

鱼眼图像轮廓提取方法的对比^①

江芳, 袁纵横

(桂林电子科技大学 电子工程学院, 桂林 541004)

摘要: 要从鱼眼图像恢复出实际的场景图像, 其前提是必须准确地提取出鱼眼图像的轮廓, 而提取鱼眼图像的轮廓也就是确定鱼眼图像的中心和半径。从提取鱼眼图像轮廓着眼比较了最小二乘拟合法、面积统计法、扫描线逼近算法、改进的扫描线逼近算法等各自的优缺点。其中改进的扫描线逼近算法具有准确地提取鱼眼图像轮廓, 计算量小, 实时性好, 校正效果好的特点。

关键词: 鱼眼图像; 圆心; 半径; 轮廓提取; 扫描线逼近

Contrast of Contour Extraction of Fish Eye Image

JIANG Fang, YUAN Zong-Heng

(School of Electronic Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: To resume actual image from fish eye image, the Precondition is contour extraction of fish eye image truly. At the same time, contour extraction of fish eye image is also to find the center and radius of fish eye image. This paper is to compare calculating the area of the square method, the circular region, scan line approach algorithm and the improved scan line of approach algorithm. The improved scan line of approach algorithm has the advantage of veracity, the less calculate amount, the good real-time and the fine Calibration results.

Keywords: fish eye image; center; radius; contour extraction; scan line approach

1 引言

图像拼接在实际的众多科技和工程实例, 如医疗图像, 地质勘查, 全景漫游领域中得到广泛的应用, 由于在分析过程中要用到超广角视角, 甚至全视角的图片, 目前照相机拍摄视角限制, 无法用同一台摄像机直接生成一幅全景照片, 一般采取的措施是在一个时间段内拍摄一组存在重叠区域的照片, 通过软件拼接的手段, 得到所需的全景照片。普通镜头由于其视角小, 要拼接一幅全景图需要很多张图片, 在某些获取图片比较困难的场合, 鱼眼镜头就有着不可替代的作用^[1]。

鱼眼镜头是一种焦距极短、视角特大的镜头, 它的视角可以达到 $180^\circ \sim 270^\circ$ 。其镜头像鼓起的眼, 鱼眼镜头因此而得名, 拍摄的图像存在严重的扭曲变形。相对于普通相机的平面镜头, 鱼眼镜头采用的是

半球面镜头的非线性结构, 该镜头的物理结构决定了在相同的面积下, 其能够拍摄采集的视角范围将远远大于平面镜头, 但同时成像的边缘也会产生较大的形变^[2]。拍摄出来的照片圆心位置图像信息量最大, 形变最小, 随着半径的增加, 信息量逐渐减少且形变不断增大。在拍摄难度较大时, 获取全景视图可用鱼眼镜头拍摄, 需要的图像少, 一般只要 2-3 幅鱼眼图像就可以得到全景视图^[3]。不过, 这需要对扭曲变形的鱼眼图像校正才可以进行全景拼接。

如图 1, 除去四周黑色部分, 中间采集的图像部分即为鱼眼图像的有效区域。由于鱼眼镜头获得的图像是四周有暗景、中间嵌有圆形区域的图像 (即有效区域、和无效区域), 此文的目的是找到这个圆形部分, 即找到它的圆心与半径。然后根据其圆心和半径, 采用经纬度校正算法对鱼眼图像进行校正, 使其成为本

^① 基金项目: 广西区研究生创新基金

收稿时间: 2010-08-09; 收到修改稿时间: 2010-10-03

文中比较了几种提取鱼眼图像轮廓的方法,分析了各自的优缺点。本文中改进的扫描线逼近算法弥补了其他方法的不足,其建立新的扫描线、控制阈值的选取以及对半径进行修正等方法对扫描线逼近算法进行改进,以提高精度和对噪点的抑制能力^[4]。



图 1 鱼眼图像

2 鱼眼图像成像原理

鱼眼镜头可看作一个半球,并满足球面投影模型。如下图,以原点 O 为中心,把镜头放在 O 点处, XOY 是像平面,拍摄方向为沿 oz 轴。空间中任一点 A_0 , A_0 连接 O 点与半球交于 A_1 点,再做 oz 轴的平行线 A_1A_2 交 XOY 面于 A_2 点,即 A_2 点为空间点 A_0 的像点。当拍摄场景达到 180° 时,图像将布满圆平面,形成一副完整的鱼眼图像,由此可知鱼眼图像的有效区域是圆形的^[5]。

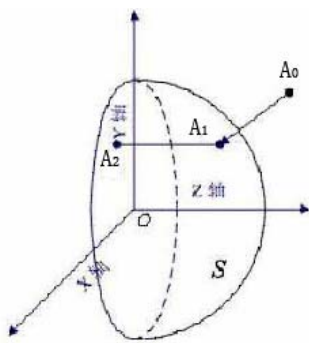


图 2 鱼眼图像成像模型

3 鱼眼图像轮廓提取的方法

鱼眼图像存在严重变形,我们在获取全景拼接时首先要进行校正再使用。目前对鱼眼图像校正已得到广泛的研究,首先我们校正的第一步应该是找到鱼眼图

像有效区域的轮廓,由于鱼眼图像是圆形或者接近圆形,故我们要找到图像的半径和圆心即为找到鱼眼图像的轮廓^[6]。

对于确定鱼眼图像轮廓的方法,总结一下方法有如下几种。

3.1 最小二乘拟合法

先介绍一下图像灰度的概念,像素灰度值计算公式(式中 r, g, b 分别表示图像红色,绿色,蓝色分量)。

$$I = 0.59r + 0.11g + 0.33b \quad (1)$$

求解圆方程一般的思路是采用拟合的方法。由于鱼眼图像在圆形区域外像素点的灰度值很小,而在圆形区域内灰度值很小的像素点是比较少的,可以定义较小阈值,由此对图像进行二值化,然后对得到的图像做轮廓跟踪,例如可采用逐行扫描的方法,可求得圆周上的所有像素点,然后用最小二乘法拟合圆方程即可求得圆心和半径。具体算法如下:

设鱼眼图像的圆心 $P_0 = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix}$, 半径为 r , 通过轮廓

跟踪得到的鱼眼图像轮廓上的点

$$P_1 = \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix}, P_2 = \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \end{bmatrix}, \dots, P_n = \begin{bmatrix} x_n \\ y_n \end{bmatrix}$$

令

$$S = (\sqrt{(P_i - P_0)^T (P_i - P_0)} - r)^2 \quad (2)$$

根据最小二乘法定义,可得

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial r} = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial P_0} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

将(2)(3)式联立,可得到一个关于 x_0, y_0, r 的非线性方程组,由于方程组是非线性的,要直接求得解析解,是比较困难的。但所幸的是,由于鱼眼图像的成像位置都大致在某个比较固定的区域内,可以先给出 x_0, y_0, r 的估计值,然后在一定的范围内进行搜索,找到使得 S 最小的 x_0, y_0, r 的值,即为所要求的值。但这种方法计算量大,而且由于使用的是搜索的方法,精度达不到应用的要求^[7]。

3.2 面积统计法

由于一般拍摄鱼眼图像的有效区域的灰度值较小的像素点很少,由此我们可以采用面积统计法^[8]。

首先定义一个阈值 T (考虑到一般数码相机噪点的灰度大部分小于 30, 四周黑色区域的绝大部分亮度值也小于 30, 故取 $T=30$), 将像素灰度值 I 的值大于 T 的点的面积 Sum 求出, 同时求出 I 之和大于 T 点的一次距 $\sum x, \sum y$, 其中 (x, y) 为鱼眼图像的像素坐标, 那么, 很容易推出以下结论:

$$r = \sqrt{\frac{Sum}{\pi}}, \quad x_0 = \frac{\sum x}{Sum}, \quad y_0 = \frac{\sum y}{Sum}$$

其中 r 为鱼眼图像半径, (x_0, y_0) 为鱼眼图像的圆心。

其实这种方法的在某些情况下的误差很大, 例如, 拍摄一幅黑色着装的人物, 该场景中灰度值很小的像素点还是很多的 (黑色的灰度值为 0), 此时用该方法的误差很大。

3.3 扫描逼近算法

位图中某一行(列)中像素的最大亮度与最小亮度之差, 称为行(列)的极限亮度差。

鱼眼图像的圆形有效区域集中了全部的景物信息, 该区域内的像素点亮度值远远大于有效区域之外像素点的亮度, 因此区域内的极限亮度差比有效区域之外的极限亮度差要大得多。基于鱼眼图像的这种特征, 提出鱼眼图像轮廓提取的扫描线逼近算法^[9]。

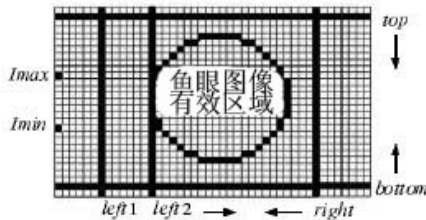


图 3 扫描线逼近算法示意图

如图 3 所示, 以位图像素点阵的行(列)建立扫描线(图 3 中 top,bottom,left,right)从图像的四周开始向中间扫描。当扫描线进入圆形区域时(如图中的 left1 扫描线到 left2 时), 为此, 可预先设定一个阈值 T , 当扫描线上的极限亮度差大于该阈值时, 则可以认为该扫描线已经扫描至鱼眼图像圆形有效区域的边缘。

计算每一条扫描线上各点的亮度 I , 确定每条扫描线上的最大亮度 I_{max} 和最小亮度 I_{min} , 则该扫描线的极限亮度差 I_{lim} 。

$$I_{lim} = I_{max} - I_{min}$$

通过比较极限亮度差 I_{lim} 和阈值 T (取 $T=30$), 即可确定鱼眼图像圆形区域的外切正方形, 从而确定圆形区域的圆心坐标和半径:

$$X_0 = \frac{X_{left} + X_{right}}{2}, \quad R_x = \frac{X_{right} - X_{left}}{2}$$

$$Y_0 = \frac{Y_{top} + Y_{bot}}{2}, \quad R_y = \frac{Y_{top} - Y_{left}}{2}$$

$$R_x = R_y$$

在理想状态下, 该方法可以精确地求取圆形区域的外切正方形, 但在实际情况下, 如果鱼眼图像的边缘存在黑色物体, 这时必然造成此方向求得的轮廓不准确, 使得扫描线截取的区域变成长方形。在理想情况下 (鱼眼图像轮廓边缘没有黑色和灰度值较小的像素点), 这种扫描线逼近算法误差很小, 但轮廓边缘存在灰度值很小的像素时, 就存在明显误差, 因此这种算法需要改进。

3.4 改进的扫描线逼近算法

此种算法主要是在前面介绍的扫描线逼近算法基础上, 就鱼眼图像有效区域边缘存在灰度值很小像素点的情况而进行的改进^[10]。

如果鱼眼图像的某个边缘存在着灰度值很小的像素(例如黑色物体), 必然造成此方向求得的轮廓边缘向中间偏移, 使得扫描线组成截取的区域变成长方形。为尽可能准确求得圆心和半径, 当 R_x 不等于 R_y 时, R 应该取 R_x 和 R_y 中比较大的那个, 长方形也要根据结果重新修正为正方形。此外, 扫描线算法在扫描过程中, 对图 4 中的阴影区域, 也就是由扫描线和图片边缘形成的位于图片四个角上的四个矩形进行了重复扫描, 造成了不必要的操作, 而且鱼眼图像有可能出现畸变, 变成椭圆, 原来的扫描线逼近算法对此没办法进行校正。为解决以上问题, 在此提出通过建立新的扫描线、控制阈值的选取以及对半径进行修正。

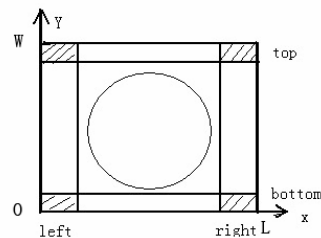


图 4 改进扫描线逼近算法示意图

1) 如图 4 所示, 建立直角坐标系, o 为鱼眼图像左下角的顶点, 开始扫描时, 各方向的扫描线两个端点在扫描完一次后分别减去一个像素, 可以有效避免

重复扫描，设计算机在四个方向上分别进行了 M_L 、 M_R 、 M_T 和 M_B 次扫描,则此时的水平扫描线的方程如下所示:

$$\begin{cases} Y_{top} = W - M_T \\ Y_{bot} = M_B \end{cases} \quad (X \in n | M_L < X < L - M_R)$$

铅垂扫描线方程:

$$\begin{cases} X_{left} = M_L \\ X_{rig} = L - M_R \end{cases} \quad (Y \in n | M_B < Y < W - M_T)$$

此时扫描线无重复扫描的区域，计算机需要对像素点操作的次数为： $N = LW - 4R^2$

可见扫描线只扫描有效区域外接正方形以外的区域，有效区域半径越大改进的算法效率越高。

2) 阈值的选取

对于扫描线算法而言，阈值的取值也是一个关键，阈值太高则容易造成有效区域半径偏小，而阈值太小则抗噪性不好，半径的取值偏大。

为了准确地提取轮廓，提高算法对于噪声的抑制能力，采取以下方法：

① 四条扫描线扫描各点的亮度，并与阈值 T 相比较；

② 当扫描到某点的亮度大于阈值 T 时，暂停扫描，并记录下该点坐标 $P(x, y)$ ；

③ 假设是左扫描线扫描到该点，那么获取该点右方与其相邻点 $Q(x, y + 1)$ 的亮度，并与阈值 T 相比较，若大于 T ，则 $P(x, y)$ 就是有效区域的边缘，若小于 T ，则继续重复步骤 1)，其他方向上的扫描线同理。

显然，如果 $P(x, y)$ 是有效区域边缘的话，那么 $Q(x, y + 1)$ 也位于有效区域内(对左扫描线而言)，如果 $P(x, y)$ 为噪点，那么 $Q(x, y + 1)$ 仍然为噪点(灰度值 $> T$) 的可能性非常小，因此用这种方法能够较好的避免噪点对于轮廓提取的干扰。

算法流程图如图 5 所示(以下扫描线为例)：

3) 半径的修改

当 $R_x = R_y$ 时，有两种可能，一种是存在黑色物体位于图像有效区域边缘，因此造成半径不等，另一种可能是图像发生了畸变，由圆形变成了椭圆， R_x 和 R_y 分别是椭圆的长短轴，扫描线逼近算法无法对两种情况加以区别的。

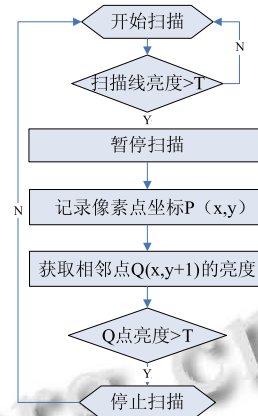


图 5 改进的扫描线算法示意图

设点 $P_t(x_t, y_t)$ 、 $P_r(x_r, y_r)$ 、 $P_l(x_l, y_l)$ 、 $P_b(x_b, y_b)$ 分别是用扫描线逼近算法求得的圆形区域在左右上下四个方向上与外接四边形的切点坐标。正常情况下， $P_t(x_t, y_t)$ 和 $P_r(x_r, y_r)$ 应该是在一条垂直方向上的直线上，即有：

$$\begin{aligned} y_t &= y_r = \frac{y_t - y_b}{2} \\ x_t &= x_b = \frac{x_r - x_l}{2} \end{aligned}$$

当有效区域为椭圆时，也能满足上面两式，只是 $R_x \neq R_y$ 。因此满足上面式子的图像，边缘不存在黑色物体，而是发生了畸变，对于这种图像，可以采取以下式子进行校正：

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & x_0 \\ k & ky_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix}$$

式中 x, y 为校正后的坐标， x', y' 为校正前坐标， k 为有效区域像素行数和列数的比值， x_0 和 y_0 为鱼眼图像中心点坐标(即四个切点中点)。

如果不满足上述公式，可认为是边缘存在黑色物体，此时也有两种可能，一种是图像发生了畸变，并且边缘存在黑色物体，另一种可能就是图像没发生畸变，而仅仅是在边缘有黑色物体。对于这两种情况，可根据以下方法来判断：

① 记录下四个切点的坐标，判断上下切点，左右切点是否共线。若上下切点不共线，则黑色物体在上下边缘，否则在左右边缘。

② 对不共线的两个切点，计算这两个切点到共线的两个切点的连接线距离。以黑色物体出现在边缘为例，如图所示，则下切点的横坐标等于左右切点中点

的横坐标。计算线段 a, c, 若相等, 则有效区域不存在畸变, 只是边缘有黑色物体存在; 若不等, 则既有畸变又有黑色物体在边缘。

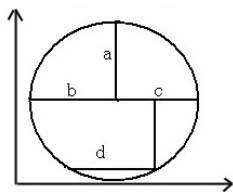


图6 修正有效区域半径

若只要黑色物体在边缘, 则可以按照扫描线逼近算法, 计算有效区域的半径和圆心, 若两种情况都存在, 则视 a 和 c 的大小确定椭圆长短轴, 将椭圆校正为圆。



图7 扫描线逼近算法确定的图像轮廓



图8 改进的扫描线逼近算法确定的图像轮廓

4 结束语

本文就鱼眼图像的校正问题进行了研究, 理想的鱼眼图像是圆形, 畸形的鱼眼图像可能会变为椭圆形, 我们要矫正鱼眼图像就要先确定图像的轮廓, 本文就几种确定鱼眼图像轮廓的方法进行了研究比较, 最后确定改进的扫描线逼近算法是目前最为理想的方法。

参考文献

- 1 廖训佚, 张小洪等. 鱼眼图像全景拼接系统[硕士学位论文]. 重庆: 重庆大学, 2009.
- 2 唐骏, 赵为民, 谷峰. 基于鱼眼图像的全景漫游模型. 微机发展, 2003, 13(2): 69.
- 3 唐骏. 鱼眼图像轮廓提取算法研究. 微机发展, 2004, 14(10): 9-10.
- 4 肖诗勤, 杨关良. 一种改进的鱼眼图像轮廓提取算法. 计算机与数字工程, 2010, 15(1): 147-150.
- 5 王大宇, 崔汉国, 陈军. 鱼眼图像轮廓提取及校正研究. 计算机工程与设计, 2007, 28(12): 2878-2882.
- 6 孙丽华. 基于鱼眼镜头的全视觉图像研究[硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2008.
- 7 吴方, 王霞. 鱼眼镜头图像变形校正算法研究. 计算机科学, 2009, 36(4B): 109-111.
- 8 Szeliski R. Video mosaics for virtual environment. IEEE Computer Graphics and Applications, 1996, 16(2): 22-30.
- 9 Li SG, Nakano M, Chiba N. Acquisition of spherical image by fish-eye conversion lens. IEEE Computer Society 2004: 235-236.
- 10 Lowe DG. Distinctive image features from scale-invariant keypoint. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110.