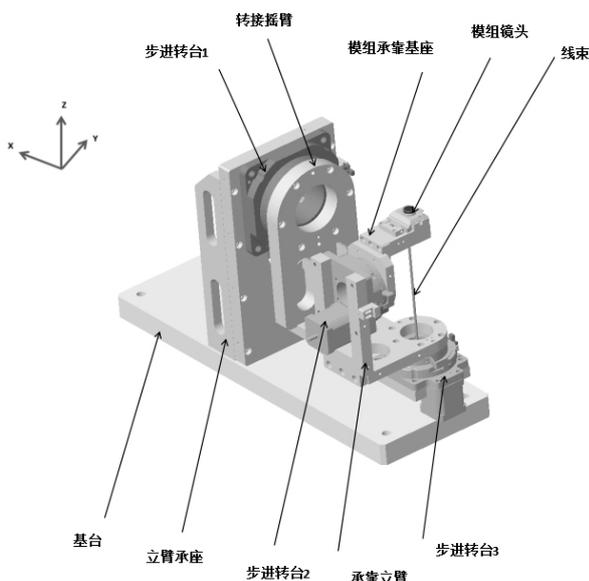


图4 自动化设备图

2.2.3 棋盘格标定法软件部分

提供内参标定计算方法，尤其是鱼镜头标定算法原理：

将世界坐标点投影归一化为球面坐标 (x_s, y_s, z_s) 。

将投影点坐标变换一下原点位置，使原点坐标变为 $(0, 0, x_i)$ ，则新坐标系下投影点为 $(x_s, y_s, z_s + x_i)$ 。

将其投影由球面坐标归一化为平面坐标 $(\frac{x_s}{z_s + x_i}, \frac{y_s}{z_s + x_i}, 1)$ 。

增加畸变参数影响值： $m_d = mu + D(mu, V)$ 。

相机模组光心和焦距及坐标倾斜系数及纵横比矩阵K与畸变参数 m_d 的乘积为最终的模组内参参数矩阵， f 表示焦距， (c_x, c_y) 表示光心， s 表示坐标系倾斜系数， r 表

示纵横比，则内参矩阵 $P = K \cdot m_d = \begin{bmatrix} f & fs & cx \\ 0 & fr & cy \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot m_d$ ，其中 m_d 包括径向畸变参数 K_1, k_2, k_3 和切向畸变参数 P_1, P_2 。

通过VB编写小程序导入28张不同角度拍摄的照片，即可得到相机模组内参。

3 拍摄及标定测量结果

3.1 自动化拍摄

对一颗焦距0.99mm，水平视场角210度的鱼镜头进行标定测量，启动自动化设备后，机械臂开始转动，每转动一次自动拍摄一张照片，直至拍摄完28张照片后结束，这时可以得到chart与模组之间不同角度及位置的照片，如图5所示。

3.2 内参标定计算结果

把28张图片放入设置好的路径导入软件中，点击生成参数按钮，即可得到内参参数，如图4所示。根据内参结果 $f_x = 542.7299$ ， $x_i = 0.6328$ ，sensor像素大小3um，可得镜头焦距值 $f = 542.7299 * 3 / 1000 - 0.6328 = 0.995mm$ ，与镜头焦距设计值0.99mm比较接近。

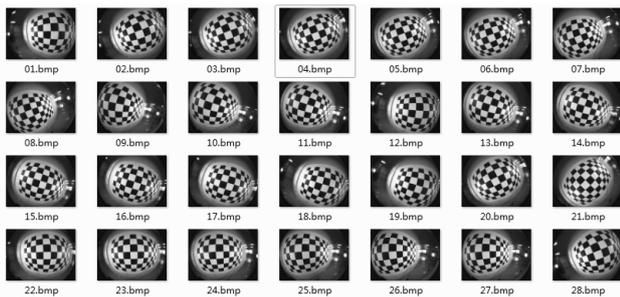


图5 自动拍摄不同位置及角度的照片

将上述拍摄的28张照片，随机挑取一张比如8.bmp进行畸变校正，查看效果，如图6所示，因畸变造成的棋盘格弯曲情况，已被很好的校正。

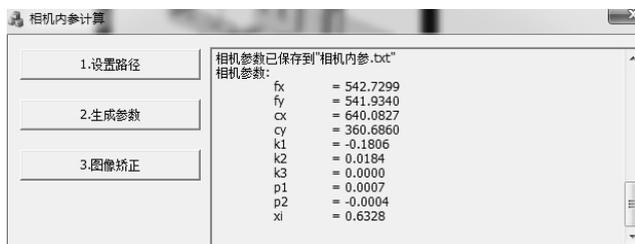


图6 内参计算结果



图7 畸变未校正图像

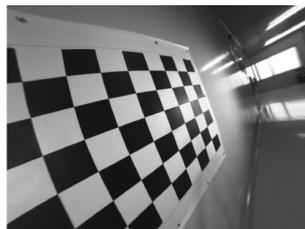


图8 畸变已校正图像

4 结论

目前相机内参基本上都使用棋盘格法来获得，^[1]棋盘格法至少需要拍摄20多张chart照片，每拍完一张都要将模组转动一个角度再拍下一张，如果采用人工拍摄则非常耗时，一组大约需10分钟以上，所以当模组量产时，急需一种能够降低工时且快速得到内参标定数值的方法。本文主要通过研究相机内参原理，研制一种鱼眼相机内参自动化标定测量的设备及方法，通过设备在X，Y，Z三个方向旋转拍摄，得到不同角度不同距离的棋盘格标定板chart特征信息，再通过软件计算可以快速得到精度高的内参结果，且每组拍摄时间只要56秒，大大降低了工时，使模组量化生产进行内参标定得以实现。

参考文献

- [1]英向华,胡占义.一种基于球面透视投影约束的鱼眼镜头校正方法[J].计算机学报,2003,26(12):1702-1708.
- [2]常丹华,赵丹,杨峰明,等.提取鱼眼图像轮廓的算法改进及图像校正[J].激光与红外,2012,42(4):448-451.
- [3]师平.鱼眼图像径向畸变校正的一种新方法[J].图学学报,2016,37(6):805-809.