

基于等间距线的几何畸变校正^①

管海兵, 蒙水金, 彭中伟

(湖南大学 电气与信息工程学院, 长沙 410082)

摘要: 摄像机视觉测量系统中图像存在几何畸变, 会降低尺寸测量精度, 必须进行校正。目前基于单张图像的畸变校正方法主要有标定板特征点转移矩阵的非参数化方法和利用特征点共线性或无穷点约束条件的参数化方法, 由于上述方法需要获取多个特征点的坐标, 而获取孤立的坐标点容易造成误差, 使得校正效果不好。提出采用等间距线方法, 利用畸变模型建立间距和畸变参数的关系, 在图像中检测出线段间距从而计算出畸变参数。文章最后用等间距线方法对畸变图像进行了校正, 结果表明该方法计算量小, 具有良好的校正效果。

关键词: 几何畸变; 畸变校正; 等间距线

Geometric Distortion Correction Based on Uniformly-Spaced Lines

GUAN Hai-Bing, MENG Shui-Jin, PENG Zhong-Wei

(College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: Images geometric distortion would reduce the accuracy of dimensional measurement in Camera Vision Measurement Systems, so we need to correct it. So far, there are two typical distortion correction methods based on a single image. One is a parameter-free method utilizing the transference between the feature points in a checkerboard pattern and its images, and the other is a parameterize method utilizing the geometric constraints such as rectilinear elements or vanishing points. Both of those methods should get lots of feature points' coordinate, but it will get a wrong coordinate when the feature point is a isolated point, therefore sometimes those method have a bad correction effect. In this paper, we propose a uniformly-spaced lines method and establish a relation of the spacing interval and distortion parameter from the distortion model. We could compute the distortion parameter from the spacing interval between lines we have detected in the image. In the end, we use the uniformly-spaced lines method to correct some distorted images. The result shows that this method has a low-level calculated amount and a nice correction effect.

Key words: geometric distortion; distortion correction; uniformly-spaced lines

受镜头制造精度的影响, 计算机视觉系统拍摄的图像会出现不同程度的几何位置、尺寸、形状、方位等图像畸变。而测量系统中要对物件尺寸进行测量, 几何畸变必将引起测量误差, 必须进行校正。

1 图像几何畸变模型及校正方法

图像畸变可分成径向畸变、偏心畸变和薄棱镜畸变。径向畸变是由镜头表面部分在径向曲率的变化存在缺陷造成, 偏心畸变则是由于镜头部分的光学中心

不能严格地保持共线造成的, 薄棱镜畸变主要是由镜头设计和生产以及摄像机组装过程中的缺陷引起的。畸变是非线性的, 文献[1]提出了径向复合畸变加薄棱镜畸变的复合模型, 该模型建立了畸变坐标和理想坐标的高阶函数关系式。文献[2]中指出在非广角摄像机将畸变模型的径向分量计算到四阶以上一般是没有必要的, 另外畸变的切向分量也可以忽略, 即实际证实绝大多数镜头不会出现偏心现象, 因此可将模型简化为四阶对称的径向分量而无切向畸变分量的模型。根

^① 收稿时间:2011-03-18;收到修改稿时间:2011-04-07

据畸变模型, 国内外学者提出了许多经典的图像校正方法。Tsai 提出了用已知位置关系的 3D 坐标点来计算畸变参数。文献[1]提出用 3D 立体标定物计算畸变参数法。文献[2]提出了利用多张不同拍摄方向的标定板 2 维图片来进行标定。文献[3]和文献[4]是基于单张图片进行标定和校正的经典方法。文献[3]提出了非参数化图像校正的方法, 该方法不需要建立畸变模型, 只建立实际坐标、理想坐标和畸变坐标的转移矩阵, 并通过有多个点的标定板进行计算转移矩阵, 得到畸变向量及畸变函数实现图像畸变的校正。文献[4]提出了一种数学近似的方法得到畸变坐标映射到理想坐标的逆畸变模型, 并采用某些特征点的共线特性或者无穷点特性求解逆畸变模型的参数, 完成畸变坐标的校正。这两种校正方法都需要获取多个特征点的坐标信息, 但是在实际图片中对独立像素点提取, 很容易取到别的像素点或者噪声点, 造成极大误差, 使得校正效果不好。本文提出了一种基于等间距线的方法, 利用文献[2]中的畸变模型建立距离和畸变参数的函数关系式, 在图像中检测出等间距线的距离, 从而计算出畸变参数。由于在图像中线段间距离是比较容易测量的物理量, 可以避免由于测量特征点引入的误差。本文用等间距线方法对畸变图像进行了纠正, 结果表明该方法计算量小, 且能达到良好的校正效果。

2 等间距线方法模型及计算过程

2.1 畸变参数 k1 和 k2 计算方法

在图像坐标系中, 设畸变中心为坐标原点(0,0), 并设(x,y)为理想的坐标点, 为图像畸变后的坐标点(x',y'), 根据文献[2]中的模型得到下列公式:

$$\begin{cases} x' = (1 + k_1(x^2 + y^2) + k_2(x^2 + y^2)^2)x \\ y' = (1 + k_1(x^2 + y^2) + k_2(x^2 + y^2)^2)y \end{cases} \quad (1)$$

其中 k_1 和 k_2 为畸变参数。

将公式(1)中两个等式平方后相加得到下式:

$$x'^2 + y'^2 = (1 + k_1(x^2 + y^2) + k_2(x^2 + y^2)^2)^2 \quad (2)$$

$$\begin{aligned} &+ k_2(x^2 + y^2)^2)(x^2 + y^2) \\ \text{令 } x^2 + y^2 = r^2 \text{ 及 } x'^2 + y'^2 = r'^2 \text{ 代入(2):} \\ &r' = (1 + k_1 r^2 + k_2 r^4)r \end{aligned} \quad (3)$$

即到畸变中心距离为 r 的理想点将畸变到半径为 r' 的圆周上, 如图 1 所示。当圆半径 r 较大时, 如果取理想坐标圆上的小量的连续点, 将近似地得到一条线段 l , l 上的点畸变后映射到半径为 r' 的圆周, 连接这些点可近似得到一条畸变线段 l' , 如图 1 所示。虚线表示理想坐标, 实线表示畸变坐标。

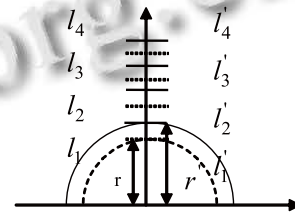


图 1 图像畸变模型

假设在理想坐标中有几条等间距的线段 l_1, l_2, l_3 和 l_4 , 它们之间的间距为 d 。经过图像畸变后将得到间距不等的畸变线段 l'_1, l'_2, l'_3 和 l'_4 。如图 1 所示。

假设理想线段 l_1, l_2, l_3 和 l_4 到畸变中心的距离为 r_1, r_2, r_3 和 r_4 , l'_1, l'_2, l'_3 和 l'_4 到畸变中心的距离为 r'_1, r'_2, r'_3 和 r'_4 。则 l'_1, l'_2, l'_3 及 l'_4 和 l_1, l_2, l_3 及 l_4 线段上的点满足公式(3), 即得到下列方程式组:

$$\begin{cases} r'_1 = (1 + k_1 r_1^2 + k_2 r_1^4)r_1 \\ r'_2 = (1 + k_1(r_1 + d)^2 + k_2(r_1 + d)^4)(r_1 + d) \\ r'_3 = (1 + k_1(r_1 + 2d)^2 + k_2(r_1 + 2d)^4)(r_1 + 2d) \\ r'_4 = (1 + k_1(r_1 + 3d)^2 + k_2(r_1 + 3d)^4)(r_1 + 3d) \end{cases} \quad (4)$$

令第 i 条到第 j 条畸变线段间距离为 d'_{i-j} 则有:

$$\begin{cases} d'_{2-1} = r'_2 - r'_1 \\ d'_{3-2} = r'_3 - r'_2 \\ d'_{4-3} = r'_4 - r'_3 \end{cases} \quad (5)$$

将公式(4)代入公式(5)中得到:

$$\begin{cases} d'_{2-1} = (1 + k_1(r_1 + d)^2 + k_2(r_1 + d)^4)(r_1 + d) - (1 + k_1 r_1^2 + k_2 r_1^4)r_1 \\ d'_{3-2} = (1 + k_1(r_1 + 2d)^2 + k_2(r_1 + 2d)^4)(r_1 + 2d) - (1 + k_1(r_1 + d)^2 + k_2(r_1 + d)^4)(r_1 + d) \\ d'_{4-3} = (1 + k_1(r_1 + 3d)^2 + k_2(r_1 + 3d)^4)(r_1 + 3d) - (1 + k_1(r_1 + 2d)^2 + k_2(r_1 + 2d)^4)(r_1 + 2d) \end{cases} \quad (6)$$

公式(6)中 d'_{2-1} , d'_{3-2} , d'_{4-3} 为畸变图像中线段的距离由图像检测得到。 d 为理想图像中这组等间距线间距所占的像素距离由计算得到, 假设摄像头像素是 640×480 , 竖直成像高度为 H , 等距线之间的高度为 h , 则有 $d = 480h/H$ 。

公式(6)中的未知量是 r_1 和畸变参数 k_1 , k_2 , 假设已知 r_1 即第一条线段的理想位置, 通过联立公式(6)中的前二个等式组成二元一次方程组能很容易地计算出畸变参数 k_1 , k_2 。

由于 r_1 是个理想图像半径无法直接测量, 实际中只能粗略地测量出已经畸变的图像半径 r'_1 , 但是根据畸变的理论知, 畸变只是从它的理想位置向内或向外的移动, 即 r_1 应该取 $[r'_1 - m, r'_1 - n]$ 区间的某个值, 而且 m 和 n 的取值不会很大。因此我们可以用试凑法将该区间的 p 个理想半径值代入公式(6)前两个等式中进行计算参数 k_1 , k_2 。显然在这些取值中, 只有一个最合适的取值即一个实际的理想半径 r_1 和畸变参数 k_1 , k_2 , 使得公式(6)的第三个等式仍然成立。实际中我们将第 i ($i=1, 2, \dots, p$) 组参数代入公式(6)的第三个等式计算得到 $d'_{4-3, i}$, 并和实际检测出的 d'_{4-3} 进行比较, 并取计算结果和测量结果最接近的那组数据作为实际的理想半径 r_1 和畸变参数 k_1 , k_2 。

2.2 畸变中心坐标(x0,y0)计算

由上面计算得到 r_1 后, 则可求出 r_2 及 r'_1 和 r'_2 。

设 l'_1 和 l'_2 的中点坐标分别为 (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) , 设畸变中心为 (u_0, v_0) , 根据距离公式有:

$$\begin{cases} (x_1 - u_0)^2 + (y_1 - v_0)^2 = r_1'^2 \\ (x_2 - u_0)^2 + (y_2 - v_0)^2 = r_2'^2 \end{cases} \quad (7)$$

根据公式(7)计算出畸变中心坐标 u_0 和 v_0 。

2.3 图像校正实现

若畸变图像中的点为 (x', y') , 则相对于畸变原点的坐标为 $(x' - u_0, y' - v_0)$, 代入张正友畸变模型公式

(1)中, 则可得到理想坐标的方程组, 解方程组得到 (x, y) , 即计算出了理想坐标所在的位置, 从而实现了图像的校正。

3 实验结果及分析

我们进行如下实验验证等间距线畸变校正方法的准确性和实用性。用摄像头对间距为 10cm 的等间距线段拍照得到畸变图片如图 2, 通过等间距线畸变校

正方法计算出畸变中心和畸变参数, 并用该计算结果对图片进行畸变校正, 校正后图片见图 3。对比图 2 和图 3, 发现由畸变图片 2 中原本等距离的线段间距离变得不等, 而经过校正后图 3 中的等间距线段间的距离差异距减小, 表明该算法具有较好的图像畸变校正效果。为了验证等间距线算法的实用性, 我们对更为一般的图片进行校正实验, 图 4 为拍摄得到的标定板图片, 图 5 为经过本算法校正后的图片, 对比图 4 和图 5, 发现经过校正后的图 5 明显要好于图片 4, 表明该算法起到了图像几何纠正的效果。



图 2 等间距线畸变图



图 3 等间距线校正图

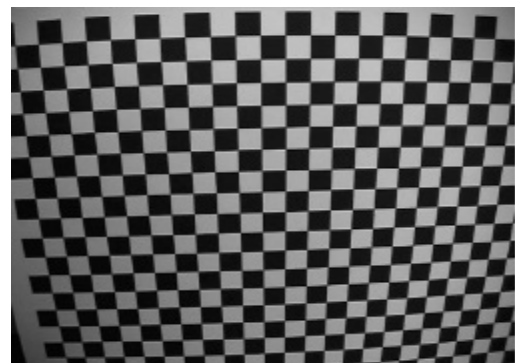


图 4 标定板畸变图

(下转第 122 页)

S-记录定义了8种记录类型,其意义如下:

S0——每个S-记录的记录头

S1——包括代码/数据内容和驻留代码/数据的2个字节首地址

S2——包括代码/数据内容和驻留代码/数据的3个字节首地址

S3——包括代码/数据内容和驻留代码/数据的4个字节首地址

S5——用一个指定模块发送的S1、S2和S3记录的数目,这个技术出现在地址字段,该记录无代码/数据字段

S7——S3记录块的终止记录,其地址字段包括所使用的指令的4个字节地址,该记录无代码/数据字段

S8——S2记录块的终止记录,其地址字段包括所使用的指令的3个字节地址,该记录无代码/数据字段

S9——S1记录块的终止记录,其地址字段包括所使用的指令的2个字节地址,该记录无代码/数据字段

每个S-记录一般只有一个记录头,一个终止记录,根据情况数据会使用S1/S2/S3记录。MCF51AC系列单片机使用的是S3记录块。根据上述定义与解释很容易就可以通过VC编写一个格式转换程序将S-记录格式的映像文件转换成BIN格式文件了。

6 结语

本论文介绍了Bootloader程序的功能及其执行过程,总结分析了Bootloader程序实现过程中可能遇到的几个难点问题,并以MCF51AC系列单片机平台为例,详细介绍了这几个难点的解决方案,在解决方案中详细介绍了MCF51AC系列单片机链接命令文件和S-记录数据格式的内容,给想详细了解并使用MCF51AC的初学者提供了较好的参考案例。本论文提出的方法已经在实际产品中得到了应用,并稳定运行于多个现场。本论文提出的这几个难点具有普遍意义,其解决方案对于其他单片机平台实现Bootloader程序具有借鉴意义。

参考文献

- 1 徐宇清,黄彦平,夏耘.S3C44BOX的Bootloader技术分析.上海理工大学学报,2005,27(4):369-372.
- 2 田冲,杨志.基于AT91 RM9200的引导程序分析与设计.微处理机,2008,10(5):137-140.
- 3 MCF51AC256 ColdFire Integrated Microcontroller Reference Manual. Freescale Semiconductor 2008.

(上接第109页)

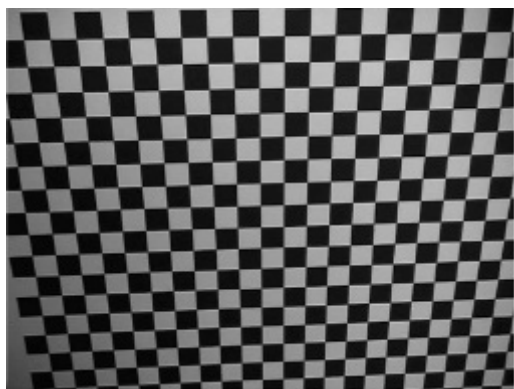


图5 标定板校正图

4 结语

本文提出了一种基于等间距线的图像畸变校正方法,通过检测线段间距离来计算图像畸变中心和畸变参数,具有计算量小、精确度高的优点,能达到良好的图像校正效果。该算法具有良好的通用性和实用性,

能广泛应用于图像畸变校正领域。

参考文献

- 1 Weng JY, Cohen P, Herniou M. Camera calibration with distortion models and accuracy evaluation. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992, 14(10): 965-980.
- 2 Zhang ZY. Flexible camera calibration by viewing a plane from unknown orientations. International Conference on Computer Vision (ICCV'99), Corfu, 1999. 666-673.
- 3 Lee SH, Lee SK, Choi JS. Correction of radial distortion using a planar checkerboard pattern and its Image. IEEE Trans. On Consumer Electronics, 2009,55(1):27-33.
- 4 Diego GA, Javier GL, Pablo RG. An Automatic Approach for Radial Lens Distortion Correction From a single Image. Sensors journal, 2011,11(4):956-965.