

# 基于最小二乘法的鱼镜头轮廓提取算法

王波涛 闫跃 赵轩

(北京工业大学电子信息与控制工程学院 北京 100124)

**摘要:** 鱼镜头图像的超大广角优点的代价是具有不可忽视的视觉畸变,而鱼镜头轮廓提取是畸变图像矫正的前提,结合最小二乘法对镜头轮廓进行圆形拟合,引入迭代修正方法利用计算得出圆心和半径数据对边缘点进行筛选,利用反馈环节进行圆心和半径的修正来保证数据的精确性。另外当镜头无效区域中出现大量反光区时,再引入一种邻域权值的图像二值化方法,该方法对镜头成像区外的反光区有很好的抑制作用。实验表明,该方法精度高,稳定性好,适应性强。

**关键词:** 鱼镜头;轮廓提取;最小二乘法;邻域权值

中图分类号: TN919.82 文献标识码: A 国家标准学科分类代码: 520.6040

## Extraction algorithm of least square method based on fish-eye lens contour

Wang Botao Yan Yue Zhao Xuan

(Electronic Information and Control Engineering College, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

**Abstract:** Although with the advantages of super wide angle in the fisheye image, we can't ignore large visual distortion from the image. Fisheye distorted image contour extraction is the premise of correcting picture. With the method of least squares fitting circular contour, we introduce the use of iterative correction method to calculate the center and radius of the data points on the edge of the filter, we use feedback link to amend center and radius in order to ensure the accuracy of data. Also in this paper, when there are large reflective areas in the invalid lens area, we proposed a neighborhood weights method to generate the binary image which could suppress reflex areas outside the region. Experiments show that this method has high precision, good stability, and strong adaptability.

**Keywords:** fisheye lens; contour extraction; the least square method; neighborhood weights

### 1 引言

目前在计算机图形图像研究领域,比如图像拼接、三维成像,普通的镜头往往不能满足研究需要,尤其是对于获得大广角、大尺度的全景图像的需要,因此鱼镜头应运而生。鱼镜头焦距极短,根据光学原理可知,焦距越短,视角越大,因此鱼镜头属于超广角镜头,视角范围超出正常人眼范围,可获取接近 $180^\circ$ 的图像信息<sup>[1]</sup>,也就是说至多需要3张鱼镜头所拍摄图像就能够完成 $360^\circ$ 的全方位视觉图像的拼接。鱼镜头图像的超大广角特点,使得镜头所拍摄图像能够给人十分强烈的透视效果,然而这种震撼人心的感染力不得不以图像景物畸变作为代价。这种畸变的结果就是只有镜头中心景物几乎没有畸变,其他地方都存在严重的景物失真,这种失真规则是,越远离

镜头中心的景物形变越严重。要想在这种严重失真图像的基础上恢复出真实景物,就需要进行失真图像的几何校正<sup>[2]</sup>,校正之前一项重要的工作就是求取镜头成像区域的圆心和半径,继而精准的提取出镜头轮廓。

镜头轮廓提取算法主要有面积统计法,扫描线逼近法<sup>[3]</sup>,传统最小二乘法。其中面积统计法<sup>[4]</sup>中,当镜头拍摄图像中存在大量深色物体,比如黑色物体时,就会造成统计灰度和偏小,在这种情况下造成的误差很大。扫描线逼近法的缺点是,当镜头边缘出现黑色物体时,不能判断是景物区域还是镜头外的无效区域。对于文献<sup>[5]</sup>中使用的非线性最小二乘法确定圆心半径,首先要知道圆心的搜索范围,查找符合要求的点,由于要先具备一定的先验知识,因此往往精度达不到要求。

针对实景图像,使用邻域权值的二值化方法进行图像

收稿日期:2015-02

二值化,提取镜头边缘,进而采用最小二乘法进行圆心半径的计算,通过反馈回路,进行数据的迭代修正。不同于文献中提及的方法,不用预先知道圆心的大致范围进行搜索。

## 2 鱼眼镜头成像机制

鱼眼镜头的前镜片呈抛物状向前部凸出,与鱼眼颇为相似,也因此而得名,如图1所示。镜头呈半球状,具有 $180^\circ$ 视角范围。在图1中的三维成像空间中, $O$ 点为成像空间原点, $XOZ$ 为像平面, $OY$ 为拍摄方向。图1中, $Q$ 点为空间中一点, $O$ 点和 $Q$ 点连线 $OQ$ 交球面于 $P$ 点,过 $P$ 点沿 $OY$ 方向做 $XOZ$ 平面上的投影得到 $S$ 点, $S$ 点就是空间 $Q$ 点经过拍摄后在像平面的所对应的像点,可以看出,空间中任意一点都可以在圆形像平面上找到对应的像点。

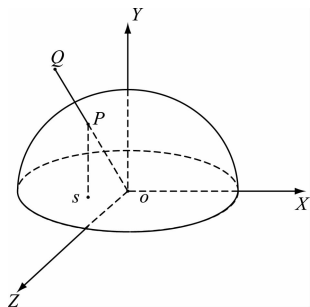


图1 鱼眼镜头成像机制

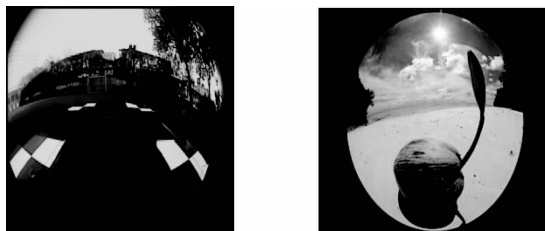
## 3 鱼眼镜头轮廓提取算法

### 3.1 鱼眼图像特征分析

鱼眼镜头可以拍摄 $180^\circ$ 视角范围内的全部景物信息,经过对不同批次鱼眼镜头所拍摄图像进行分析,得出图像特征如下:

1)鱼眼镜头拍摄的图像在镜头的有效区域灰度值普遍偏大,在无效区域的灰度值偏小<sup>[6]</sup>,这种差别为图像的二值化提供了便利,利用图像该特征,采用一定的二值化方法,进行二值化,进而实现成像区域边缘像素的提取。由于全局二值化往往因为噪声干扰效果不够理想,提出了邻域权值二值化方法,下文将予以详细介绍。

2)由于镜头规格不同,有的图像呈现完整的圆形成像区域,如图2(a),有的图像呈现非完整圆形成像区域,如图2(b)。



(a)非完整镜头轮廓

(b)完整镜头轮廓

图2 不同镜头的图片特点

在具有非完整镜头轮廓的进行边缘检测后,由于不能呈现完整镜头轮廓<sup>[7]</sup>,图像边界上将出现水平或者竖直的伪轮廓,为了能够在后续的最小二乘圆心半径的计算中得到精准的计算结果,该文提出,先进行非整形镜头伪轮廓的去除,根据初步筛选后的边缘点参与后续计算,需要指出的是,不论是呈现完整镜头轮廓图像还是非完整轮廓图像,这里所使用的边缘点筛选模块并不对二者进行区分,因为如果是完整镜头轮廓图像这一步操作不会对原始边缘检测结果造成影响。

### 3.2 实现流程

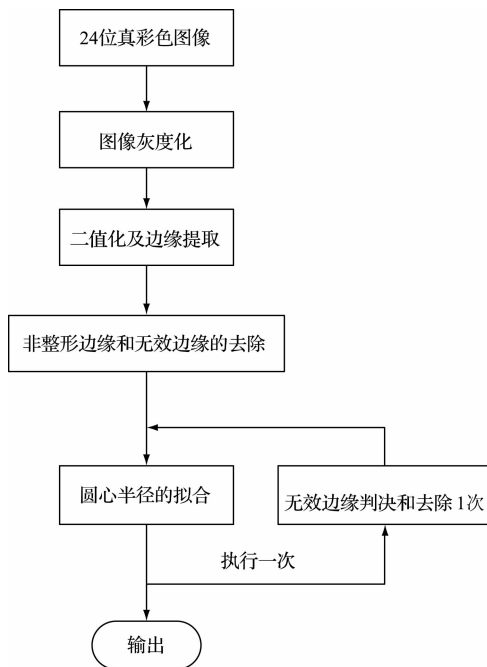


图3 算法流程

### 3.3 算法原理

#### 1)邻域权值二值化方法

对于灰度化后的彩色图像<sup>[8]</sup>,在以 $f(i,j)$ 为中心“十字形”邻域中,存在4个像素点,如图4所示,分别是 $f(i-1,j)$ , $f(i+1,j)$ , $f(i,j-1)$ , $f(i,j+1)$ ,根据鱼眼轮廓特征,镜头轮廓通常都是亮度突变点,为了表示像素点其邻域像素点的“突变”关系,分别定义中心像素点 $f(i,j)$ 和其4个邻域像素的差值:

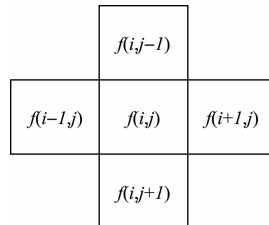


图4 像素邻域

$$Dup = |f(i,j) - f(i,j-1)|$$

$$\begin{aligned} D_{down} &= |f(i, j) - f(i, j+1)| \\ D_{left} &= |f(i, j) - f(i-1, j)| \\ D_{right} &= |f(i, j) - f(i+1, j)| \end{aligned} \quad (1)$$

$$sum = w_1 \times Dup + w_2 \times D_{down} + w_3 \times D_{left} + w_4 \times D_{right} \quad (2)$$

并在不同方向上设置不同的权值进行相加统计,上式中  $w_1, w_2, w_3, w_4$  是对应于上、下、左、右的权值,对于统计结果  $sum$  设置阈值  $T_1$ ,当  $sum$  大于  $T_1$  时改变  $f(i, j)$  点的像素值为 1,反之则为 0。

该方法的优越性在于检测镜头轮廓的同时,也可以消除一部分镜头反光区的干扰,当镜头中的场景存在直射光时,在镜头真实轮廓的周围往往存在一部分反光区,该区域灰度值和场景灰度值接近,虽然人眼能够有效识别该区域,但是计算机不能分辨出对反光区和实景区,使用的邻域权值二值化方法可以消除大部分反光区,为后续模块提供了有力的保障。

## 2) 最小二乘法圆心和半径的计算

最小二乘法<sup>[9]</sup> (least squares analysis) 通过使误差平方和最小化来找到数据的最佳统计函数。利用相关数学推导,把非线性函数转换为线性方程的求解,进行圆心半径的拟合。

边缘检测后得到的像素集合构成样本集  $(x_i, y_i)$ , 其中  $i \in (1, 2, 3, \dots, N)$ 。设圆心的坐标为  $(A, B)$ , 点到该圆心的距离平方是:

$$d_i^2 = (x_i - A)^2 + (y_i - B)^2 \quad (3)$$

设置圆的真实半径是  $R$ , 样本集中的点到圆心的距离与半径的平方差为:

$$u_i = d_i^2 - R^2 \quad (4)$$

令  $Q(a, b, c)$  为  $u_i$  的平方和:

$$Q(a, b, c) = \sum u_i^2 = \sum [x_i^2 + y_i^2 + ax_i + by_i + c]^2 \quad (5)$$

求参数  $a, b, c$  使得  $Q(a, b, c)$  的取得最小值平方差  $Q(a, b, c)$  大于 0, 因此该函数存在大于或者等于 0 的极小值,极大值为无穷大。

$Q(a, b, c)$  对  $a, b, c$  求偏导数,令倒数等于零,得到极值点,比较所有极值点函数即得到最小值。

$$\frac{\partial Q(a, b, c)}{\partial a} = \sum 2(x_i^2 + y_i^2 + ax_i + by_i + c)x_i = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial Q(a, b, c)}{\partial b} = \sum 2(x_i^2 + y_i^2 + ax_i + by_i + c)y_i = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial Q(a, b, c)}{\partial c} = \sum 2(x_i^2 + y_i^2 + ax_i + by_i + c) = 0 \quad (8)$$

解该方程组先消去  $c$ :

式(6)  $\times N$  - 式(8)  $\times \sum x_i$  得:

$$N \sum 2(x_i^2 + y_i^2 + ax_i + by_i + c)x_i - \sum 2(x_i^2 + y_i^2 + ax_i + by_i + c) \times \sum x_i = 0 \quad (9)$$

化简:

$$N \sum (x_i^2 + y_i^2 + ax_i + by_i)x_i - \sum 2(x_i^2 + y_i^2 + ax_i + by_i) \times \sum x_i = 0 \quad (10)$$

展开为  $a, b$  的二元方程:

$$(N \sum x_i^2 - \sum x_i \sum x_i)a + (N \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i)b + N \sum x_i^3 + N \sum x_i y_i^2 - \sum (x_i^2 + y_i^2) \sum x_i = 0 \quad (11)$$

式(7)  $\times N$  - 式(8)  $\times \sum y_i$

$$N \sum 2(x_i^2 + y_i^2 + ax_i + by_i + c)y_i - \sum 2(x_i^2 + y_i^2 + ax_i + by_i + c) \times \sum y_i = 0 \quad (12)$$

化简:

$$N \sum (x_i^2 + y_i^2 + ax_i + by_i)y_i - \sum 2(x_i^2 + y_i^2 + ax_i + by_i) \times \sum y_i = 0 \quad (13)$$

展开为  $a, b$  的二元方程:

$$(N \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i)a + (N \sum y_i^2 - \sum y_i \sum y_i)b + N \sum x_i^2 y_i + N \sum y_i^3 - \sum (x_i^2 + y_i^2) \sum y_i = 0 \quad (14)$$

可以解得二元方程组:

$$\begin{cases} \alpha a + \beta b + \chi = 0 \\ \beta a + \delta b + \epsilon = 0 \end{cases} \quad (15)$$

式中:

$$\begin{aligned} \alpha &= N \sum x_i^2 - \sum x_i \sum x_i \\ \beta &= N \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i \\ \chi &= N \sum x_i^3 + N \sum x_i y_i^2 - \sum (x_i^2 + y_i^2) \sum x_i \\ \delta &= N \sum y_i^2 - \sum y_i \sum y_i \\ \epsilon &= N \sum x_i^2 y_i + N \sum y_i^3 - \sum (x_i^2 + y_i^2) \sum y_i \end{aligned} \quad (16)$$

方程的解为:

$$\begin{aligned} a &= \frac{\epsilon \beta - \chi \delta}{\alpha \delta - \beta^2} \\ b &= \frac{\epsilon \alpha - \chi \beta}{\beta^2 - \alpha \delta} \\ c &= -\frac{\sum (x_i^2 + y_i^2) + a \sum x_i + b \sum y_i}{N} \end{aligned} \quad (17)$$

得  $A, B, R$  的估计拟合值:

$$\begin{aligned} A &= -\frac{a}{2} \\ B &= -\frac{b}{2} \\ R &= \frac{1}{2} \sqrt{a^2 + b^2 - 4c} \end{aligned} \quad (18)$$

## 3.4 算法具体实现过程

步骤 1 对输入的图像进行灰度化,使用:

$$gray = \frac{1}{3}(R + G + B) \quad (19)$$

式(19)进行输入 24 位彩色图像的灰度化。

步骤 2 使用上文提及的邻域权值二值化方法<sup>[10]</sup>,对得到的灰度图像进行二值化,在式(2)中求得  $sum$ ,经过大量实验数据得知,当  $sum$  大于  $T_1$  时,把该点像素值置为 1,否则置为 0,如式(20):

$$f(i, j) = \begin{cases} 1; (if sum > T_1) \\ 0; (if sum \leq T_1) \end{cases} \quad (20)$$

步骤 3 把图像中心分成左右的两半,对于每一行数据,分别从左右进行搜索,得出镜头二值化轮廓,如图 5 所示搜索路径示意。使用该方法进行边缘提取的优点是可以不考虑图像内部结构,避免图像内部的边缘对轮廓边缘造成干扰。

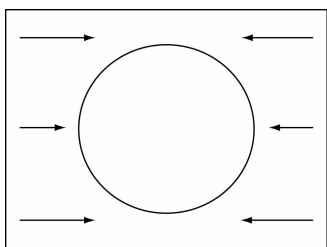


图 5 边缘搜索路径

步骤 4 由于图像有时候呈现出非整形的圆形区域,采用水平投影法<sup>[11]</sup>,去除被图像截断的镜头边缘。具体实现步骤是对每一列像素设置累加器,累加器用来统计其所对应的列中像素值为 1 的像素点的数目,当某一列的累加器的值超过  $T_2$  时,则在边缘像素集合中舍弃该列像素。另外,以图像中心点作为基准点,提出边缘像素集合中离图像中心过近的像素点。远近的衡量标准选用图像宽度的一半。

步骤 5 对剩下的边缘点,进行最小二乘法的圆心和半径的计算,该法的具体实现步骤详见上文。

步骤 6 利用计算得到的圆心和半径,计算每个边缘点到圆心距离,剔除一些过近和一些过远的像素点,进行迭代运算,重复步骤 5。得到新的圆心和半径。

在上述操作中,可以多次迭代执行步骤 6 来实现圆心半径的准确计算,但是实验表明迭代 2 次即可达到视觉要求。

#### 4 实验结果

根据上文中提及的方法进行了大量的实验,不论镜头外是否出现反光区域均取得了较好的实验结果,部分实验结果如图 6 和 7 所示。

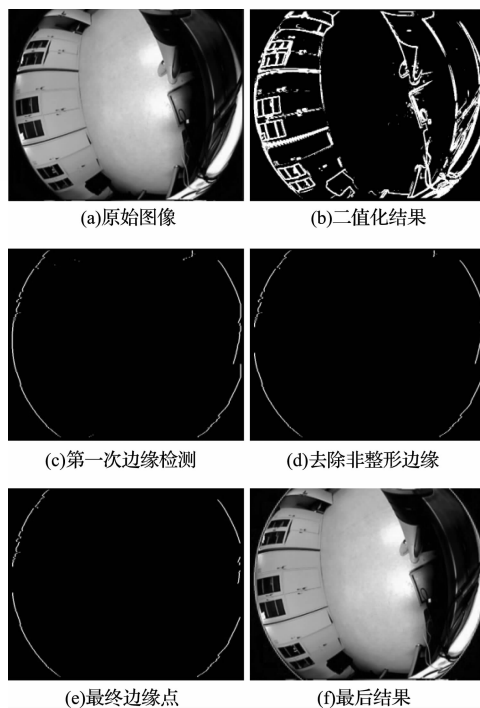


图 6 镜头外没有反光区的处理效果

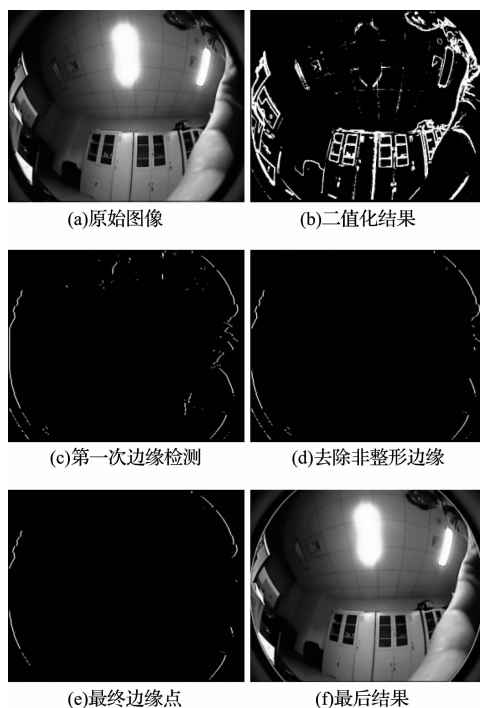


图 7 镜头外存在反光区的处理效果

图 6(a)和图 7(a)是原始图像,可以看出图 6(a)镜头外几乎没有反光区,图 7(a)中的镜头外部具有很明显的反

光区。图 6(b)和图 7(b)是使用上文提及的邻域二值化方法进行灰度图像的二值化,经过大量的实验,这里设置步骤 7 中的阈值  $T_0$  为 70,可以得到非常好的效果,实验数据表明  $T_0$  在 [65,75] 之间为最佳阈值,可以看出经过邻域二值化后两组图像均已消除反光区影响,为后续操作奠定了基础。图 6(c)和图 7(c)是对二值化图像进行镜头轮廓的初步提取结果,可以看出图 6(c)中无效边缘点较少,图 7(c)中则出现了大量的无效边缘点。首先,由于镜头的不完整,靠近图像左边出现的竖直的边缘线,这是由于焦距过短造成整个圆形镜头没有全部显示在图像中,而形成的直线型“伪轮廓”;其次,图 7(c)中也存在很多干扰边缘点,这些干扰边缘点明显位于距离图像中心较近的区域。图 6(d)和图 7(d)分别和图 6(c)和图 7(c)进行对比,即去除了非完整镜头造成的图像边缘的直线型“伪轮廓”,也去除了距离图像中心像素过近的边缘点。在此基础上,进行了最小二乘的圆心和半径的计算,利用所得结果,又去除了一部分不符合要求的边缘点,图 6(e)和图 7(e)是最后留下的边缘点。最后利用图 6(e)和图 7(e)中留下的边缘点,再一次使用最小二乘法进行圆形轮廓的拟合,拟合结果如图 6(f)和图 7(f)。

## 5 结 论

该文中所描述的方法主要是针对鱼眼镜头图像的有效区域像素灰度值普遍偏高,无效区域灰度偏低的鱼眼图像特点,从上文试验结果可以看出,当镜头无效区域中出现大量反光区时,本文中通过邻域权值的二值化方法,可以实现对反光区进行有效的去除,进而在边缘点的基础上实现最小二乘法的圆心和半径的计算,使用迭代修正方法对边缘点进行筛选来保证数据的精确性。经过不同场景的实验验证表明,本文具有较强的适应性,但是当镜头区域被超过 70% 遮挡时,效果不好,基于上述确定还需继续研究和改进。

## 参 考 文 献

- [1] 郑丽平,徐刚强,李琳,等.非线性畸变分布椭圆鱼眼镜头成像建模和校正[J].仪器仪表学报,2012,33(6):1331-1337.
- [2] 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.
- [3] 李茜.小视场长焦距光电系统畸变测量校正方法研究[J].国外电子测量技术,2012,31(2):35-39.
- [4] 常丹华,赵丹,杨峰明.提取鱼眼图像轮廓的算法改进及图像校正[J].激光与红外,2012,42(4):105-106.
- [5] 肖诗勤,杨关良.一种改进的鱼眼图像轮廓提取算法[J].计算机与数学工程,2010,38(1):147-150.
- [6] 唐俊.鱼眼图像轮廓提取算法研究[J].微机发展,2004,14(10):9-14.
- [7] 江芳,袁纵横.鱼眼图像轮廓提取方法的对比[J].计算机系统应用,2011,20(4):214-218.
- [8] 杨丹,游磊,张小洪.基于区域生长的鱼眼图像轮廓提取算法[J].计算机工程,2010,36(8):217-221.
- [9] 刘辉,王伯雄,任艺怀.基于三维重建数据的双向点云去噪方法研究[J].电子测量与仪器学报,2013,27(1):2-3.
- [10] 周磊,任国权,肖浩.结构化道路车道线快速检测的一种改进方法[J].计算机仿真,2012,29(14):362-366.
- [11] 浦玉学,张方.多通道 FURLS 噪声主动控制算法及仿真[J].国外电子测量技术,2012,31(6):36-40.

## 作 者 简 介

王波涛,1969 年出生,工学博士,副教授,主要研究方向为多媒体与通信技术。

闫跃,1990 年出生,在读工学硕士,主要研究方向为数字图像处理。

E-mail:yanyue8326@126.com

赵轩,1991 年出生,在读工学硕士,主要研究方向为数字图像处理。