

鱼眼图像畸变的 2D 校正

刘鹏^a, 肖斌^b, 邹丕振^a, 鞠国法^a, 付雨朦^c, 孙玉娟^c

(鲁东大学 a. 保卫处; b. 资产处; c. 信息与电气工程学院, 山东 烟台 264039)

摘要: 鱼眼镜头具有视角大(180°~270°)、视野广、短焦距等特点, 所拍摄的图像在视频监控、全景图像拼接等领域有广泛的应用. 由于鱼眼图像存在较大畸变, 不符合人眼视觉的观察习惯, 所以对鱼眼图像进行校正有重要的研究意义. 本文主要介绍了鱼眼图像的预处理、有效区域提取以及 2D 几何校正方法. 最后对各种类型的畸变图像进行校正实验, 结果进一步说明了几何校正方法在图像畸变校正方面的优势.

关键词: 鱼眼图像; 有效区域; 图像 2D 校正

中图分类号: TP391 文献标志码: A 文章编号: 1673-8020(2020)02-0137-05

在虚拟实景技术、机器人导航、安全监视、防火检查、全景漫游、视频会议等领域中, 一般相机使用的普通镜头往往满足不了应用的需求, 主要因为普通镜头拍摄视角较小, 拍摄的图像不能全面地反映现实场景的全部信息^[1-2]. 利用鱼眼镜头的广角特性来扩大拍摄范围是解决这一问题的有效途径, 所以近几年基于鱼眼镜头的全方位视觉系统得以广泛应用^[3].

鱼眼镜头的特点是焦距短、视场角广, 视场角可以达到 180°~270°; 但是鱼眼镜头的大视角会导致拍摄图像易出现桶形畸变^[4-5] (从图像中间到外围的畸变会逐渐变大, 图像中心部分畸变最小). 图 1 显示了拍摄到的鱼眼图像, 可以看到图中建筑是中间突出, 画面外围的水池边缘呈现出弯曲效果, 根据经验这种现象与真实场景结构差异较大.



图 1 鱼眼图像

Fig. 1 The fisheye image

鱼眼图像的弯曲程度一般与视角大小成正比. 图 2 列出了 4 幅从 90°到 180°不同视角的鱼眼图像, 可以看出: 随着视角越来越大可拍摄的景物范围也越来越大, 采集到的信息量也更多. 鱼眼镜头因自身优势虽然被广泛应用于各个领域, 但实际应用中通常需要对其采集到的图像进行校准以适应人眼所习惯的透视投影图像.

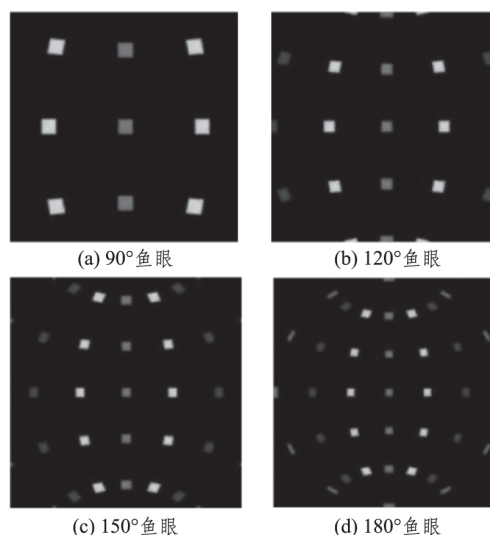


图 2 不同视角的鱼眼图像

Fig. 2 The fisheye images in different view angles

1 鱼眼图像校正原理

鱼眼镜头的形状可以近似于一个半球面^[6-7], 摄像机朝向的拍摄方向是它的光轴 z , 平面 oxy 是

收稿日期: 2019-11-14; 修回日期: 2020-02-26

基金项目: 国家自然科学基金(61602229)

第一作者简介: 刘鹏(1977-), 男, 山东莱州人, 硕士, 研究方向为数字图像处理. E-mail: 75985668@qq.com

通信作者简介: 孙玉娟(1977-), 女, 山东莱州人, 副教授, 博士, 研究方向为图像处理与三维重建. E-mail: sunyujuan@ldu.edu.cn

成像平面,如图3所示.设其半球面的方程为:

$$x^2 + y^2 + z^2 = r^2 (z \geq 0, r \geq 0). \quad (1)$$

由图3可知,对于空间上的任意点 P_0 ,连接 o 点与 P_0 与半球面交于点 P_1 ,再过点 P_1 作光轴 oz 的平行线,与 oxy 平面交于点 P_2 ,则点 P_2 就是空间中的点 P_0 在平面 oxy 上所成的像.基于此成像原理,对于鱼眼镜头拍出的图像而言,得出的物体的像就是一个圆形区域.由此,可以将鱼眼镜头的投影分为两步:

1) 将拍摄景物中的空间点 P 映射为一条射线连接 P 点与投影中心;

2) 将第1)中的射线再映射为图像中的点.在这里应注意,本步中的映射为可逆的,因为通过投影中心点映射对应于图像中的唯一点,相应图像中的点也对应唯一一条射线通过投影中心点,所以图像是通过投影中心点 o 的射线参数化得到的.

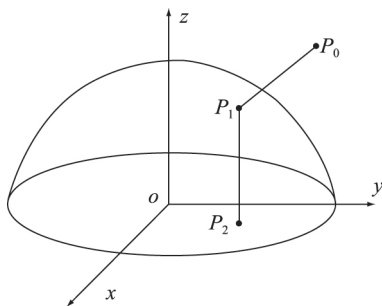


图3 鱼眼成像模型
Fig. 3 The Fisheye imaging model

鱼眼图像的校正可粗略地分为3部分:鱼眼图像的预处理、图像有效区域的提取以及针对有效区域的畸变进行校正.本文中由于选择的图像清晰度很高,几乎无噪声,可以直接使用,所以省略了去噪等对图像的预处理.

2 鱼眼图像有效区域的提取

鱼眼图像有效区域的提取决定了后续步骤对图像校正的准确程度,而且有效区域的提取应在保证提取精度的前提下兼顾提取的效率.

图像有效区域提取方法包括最小二乘拟合法、区域生长算法、面积统计方法、逐行逐列扫描法等.最小二乘拟合法所需的计算量很大,在实际应用中较少使用.面积统计法的优点是实现简单且提取速度快,但是如果鱼眼图像中的黑色像素点较多时,提取效果会出现很大的偏差,结果可能严重失真.逐行逐列扫描算法对面积统计法做了

一定的改进,但也会受到图像边界黑色像素点的影响;并且如果图像中还存在一定的噪声,结果也会出现失真.通过对比提取结果发现:区域生长算法是综合程度比较好的算法,因此本文采用区域生长法提取鱼眼图像的有效区域.

区域生长算法的关键点是区分有效像素和无效像素.由图2可知, 180° 的鱼眼图像圆形有效区域可以保留绝大部分的场景信息;而圆形区域外都为无效部分(即黑色像素点),所以有效区域与其他区域中的像素点灰度值会有很大差别.所以可以先用阈值分割的方法把原始鱼眼图像处理为二值图像,便于后续有效区域的提取工作.

在将鱼眼图像^[8]二值化以后,被二值化为0(黑色像素点)即无效区域的像素点也有可能属于鱼眼图像的有效区域,所以提取的关键点在于区分有效像素点和无效像素点.对此可以探索黑色像素点的邻域的信息来正确区别两者.设黑色像素点 q 在圆 O 之外, U_q 为 q 的任意一个邻域(本文设计代码使用四邻域),则在 U_q 之内,属于圆 O 的区域为 in ,面积记为 S_i ;则相对地不属于圆 O 的区域记为 out ,其面积记为 S_o .由此可知,如过 q 点在圆 O 内,满足:

$$\frac{S_i}{S_i + S_o} > 0.75; \quad (2)$$

如果 q 点在圆 O 外,满足:

$$\frac{S_i}{S_i + S_o} < 0.75. \quad (3)$$

对二值图像来说,如果黑色像素点邻域中的白色像素点个数在一半或以上,则可以将此点归为有效区域内,否则无效.有效区域提取算法步骤总结如下:

1) 设定初始阈值以便将鱼眼图像二值化:分割阈值为 T_1 ,黑色像素点邻域窗口大小为 D ,判断的比值为 T_2 ;

2) 利用1)中设置的阈值分割初始输入的鱼眼图像,再遍历图像中的像素点,如此时的像素点的灰度值大于或等于分割阈值 T_1 ,则将该像素点的灰度值置为1,否则置为0,最终得到并输出二值化后的鱼眼图像;

3) 循环遍历2)输出的二值图像中灰度值为0的黑色像素点,如其四邻域中白色像素点与邻域总数的比值大于 T_2 ,则将此像素点的灰度值置为1;否则此像素点灰度值不变;

4) 重复3),计算灰度值发生变化的像素点

个数,如个数为零,算法结束.

最终输出的二值图像的白色区域则为较准确的有效圆形区域,再用 Sobel 算子对二值图像进行边缘检测,可以进一步得到清晰完整的圆形有效区域.在得出圆形有效区域的二值化图像后,可以对有效区域进行截取.对图 1 截取得到的有效区域如图 4 所示.



图 4 截取有效区域

Fig. 4 Segment the effective region

3 基于几何成像的校正方法

根据相似成像原理,由普通光学摄像头的远距离成像得到的像高公式如下:

$$y_0' = f \tan w, \quad (4)$$

其中 y_0' 表示理想高度 f 表示镜头物方焦距 w 为物方半视场角.图 5 为它的成像模型.而鱼眼镜头远距离成像的模型是非相似成像的模型,其中的“等距投影”成像公式为:

$$y_0' = fw. \quad (5)$$

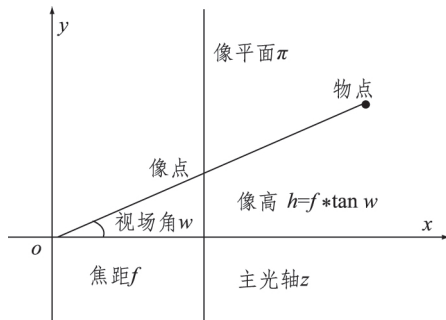


图 5 小孔成像模型

Fig. 5 Pinhole imaging model

将图 5 中的像平面 π 改为原点为点 O 、半径为 f 的半球面 π_2 ,则可求其像高 y_0' :

$$y_0' = f \sin w. \quad (6)$$

通过改变半球面为像面,就可以得出不同的鱼眼镜头的几何模型,如图 6 所示.

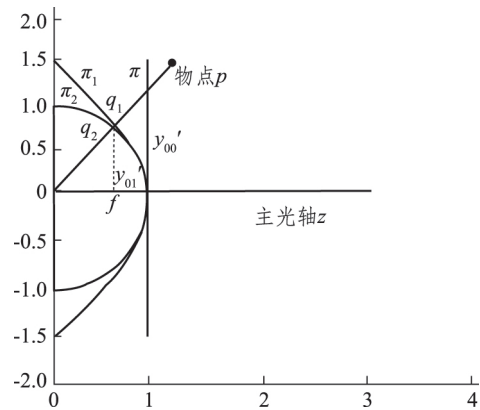


图 6 鱼眼镜头成像的几何模型

Fig. 6 Geometric model of fisheye lens imaging

图 6 的曲面 π_2 为球面,而曲面 π_1 是满足“等距成像”公式的曲面,由鱼眼镜头的对称性及前述的等距成像公式便可推出 π_1 的解析式:

$$z = \left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{f} \right) \cot \left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{f} \right). \quad (7)$$

没有畸变的适应人眼观察习惯的图像是由小孔成像原理^[9]得出,即在平面 π 上成的像.如果能根据曲面 π_1 上的成像计算出平面 π 上的成像,便可得到校正图像.图 6 中物点 p 在曲面 π_1 和平面 π 上分别形成像点 q_1 和 q ,像高分别为 y_{01}' 和 y_{00}' ,则:

$$y_{01}' = \arctan \left(\frac{y_{00}'}{f} \right). \quad (8)$$

通过将平面 π 左右平移便可改变其小孔成像的焦距,同时也可改变校正后的视场角大小.这样就可以实现“推近拉远”的效果.设原鱼眼图像的焦距为 f ,校正后图像成像的焦距为 f' ,则:

$$y_{01}' = f \arctan \left(\frac{y_{00}'}{f} \right), \quad (9)$$

即为等距投影鱼眼图像的平面校正公式.按照同样的原理也可得出其他多种投影方式的鱼眼图像的平面校正公式,此处不做赘述.

另外,摄像机的焦距可表示为: $f = \frac{2r}{\pi}$,其中: r 表示圆的半径; f 表示焦距,其单位为像素.

设校正后的图像高为 h ,宽为 w ,其中包含的任意点 $A(x, y)$,可对应鱼眼图像像点 $A'(x', y')$.假设校正后图像的几何中心恰好位于图像的几何

中心,且重合于 $O(\frac{w}{2}, \frac{h}{2})$, 则点 A' 的像高和坐标可表示为:

$$h_{A'} = \frac{2r}{\pi} \arctan \left(\frac{\sqrt{(x - \frac{w}{2})^2 + (y - \frac{h}{2})^2}}{\frac{2r}{\pi}} \right), \quad (10)$$

$$x' = \left(\frac{h_A (x - \frac{w}{2})}{\sqrt{(x - \frac{w}{2})^2 + (y - \frac{h}{2})^2}} \right) + \frac{w}{2}, \quad (11)$$

$$y' = \left(\frac{h_A (y - \frac{h}{2})}{\sqrt{(x - \frac{w}{2})^2 + (y - \frac{h}{2})^2}} \right) + \frac{h}{2}. \quad (12)$$

由式(11) ~ (12) 可以得出校正图像的坐标值,然后再利用插值算法计算出每个像素的灰度值,本文采用双线性插值方法.

4 鱼眼图像 2D 校正结果

基于几何模型^[10]的方法构造了鱼镜头成像的几何模型,利用焦距来拉近和缩短图像距离光心的距离,可以将鱼眼图像中心向外凸的部分校正地更好.为验证几何模型方法的有效性,本文选取不同类型的鱼眼图像进行实验,所有实验均在 Intel(R) Core(TM) i5 - 6200U CPU @ 2.30GHz 2.40 GHz 硬件环境及 MATLAB 软件环境下实现.实验效果如图 7 ~ 10.



(a) 远景鱼眼图像及校正图像



(b) 近景鱼眼图像及校正图像

图 7 基于几何模型的校正结果

Fig. 7 Correction results based on geometric model



(a) 鱼眼图像 (b) 校正图像

图 8 建筑物鱼眼图像校正

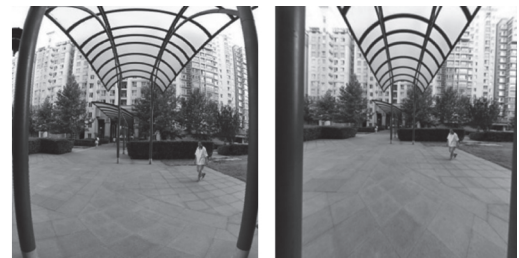
Fig. 8 Fisheye image correction of the building



(a) 鱼眼图像 (b) 校正图像

图 9 中心近景鱼眼图像校正

Fig. 9 Fisheye image correction of the center view



(a) 鱼眼图像 (b) 校正图像

图 10 纵深鱼眼图像校正

Fig. 10 Depth fisheye image correction

图 7 (a) 远景鱼眼图像分辨率为 $1333 * 2000$, 图 7 (b) 近景鱼眼图像分辨率为 $768 * 762$. 由于基于几何模型的校正方法比较贴近鱼镜头的成像原理,对图像中间凸出来的部分有向后推的效果,校正后的图像边缘没有弯曲的线条,整体效果较好,校正时间均在 4 s 以内.

为了验证几何校正的鲁棒性,本文对不同类别的畸变均进行了实验,结果如图 8 ~ 10 所示.图 8 为正面拍摄建筑物的鱼眼图像:(a) 为畸变图像,(b) 为基于几何模型校正后的结果.从图中可以明显地看出对于中心凸起效果的修正以及屋檐、彩旗及楼梯的直线的校正效果.图 9 为中心近景鱼眼图像:(a) 为畸变图像,(b) 为校正后的图像.从图 9 (b) 可以看出:对于建筑物的直线校正

效果较好,但对于中心近景图像有偏大的拉伸.图10是对纵深鱼眼图像的校正,从图10(b)的地砖及柱子的校正结果可看出:基于几何模型的方法对于原图直线部分的校正效果很好.这几种不同类型的鱼眼图像校正结果证明:基于几何模型的方法对于鱼眼图像的中心凸出部分及边缘直线的校正具有较好的效果.

5 结语

本文主要采用2D校正方法,在保证合适的校正精度前提下,更简便、快速地得到校正图像.主要过程为先通过区域生长算法得到鱼眼图像的有效区域,然后基于几何模型方法对畸变区域进行校正.此类鱼眼图像2D校正方法计算量较小,校正过程简单快速,应用广泛.但2D校正在精度方面还存在一定的不足,如果实际中要求高精度畸变校正,则需采用基于3D校正的方法.3D校正方法运用了空间变换及严格的摄影几何原理,可得到精度更高的校正效果,这也是作者以后需要继续研究的方向.

参考文献:

[1] 张伟.鱼眼图像校正算法研究[D].南京:南京邮电

大学,2011.

- [2] 李根,费章君,杨仕友.基于几何成像模型鱼眼镜头图像校正算法和技术研究[J].机电工程,2013(10):106-110.
- [3] XIONG Y, TURKOWSKI K. Creating image-based VR using a self-calibrating fish-eye Lens [C] // IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1997: 237-243.
- [4] 王依卓.鱼眼图像的校正与柱面全景拼接方法[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2013.
- [5] 孙丽华.基于鱼眼镜头的全视觉图像研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2008.
- [6] 王大宇,崔汉国,陈军.鱼眼图像轮廓提取及校正研究[J].计算机工程与设计,2007,28(12):2878-2879.
- [7] 张伟.基于球面坐标定位法校正鱼眼图像[J].中国多媒体通信,2010,6:62-64.
- [8] 贾云得,吕宏静,徐案.一种鱼眼镜头成像立体系统的标定方法[J].计算机学报,2000,23(11):1215-1219.
- [9] 杨恒.鱼眼图像拼接的研究及实现[D].武汉:武汉理工大学,2013.
- [10] 杨晶晶,陈更生,尹文波.一种基于几何性质的鱼眼图像校正算法[J].计算机工程,2012,38(3):203-205.

2D Correction of Fisheye Image Distortion

LIU Peng^a, XIAO Bin^b, ZOU Pizhen^a, JU Guofa^a, FU Yumeng^c, SUN Yujuan^c

(a. Security Office; b. Assets Department; c. School of Information and Electrical Engineering, Ludong University, Yantai 264039, China)

Abstract: Fisheye lens has the big view angle with the wide perspective ($180^\circ \sim 270^\circ$) and the short focal length. Images captured by fisheye lens have been applied in many aspects, such as video monitoring, panoramic image stitching, etc. Due to the large distortion of captured images which is not consistent with the habit of human eye observation, the correction of fish-eye image will make a significant sense. This paper mainly introduces how to preprocess the input fish-eye image and extract the effective region, and then use the 2D geometric correction method. Finally, the correction results in various types of distorted images show the advantages of the geometric correction method.

Keywords: fisheye image; active region; 2D image correction

(责任编辑 李秀芳)