

文章编号: 1005—0523(2009)01—0034—05

机器视觉中的几何畸变校正软件设计

蒋先刚¹, 许苗村¹, 崔媛媛¹, 王爱奇²

(1 华东交通大学 基础科学学院, 江西 南昌 330013; 2 咸阳师范学院 数学系, 陕西 咸阳 712000)

摘要:针对基于视觉的机械钻孔中的定位问题,建立靶标图像的仿射模型和网格模型,对畸变图像进行整体和分区细化两种校正分析,实验结果显示:在靶标精确的情况下,仿真加工的校正误差不会超过 0.1mm。

关 键 词:几何畸变;图像校正;仿射模型;网格模型

中图分类号: TP319

文献标识码: A

在基于机器视觉的数控加工中,需要对图像进行精确校准.处理由于一个或多个质量降级原因而记录下来的影像,并确定出物体表面某些特征点的位置,使处理后的图像能最好接近原始景物,对每幅图像达到精确复原.采用数字图像处理方法将畸变图像变换成原始图像,变换过程分为两步^[1~4]: (1) 几何变换,即利用原图像与畸变图像的坐标关系,也就是畸变规律对畸变图像所在的坐标空间进行几何变换; (2) 灰度校正.若变换后的坐标不是刚好落在理想图像的像素点上,则用理想图像上对应点像素的灰度值,估计该点的灰度值,从而得到与之相对应的畸变图像像素的灰度值.本文主要实现用仿射模型和网格模型对机器视觉造成的畸变图像进行几何校正,并在 Delphi 7 中设计软件系统实现模块,通过反复实验分析,由图表对照可知,该软件使基于视觉的孔加工达到了设计要求.

1 机器视觉几何畸变校正分析

1.1 图像几何畸变的一般原因

图像校正试图利用退化现象的某种先验知识(即退化模型),把已退化了的图像加以重建和复原.引起图像退化的原因很多,有大气湍流效应、传感器特性的非线性、光学系统的像差、成像设备与物体之间的相对运动等.图像的校正需要弄清退化的原因,建立相应的校正模型,并沿着图像降质的逆过程复原图像.

在机器视觉造成的图像畸变中,一项很重要的误差来自于光学畸变差,它影响着像点坐标的质量,光学畸变分为径向畸变差和偏心畸变差两类.由于径向畸变一般是由于镜头形状缺陷引起的,它只与像点离主点的距离有关,使构像点沿径向方向偏离其准确理想位置,所以径向畸变是畸变的主要成分,它的变形规律基本体现了相机畸变的变形规律,根据系数的正负,可分为桶形畸变和枕形畸变两类,因此,相机的畸变主要是桶形和枕形畸变两类.

1.2 几何畸变校正的两种算法原理

由以上机器视觉造成图像畸变的主要原因出发,建立了仿射模型与网格模型,为实现二者的算法及实验结果对比,本文对它们采用了不同的算法设计及处理.

仿射模型采用的是与畸变相反的仿射变换来抵消图像的畸变,先恢复图像的变形角度,再对图像进行距

收稿日期: 2008—11—26

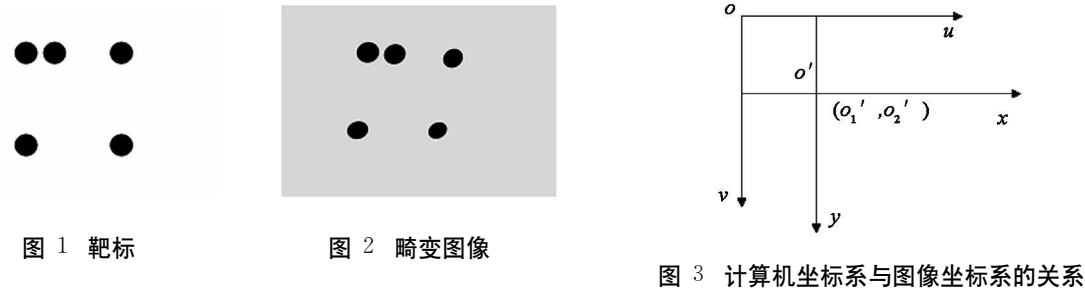
作者简介: 蒋先刚(1958—),男,湖南永州人,教授,主要研究方向为计算机图形学、机械 CAD/CAM. <http://www.cnki.net>

离变换. 这里以图像的左上角为坐标原点, 提取畸变图像上 5 个圆的重心, 依顺时针方向计算两两圆心之间的连线斜率, 再利用仿射变换实现图像的旋转、平移, 实现对图像的校正.

网格模型以图像中心为坐标原点, 用网格覆盖靶标以摄取带有网格的畸变图像, 由于几何畸变不具有关于原点对称的特性, 因此考虑用田字形把整幅图像分为相等的四部分, 对每一部分分别进行图像的复原.

2 机器视觉校正系统的程序设计

本文使用的是像素为 $1\,024 \times 768$ 的精密圆形靶标, 图 1、图 2 分别为精确绘制和摄取的靶标和靶标的像(畸变图像)的图片.



2.1 几何校正中常用特征及参数计算

(1) 计算机坐标系与图像坐标系的转换

由于计算机坐标系是以图像的左上角为原点, 以水平向右为横轴, 以垂直向下为纵轴的坐标系, 故以上绘制的靶标及其像的坐标值是在图像坐标系中使用的, 若要在计算机坐标系中使用坐标值, 可以通过计算机坐标系与图像坐标系之间的关系对二者进行转换, 图 3 显示了二者的关系.

其中: u 、 v 轴分别与 x 、 y 轴平行, 图像传感器光轴与图像平面的交点一般位于图像的中心 o , 但因为成像系统有一定的几何非线性, 从而造成了原点 o 的偏离. 将图像坐标系值转化到计算机坐标系中的转化公式为

$$\begin{cases} u = x - o_1' \\ v = y - o_2' \end{cases} \quad (1)$$

(2) 重心

重心的行坐标和列坐标分别按下列公式计算

$$\bar{x} = \frac{\sum x f(x, y)}{\sum f(x, y)} \quad \bar{y} = \frac{\sum y f(x, y)}{\sum f(x, y)} \quad (2)$$

(3) 畸变率^[5]

$$D = \frac{\eta - H}{H} \times 100\% \quad (3)$$

式中: η 为实际成像高度; H 为理想成像高度; D 为畸变率.

按照这种定义, 当发生枕形畸变时, 实际成像高度大于理想成像高度, 畸变率为正, 在图像中表现为像素位置被拉伸; 当发生桶形畸变时, 实际成像高度小于理想成像高度, 畸变率为负, 在图像中表现为图像被压缩, 像素位置向中心移动.

(4) 精度计算

$$J = \frac{\sum_{i=1}^5 \sqrt{(x_i' - \bar{x}')^2 + (y_i' - \bar{y}')^2}}{\sum_{i=1}^5 \sqrt{(x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2}} \times 100\% \quad (4)$$

这里可以视靶标上的 5 个圆为样本, 其中第 i 个样本的重心坐标为 (x_i, y_i) , x_i 和 y_i 是该样本的两个特征值, 而样本均值就是这 5 个样本在特征空间的聚类中心, $(\bar{x}', \bar{y}')$ 为对应的修正图像上第 i 个样本的重心坐标, $(\bar{x}, \bar{y})$ 是修正图像上 5 个样本在特征空间的聚类中心.

2.2 平面空间与图像的仿射模型

此模型中主要用到的是仿射变换,它是一种由二维坐标到二维坐标之间的线性变换,保持二维图形的“平直线”和“平行性”,其可以通过一系列原子变换的复合来实现,包括平移 (Translation)、缩放 (Scale)、翻转 (Flip)、旋转 (Rotation)和剪切 (Shear),处理本文中的畸变图像仅使用旋转和平移便能达到良好的图像复原效果,因此实现图像校正的关键环节就是要找到相应的仿射变换.

对于所给畸变图像而言,图像中不同位置的圆发生畸变的程度是不一样的,按照顺时针方向计算图像中两圆重心连线的倾斜角,得到 5 对不同的正、余弦值,利用第 1 对正、余弦值和仿射变换公式

$$\begin{bmatrix} \bar{x}' \\ \bar{y}' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & \sin\theta_i \\ -\sin\theta_i & \cos\theta_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{x} \\ \bar{y} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} \quad (i=1, 2, 3, 4, 5)$$

将第 1 个圆的重心坐标 $(\bar{x}_1, \bar{y}_1)$ 变换为新坐标 $(\bar{x}'_1, \bar{y}'_1)$,依此类推便可得到其余 4 个新坐标: $(\bar{x}'_2, \bar{y}'_2)$, $(\bar{x}'_3, \bar{y}'_3)$, $(\bar{x}'_4, \bar{y}'_4)$, $(\bar{x}'_5, \bar{y}'_5)$ (一般情况下,每一个圆的 θ_i, a_i, b_i 值不同),新的坐标就是复原图像上 5 个圆的重心.

图 4 显示了经此法校正后的图像,白色点为校正后的靶标图像位置.图 5 为使用公式 (5) 的逆变换后得到的畸变图像位置复原图,白色点为畸变图像的复原位置.

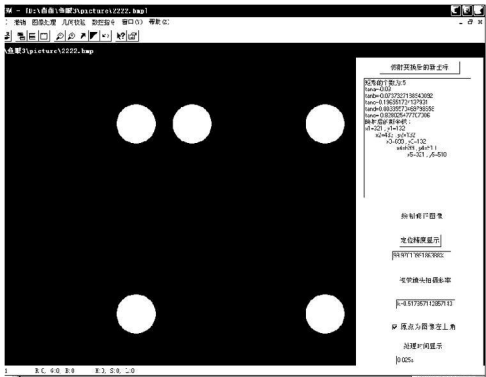


图 4 仿射模型畸变图像校正效果图

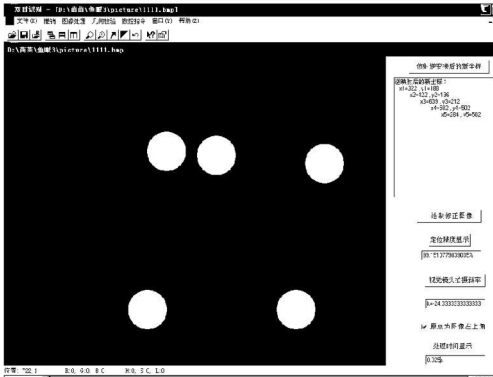


图 5 仿射逆变换后的畸变图像位置复原图

2.3 图像的 4×4 网格模型

用 4×4 的网格覆盖精密圆形靶标,如图 6 所示.精密圆形靶标上每一个小网格都是像素为 256×192 的均匀方格,摄取的畸变图像上的网格是和它发生了同样畸变的网格.利用公式 (1) 实现计算机坐标系与图像坐标系之间的转换,使得坐标原点为畸变图像中心 (有一定的偏移),对此中心进行修正,使它成为真正的图像中心,并按此中心以田字形把整幅图像分为相等的四部分,选取畸变图像上的四分之一部分,对应于靶标图像上的 11 部分,如图 7.

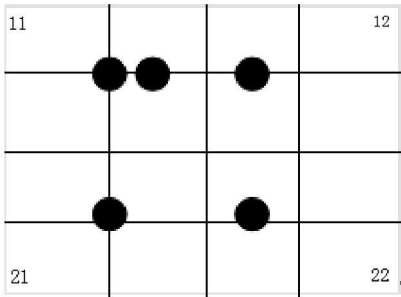


图 6 用 4×4 网格覆盖的靶标



图 7 畸变图像上的四分之一部分

考虑到这一部分图像每个顶点处必然有 3 个邻近网格点构成的小三角形,其在畸变图像中的位置为

(u_1, v_1) 、 (u_2, v_2) 、 (u_3, v_3) , 并设这些点在规格网格中的理想坐标为 (u_1, v_1) 、 (u_2, v_2) 、 (u_3, v_3) . 由线性变换关系

$$\begin{cases} x' = ax + by + c \\ y' = dx + ey + f \end{cases} \tag{6}$$

可认为它把 3 个点映射到它们校正后的位置, 由此构成如下 3 对方程组

$$\begin{cases} u_i = au_i + bv_i + c \\ v_i = du_i + ev_i + f \end{cases} \quad (i=1, 2, 3) \tag{7}$$

联立解这 6 个方程可求得参数 a, b, c, d, e, f 这种变换可用来校正畸变图像中被这三点连线包围的三角形部分的失真. 由此对每三个一组的网格点都重复进行上述步骤, 即可实现全部图像的几何效正. 图 8 为图像复原后的效果图, 图中的十字又代表了靶标及其校正图像上 5 个圆的中心. 图 9 显示了在基于视觉的数控加工中使用模板对靶标定位, 从而进行孔心加工的操作图. 此外, 本文还采用了 8×8 的网格覆盖精密圆形靶标来进行的实验, 实验数据见表 3.

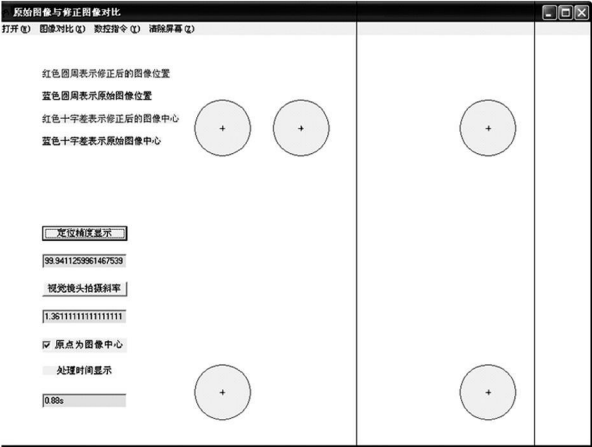


图 8 4×4 网格模型畸变图像校正效果图

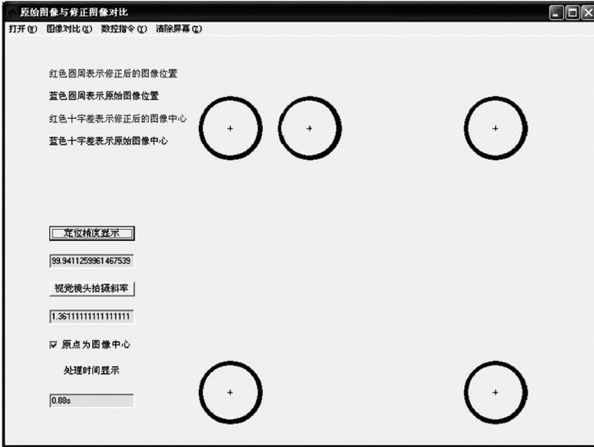


图 9 数控指令下孔心加工操作图

3 几何畸变校正实验结果与结论

本文进行了程序编码的数控加工实验来验证理论分析的正确性, 这里给出的是部分实验结果. 实验中选用的是精密圆形靶标, 靶标见图 1. 选定这种靶标的优点是圆心可精确测定, 图像的畸变可定量分析以减小加工过程的数据误差, 提高实验结果的可靠性.

表 1、表 2 显示了在两种模型的实验过程中对畸变图像特征重心的校正, 从实验数据中可以看出畸变得到了明显的改善, 基本实现了重心的复原. 表 3 则显示了两种不同模型的实验结果.

表 1 仿射模型的各形状参数

5 个圆心的重心坐标	
靶标	(321, 132), (434, 132), (699, 132), (321, 510), (699, 510)
畸变图像	(322, 188), (422, 196), (639, 212), (284, 501), (582, 502)
校正图像	(321, 132), (434, 132), (699, 131), (321, 510), (699, 510)
原点坐标	(0, 0)

表 2 网格模型的各形状参数

5 个圆心的重心坐标	
靶标	(-189, -114), (-76, -114), (189, -114), (-189, 264), (189, 264)
畸变图像	(-188, -58), (-88, -50), (129, -34), (-226, 255), (72, 256)
校正图像	(-189, -114), (-77, -114), (189, -114), (-189, 264), (189, 264)
原点坐标	(510, 246)

表 3 实验结果对照表

	原点坐标	校正前的畸变率 /%	校正精度 /%	处理时间 /s
仿射模型	(0, 0)	17.19	99.92	0.825
仿射逆变换	(0, 0)	17.19	99.15	0.825
4×4网格模型	(510, 246)	17.19	99.94	0.880
8×8网格模型	(510, 246)	17.19	99.97	1.070

从表 3可以看出由本文所建立的仿射模型和网格模型对于畸变图像的校正精度是相当高的. 由于网格模型中畸变图像被分为 4 个相等部分而分别进行校正, 所以处理时间相对较长, 但校正精度对于仿射模型有所提高, 如果想要得到更加精确的校准结果, 可使覆盖靶标的网格更加细化, 如本文中 8×8 的网格模型, 能对更多的三角形失真做校正, 做到了在 4×4 网格模型的基础上再次提高校正精度, 将此法应用到基于视觉的数控加工上会更加精确.

以仿射变换表达的网格模型畸变和以径向微分表达的径向畸变分析都能进行有效的机器视觉效验, 网格模型畸变效验更适应对称分布和边缘分布的几何加工和分析, 而径向畸变效验更适应圆中心分布的几何加工和分析, 对应用于不同的加工要求而合理选择它们或两者方法交叉选择和使用^[5, 6]. 对于试验中小的细节的局部分析可以采用局部图像放大技术而显示圆心位置误差, 也可将计算结果用 OLE 自动化技术送入 AutoCAD 中进行显示对比, 求解的畸变中心已能满足误差小于 0.1 的精度要求.

参考文献:

[1] 王 琳, 蒋先刚. 机械轴类零件 CAD 系统研究与实践 [J]. 华东交通大学学报, 2003, 20(4): 95—98.
[2] 苏小华, 赵继广, 李建峰. CCD 摄像机径向畸变的校准方法 [J]. 大学物理, 2004, 23(8): 43—44.
[3] 崔洪州, 孔 渊, 周起勃, 等. 基于畸变率的图像几何校正 [J]. 应用光学, 2006, 27(3): 183—185.
[4] 郭丙轩, 王铁程, 刘 波. 基于网格的数码相机数字化纠正几何畸变算法 [J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(19): 234—236.
[5] 王 伟, 钟堰利, 吴建坤. 广角镜头图像畸变校正系统的研究 [J]. 光学技术, 2004, 30(4): 489—490.
[6] 贾洪涛, 朱元昌. 摄像机图像畸变纠正技术 [J]. 电子测量与仪器学报, 2005, 19(3): 46—48.

Software Designing of Geometry Distortion Adjustment in Machine Vision

JIANG Xian-gang¹, XU Miao-cun¹, CUI Yuan-yuan¹, WANG Ai-qí²

(1. School of Basic Sciences East China Jiaotong University Nanchang 330013;
2. Department of Mathematics Xianyang Normal University Xianyang 712000, China)

Abstract: Aiming at location of mechanical drilling in machine vision, the affine model and the mesh model of the target image are established, then the whole and separated adjustment of the distorted image is performed. The experimental results demonstrate that the adjusting error of simulating processing would not surpass 0.1mm if targets were accurate.

Key words: geometry distortion; Gamma correction; affine model; mesh model

(责任编辑:刘棉玲)