

文章编号:1002-2082(2006)03-0183-03

基于畸变率的图像几何校正

崔洪州, 孔 渊, 周起勃, 潘兆鑫, 葛 军

(中国科学院上海技术物理研究所 第五研究室, 上海 200083)

摘 要: 大视场成像光学系统中的畸变会降低图像质量, 必须予以校正。提出一种新的校正方法, 即根据畸变率的定义推导出畸变校正公式。根据公式, 在镜头畸变率已知的情况下可以很容易地校正畸变。对于畸变率未知的情况, 给出了建立畸变模型的方法, 通过畸变模型可近似计算畸变率。得出通过控制畸变模型中某一个形状的参数可以控制畸变变量大小的结论。提出的方法已经在实际工程中采用。实践证明, 这种模型可以满足大多数镜头的畸变校正要求。

关键词: 几何畸变; 畸变模型; 数字校正; 图像处理

中图分类号: TN911.74

文献标志码: A

Image geometric correction based on distortion ratio

CUI Hong-zhou, KONG Yuan, ZHOU Qi-bo, PAN Zhao-xin, GE Jun

(Shanghai Institute of Physical Technique, CAS, Shanghai 200083, China)

Abstract: Distortion in optical lenses for wide field of view application, which reduces image quality, has to be corrected. A new correction method is proposed in this paper, and the distortion correction formula is deduced based on the definition of distortion coefficient. It's easy to correct the distortion with this method when the lens's distortion data is known. A distortion model is presented for the lens with unknown distortion data, through which the distortion data can be calculated. A conclusion for controlling distortion can be obtained by controlling a certain parameter in the distortion model. The practical use of the distortion correction method presented in this paper proved that the model could meet the requirement of distortion correction of lenses in most cases.

Key words: geometric distortion; distortion model; digital correction; image processing

引言

现代军用光电成像探测系统要求有一个大的视场, 以便能获得更多的目标信息。大视场光学系统设计会带来一系列的问题, 其中一个就是图像的几何畸变现象严重, 获得的图像无法直接用于后续处理。传统光学设计中, 有针对畸变的校正方法, 但是光学校正有它的缺点, 主要表现在以下几个方面:

增大。如常用的对称式光学结构消除畸变, 其机械尺寸长度增加约 1 倍。

2) 透镜数目增加会导致光线透过率下降, 影响图像质量。对于红外成像镜头, 由于透镜可供选择的材料较少, 而且材料的透过率较低, 每增加 1 片透镜, 红外辐射衰减就会增加。

3) 某些特殊的要求或应用场合无法采用光学校正。如医用内窥镜, 其镜头本身就很很小。再如采用致冷型红外焦平面阵列, 由于冷光阑的存在, 限

1) 畸变校正需要增加额外的透镜, 机械尺寸

收稿日期: 2005-01-21; 修回日期: 2005-07-23

作者简介: 崔洪州 (1976—), 男, 山东人, 中科院上海技术物理研究所博士研究生, 主要从事电子科学与技术及物理电子学研究。E-mail: xinyuepiaoxue@sina.com

制了光学系统的结构。

随着数字图像处理技术的发展,采用数字图像处理技术进行畸变校正逐渐盛行。

数字校正技术的主要优点是:

- 1) 校正性能优良,在模型精确的条件下,剩余畸变量可以小于 1%;
- 2) 校正电路可以采用模块化、通用化设计,可以通过更换校正数据的方式快速适应不同的成像系统,提高了其应用的范围,节约了重复研制的成本;
- 3) 镜头可以做得更小,机械结构可以设计得更简单,成像系统可以做到小型化、轻量化。

1 畸变校正原理

畸变率的定义如下:

$$D = \frac{\eta - H}{H} \times 100\% \tag{1}$$

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。

由(1)式可推出理想成像位置 H :

$$H = \frac{\eta}{1 + D} \tag{2}$$

反之,由理想成像位置 H 计算的畸变成像位置为

$$\eta = (1 + D) \times H \tag{3}$$

应用本方法时,关键是要知道各成像位置处的畸变率,然后利用公式(2)或(3)计算出对应点位置坐标,完成校正过程。一般自行设计的光学镜头都会给出各种畸变数据,可以据此进行校正。对于商品化的镜头,当无法知道其确切畸变率时,如果镜头中已经采用了光学校正技术,则剩余畸变率比没有光学校正时小很多。若要对此类镜头的畸变进行校正,首先想到的方法是通过光学设备来实地测量镜头的畸变率,以代替设计过程中计算出来的畸变率。但是畸变率的测量需要专门的光学系统来完成,一般实验室是无法进行测量的。为此作者提出一个畸变率的曲线近似模型,对于畸变参数未知的镜头,可采用本文所提出的曲线近似模型计算其畸

变率,并由此产生校正数据。

2 畸变率曲线近似模型

典型的畸变率曲线如图 1 所示。图中 D 为畸变率绝对值, a 为视场角。

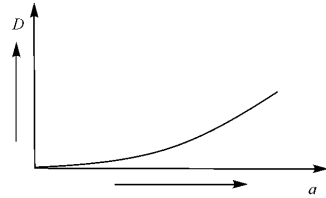


图 1 畸变率曲线示意图

Fig. 1 Curve of typical distortion coefficient

从曲线的形态上看,它类似于二次曲线,因此可以采用数学曲线来表示畸变率曲线,并通过一定的形状参数来控制其形状。类似的曲线有 $y = kx^2$, $y = (\theta - \tan \theta) / \tan \theta$ 等。经实验验证,后者更接近畸变率曲线。因此,我们采用后者,并把它写为

$$D = (\theta - \tan \theta) / \tan \theta \tag{4}$$

引入中间变量 h ,有

$$h = r_{\max} / \tan \theta_{\max} \tag{5}$$

式中, r 是像素点到图像中心的距离,即理想像高; r_{\max} 为 r 的最大值; θ_{\max} 为形状参数,其取值视校正效果而定。各点的 θ 值由下式计算:

$$r/h = \tan \theta, \quad \theta = \arctan(r/h) \tag{6}$$

设校正图像坐标系为 (X, Y) , 原始畸变图像坐标系为 (x, y) , 校正过程即为由 (X, Y) 的值计算 (x, y) 的值,实际校正过程如下:

- 1) 对于校正图像中的任一点 (X, Y) , 计算它到图像中心的距离 r , 即参考像高;
- 2) 采用(6)式,由 r 计算 θ 值;
- 3) 采用(4)式,由 θ 值计算 D 值;
- 4) 采用(3)式,由 D 值计算原始点坐标,其中 x, y 分别为

$$x = (1 + D)X, \quad y = (1 + D)Y \tag{7}$$

上述模型中,由于 $\theta \leq \tan \theta$, 因此上式确定的畸变模型为负畸变(桶形畸变)。对于枕形畸变,可将畸变数值取绝对值进行校正。由于坐标系 (X, Y) 及 (x, y) 均为离散化的整数,因此由公式(7)计算出来的 (x, y) 值可能并不是个整数,即原始畸变图像中的对应点并不一定刚好位于各坐标点上,所以无法取值。对于这个问题,解决的方法是采用重新采样法,通过插值法计算该点的灰度。

3 参数的确定

实际校正时,先利用测试样板成像。测试样板为标准点阵图案,图案中圆点按等边三角形排列,在 $0^\circ, 60^\circ, 120^\circ$ 3个方向上排列成直线,并且每条直线上的点之间的间距是相同的。成像时要求测试样板与镜头光轴垂直。获得畸变的图像后,借助上述方法进行校正。可视校正效果是先假定一个形状参数值,如果畸变较明显,可取为最大视场角,然后根据情况增大或减小它。一般来说,值越大,畸变校正效果越大,如图2所示。

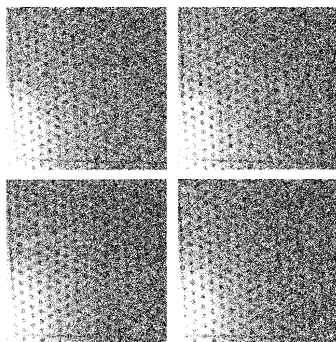


图2 畸变参数对校正效果的影响

Fig. 2 Effect of distortion parameter on correction result

图2中,从左到右对应的畸变参数 θ_{\max} 分别为 $90, 92, 94, 96$ 。从图2可以看到,在 $\theta_{\max} = 94$ 时校正效果较理想。

更精确的确定方法是采用弯曲程度计算的方法。在图2中可以拟合出某一角度方向上的所有直线,可以表示为 $y = a_i x + b_i$,则各拟合点到直线的距离

$$\delta_i = \sum_j (y_{ij} - a_i x_{ij} - b_i)^2 \quad (8)$$

表示该条直线的弯曲程度。对于所有直线,采用下式计算总弯曲程度:

$$\delta = \sum_i \delta_i \quad (9)$$

为了减少运算量,也可任取一个方向上最边缘处的直线做为评判标准。采用搜索的方法找到使总弯曲程度最小的参数,即可做为最佳参数。对于要求不高的场合,只需计算边缘上直线的弯曲程度。

4 校正结果

我们采用红外与可见光2组镜头及相应的成像系统对该校正方法进行了验证。其中红外镜头的视场角为 97° ,边缘处最大畸变约28%;可见光镜头的

视场角为 97° ,边缘处最大畸变约25%。校正前后的图像如图3和图4所示。

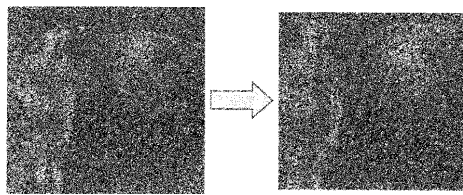


图3 红外图像的畸变校正效果图
(左为畸变图像,右为校正后的图像)

Fig. 3 Contrast of infrared image correction result
(left: distorted image; right: corrected image)

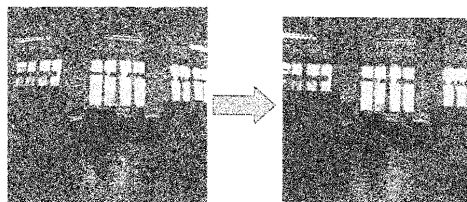


图4 可见光图像的畸变校正效果图
(左为畸变图像,右为校正后的图像)

Fig. 4 Contrast of visual image correction result
(left: distorted image; right: corrected image)

从上述图像可以看出,无论是红外通道还是可见光通道,图像的畸变都是很明显的,在采用上述校正模型校正后,图像基本恢复原来的面貌。

5 结论

本文提出了基于畸变率的图像几何畸变校正方法,该方法能最大限度地利用光学系统设计的数据进行畸变校正。对于未知光学数据的镜头(商品镜头),提出了一个畸变率曲线近似模型,利用它可以方便地计算畸变率,进而采用本方法进行畸变校正。在模型中,我们给出了一个形状参数,用于控制畸变校正的程度,还给出了模型中畸变参数的确定方法及相应的实验结果。对于畸变校正的最终效果,也给出了一种衡量方法。该方法已经成功地应用于某成像探测系统,校正后的剩余畸变率在1%左右。

参考文献:

- [1] 赫克特·E·赞斯·A. 光学[M]. 秦克诚,詹达三,林福成,译. 北京:人民教育出版社,1979:354-357.

(下转第215页)