

# 一种有效的影像中椭圆形目标提取方法

郭成成 郑守住

(同济大学 测绘与地理信息学院, 上海, 200092)

**摘要:** 高精度的影像目标点的自动提取, 是摄影测量三维重建的基础。本文提出了一种基于自适应阈值化的轮廓提取方法来有效的提取影像中的椭圆形目标点, 通过模板匹配的方法自动确定影像中包含目标点的感兴趣区域, 在区域内对影像边缘进行处理提取椭圆形目标轮廓, 借助于最小二乘椭圆拟合实现椭圆形目标点中心坐标的确定, 达到了亚像素级的精度。在目标点椭圆拟合的过程中对, 对拟合粗差像素点进行剔除来提高中心坐标的确定精度。根据椭圆特征设置筛选条件, 保证了感兴趣区域内检测椭圆的唯一性。

**关键词:** 目标点提取; 模板匹配; 自适应阈值; 轮廓提取; 椭圆拟合;

**中图分类号:** TP391.4, TN2

**文献标志码:** 错误! 未找到引用源。A

**国家标准学科分**

**类代码:** 420.2099

## An effective extraction method of oval objects in image

Guo Chengcheng Zheng Shouzhu

(College of Surveying and Geo-Informatics of Tongji University, 1239 Siping Road, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** Automatic extraction of target points in image with high accuracy is the basis of photogrammetric three-dimensional reconstruction. The article presented a contour extraction method based on adaptive threshold to effectively determine the ellipse target points of the image. The regions of interest containing the target image points are determined by using the template matching method, the edges of the image are processed to extract the oval object contour in the regions of interest. The determination of ellipse target points' center coordinates achieves the sub-pixel level accuracy by the method of least square ellipse fitting. In the process of target points ellipse fitting, in order to improve the accuracy of the center coordinates, the article took the method of removing fitting gross error pixels. In order to ensure uniqueness of ellipse in the determined region, the article set the ellipse filter according to oval features.

**KEYWORD:** target point extraction; template matching; adaptive threshold; contour determination; ellipse fitting;

## 1 引言

类圆形目标点中心坐标确定是图像处理和计算机视觉领域的经典问题之一, 其在摄影测量三维重建、生物信息识别(人脸/虹膜识别)、集成电路板在线质量检测等许多领域都有着广泛的应用<sup>[1]</sup>。在利用高速相机系统进行物体三维自动化重建时, 类圆形目标点中心的影像坐标提取是关键的一步, 其点位精度直接决定了摄影测量重建过程中目标点三维坐标的精度。

目标精确定位的方法主要有采用特征定位算子对人工标志定位。常规的边缘检测子检测特征边缘只能达到像素级的精度, 但是通过设计相关算法提取特征的子像素边界可以进一步提高目标点量测的精度。类圆形目标的检测方法有很多, 包括模板匹配法、Hough变换法、小波变换法等。模板匹配法可以精确的检测椭圆, 但是由于其计算复杂, 需要非常大的存储空间, 降低了计算效率。Hough变换法在检测直线、圆和椭圆中有广泛的应用, 它是利用数据的积累提取几何图形的特征, 其优点是对数据的健壮性要求不高, 但是由于椭圆有5个参

数，所以在检测椭圆的过程中，需要在5维空间内进行积累，对计算量和计算空间有很高的要求<sup>[2], [3]</sup>。小波变换法具有去噪功能，在检测二维图像的“点奇异”上具有优势，但对于属于“线奇异”的类椭圆边缘检测却没有明显优势<sup>[4]</sup>。本文提出基于自适应阈值轮廓提取的椭圆形目标点确定方法，采用由粗到精的目标点定位策略，使用模板匹配的方法进行目标粗定位，将定位结果作为进一步处理的感兴趣区域，对目标点局部图像进行自适应阈值分割，对提取的轮廓进行最小二乘椭圆拟合<sup>[5], [6]</sup>，计算椭圆参数确定近圆形标志点中心坐标，为后续的摄影测量应用提供影像目标点位数据。

一般来说，椭圆特征包括周长、面积、圆形体，通过特征的组合可以快速实现椭圆目标的识别和提取。由于目标点感兴趣区域的影像块较小且圆形人工标志与背景对比明显，因此只需要根据椭圆的周长、面积和圆度的属性特征及选取合适的自适应阈值参数就可以快速实现椭圆形目标点的提取与中心坐标的确定。

## 2 基于自适应阈值的近圆形目标点确定方法

### 2.1 霍夫圆变换

OpenCV 是开源的高质量计算机视觉函数库，具有强大的图像处理和矩阵运算能力，在物体跟踪，模式识别，图像处理，三维重建等方面具有广泛的应用<sup>[5]</sup>。其提供了霍夫圆变换的实现方法来确定目标圆形及参数，通过霍夫变换，将影像空间映射到霍夫空间进而确定影像中圆的圆心坐标与半径<sup>[7]-[9]</sup>。设定合适的参数，对影像中的目标圆形进行识别与提取，如图1所示。

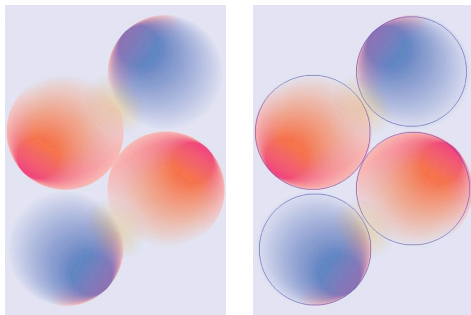


图1. 霍夫圆变换. 原始影像（左），霍夫圆变换结果（右）

霍夫圆变换具有很多缺陷，边缘提取的阈值或

圆的置信阈值设置的不合理就无法有效的提取圆形目标点，如果对查找圆的半径不加控制，其算法运算量大且精度不足，在输入噪声点不多的情况下，找圆效果远不如边缘拟合找圆。为了提高圆心确定精度，相比拟合法，霍夫变换需要提供更多的参数加以控制，参数要求严格且总体稳定性不佳。

### 2.2 模版匹配

模版匹配是一种简单有效的从全局影像中搜寻感兴趣目标的方法。其在立体视觉，目标跟踪，金属电路板检测等方面均有广泛的应用<sup>[8], [10]</sup>。使用归一化互相关系数（NCC）作为图像匹配测度，如式1所示：

$$D_{NCC}(i, j) = \frac{\sum_{(m,n)} f(i+m, j+n)t(m, n)}{\sqrt{\sum_{(m,n)} f(i+m, j+n)^2 \sum_{(m,n)} t(m, n)^2}} \quad (1)$$

其中  $f(i, j)$  表示包含目标的全局影像， $t(m, n)$  为目标模板影像， $(m, n)$  为模板影像的行列。

从实际布设目标的建筑物影像上截取目标作为先验模版影像，设定相关系数阈值，实现建筑物上摄影测量靶标的自动提取与确定，如图2所示。

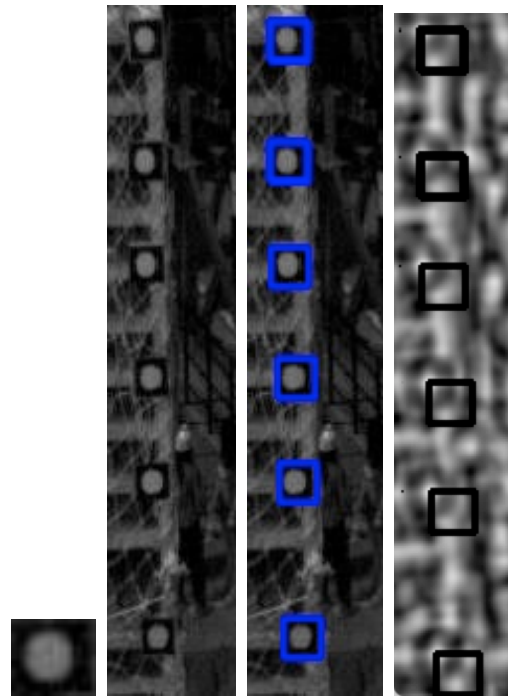


图2. 模版匹配. 目标模版影像（左1），原始影像（左2），模版匹配影像（左3），匹配结果影像（左4）

匹配结果影像中每一点的亮度表征匹配的程度，黑色方框左上角为目标匹配的中心区域。模版匹配简单有效，但其模版须从原始图像中截取，否则匹配的鲁邦性较差。

本文采用一种由粗到精的椭圆形目标提取策略，即先通过模板匹配确定目标点粗略位置，其匹配精度为整像素，然后将模板匹配确定的目标区域作为精提取的感兴趣区域，对兴趣区域内的图像进行自适应阈值化处理，提取边缘轮廓，对轮廓进行最小二乘椭圆拟合确定近圆形目标的中心坐标<sup>[11]</sup>。由于包含目标的感兴趣区域远小于原始图像，因而极大的提高了算法的计算效率及提取精度，取得了较好的效果。方法的目标点确定流程如图 3 所示。

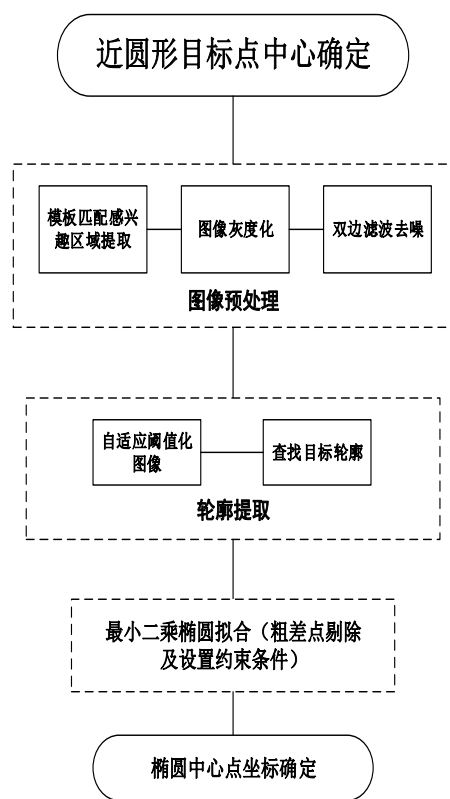


图 3. 椭圆形目标点中心坐标确定示意图

### 2.3 图像预处理

近圆形目标点提取方法的图像预处理步骤包括图像中目标点的感兴趣区域提取，灰度化及高斯平滑去噪等步骤。本文方法并非是图像的全局目标点提取，而是通过模板匹配的方法来提取包含目标点的感兴趣区域，对感兴趣区域内的图像进行处理以加快计算速度，提高目标点的提取精度。灰度化感兴趣区域内的图像，便于后续的边缘提取及轮廓拟合。由于自适应阈值化或 canny 边缘提取对噪声

敏感，故对灰度化的感兴趣区域图像进行平滑滤波，选择合适的平滑窗口大小以减少图像的噪声或失真。图像的平滑去噪选择双边滤波器对图像进行卷积，相对于常用的高斯滤波及均值滤波，其在去除图像噪声的同时可以有效的保留图像边缘，保护图像的高频细节<sup>[11], [12]</sup>。双边滤波是结合图像空间邻近度和像素相似度的图像去噪方法，同时考虑了图像空域和灰度值域的差别，以便于对图像进行阈值分割。

对预处理后的图像进行自适应阈值化图像分割，使用 OpenCV 中提供的 Adaptive-Threshold 方法。自适应阈值化方法既可以实现图像边缘提取，也可以实现图像二值化，由所选择的邻域大小确定。如果所选择的邻域较小，则阈值的自适应程度高，这在结果图像中表现为边缘检测的效果。如果邻域选择的较大，则阈值的自适应程度低，这在结果图像中表现为图像二值化的效果。

椭圆轮廓提取包括边缘检测和轮廓查找这两部分，边缘检测实际上是基于幅度不连续性进行分割的一种方法，即检测变化类型的局部特征，例如纹理突变、灰度值突变及颜色突变等。常用的边缘检测算子有：Roberts、Sobel、Prewitt、Laplacian 和 Canny 等。使用 Canny 算子进行边缘检测可以根据像素间的差异检测出轮廓边界的像素，但它并没有将轮廓视为一个整体。轮廓查找就是将边缘像素连接为一个整体轮廓，采用 OpenCV 提供的 FindContours 函数来实现轮廓查找过程。由模板匹配确定包含目标点感兴趣区域，进而在区域内提取目标轮廓如图 4 所示。

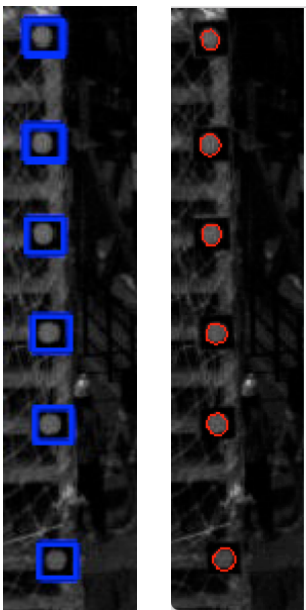


图 4. 目标点轮廓提取. 模版匹配（左），轮廓提取（右）

对目标区域内的所有有效轮廓进行最小二乘椭圆拟合，计算椭圆参数，如中心坐标，长轴短轴等。

椭圆曲线的一般方程为：

$$Ax^2 + Bxy + Cy^2 + Dx + Ey + F = 0 \quad (2)$$

构造目标函数，施加最小二乘准则即残差平方和最小计算椭圆曲线参数，目标函数如下：

$$f(A, B, C, D, E, F) = \sum_{i=1}^n (Ax_i^2 + Bx_iy_i + Cy_i^2 + Dx_i + Ey_i + F)^2 \quad (3)$$

对轮廓像素进行椭圆拟合的过程中，对残差大于三倍拟合中误差的像素点进行剔除，用剔除后的像素点进行拟合以得到更加准确的轮廓椭圆。由于噪声及边缘提取粗差的影响，除了目标点轮廓椭圆外还会产生其他轮廓椭圆，故需要对拟合的椭圆进行筛选，可以根据拟合椭圆的圆度、面积、周长等边缘要素的特征筛选出合适的椭圆，最终得到的椭圆中心坐标即为目标点中心的影像坐标。

### 3 实验数据

实验数据是框架结构的振动台实验影像，通过高速相机采集框架振动过程的影像，提取影像中的目标点进行摄影测量三维重建来分析构筑物不同部位的运动情况。目标点为黑色背景的矩形硬纸板，中间区域为白色椭圆形，形成强烈反差以便于进行识别与中心坐标的确定，实验影像如图 5 所示。



图 5. 框架结构实验影像

### 4 结果与分析

对框架结构实验影像利用本文方法进行椭圆形目标点提取，确定其中心点影像坐标。由于目标点灰度分布及形状的一致性，选择合适的自适应阈值参数及确定目标点椭圆的筛选条件即可在目标点感兴趣区域内取得较好的提取效果。根据影像中目标点的分布，确定了目标点椭圆的筛选条件，包括目标点椭圆的圆度条件和面积条件，其分别是实验中目标点椭圆应满足长轴与短轴之差小于 5 个像素以及椭圆最小包络矩形的面积大于 30 个像素。根据目标点在影像中的具体情形，设置合适的筛选条件可以有效的剔除错误的椭圆，取得了较好的效果，如图 6 所示，其中红色十字标志中心即为提取的目标点中心。

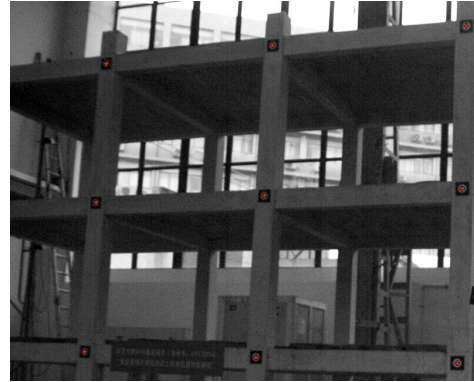


图 6. 椭圆形目标点提取示意图

使用高精度全站仪测量目标点的三维坐标，根据成像时的相机外方位元素及相机检校参数，基于共线方程反求影像中九个目标点的影像坐标作为像点坐标真值。将本文算法中心坐标提取结果与模板匹配算法，霍夫圆变换算法及摄影测量反算得到的像点坐标真值进行比较，汇总结果如表 1 所示。



表 1. 本文方法目标点像点坐标提取值

目标	像点坐标（本文算法）		像点坐标（霍夫圆变换）		像点坐标（模板匹配）		像点坐标（摄影测量反算）	
点号	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1	164.1738	108.2741	162.5	107.5	164	109	164.116	108.2399
2	448.1354	76.9427	446.5	76.5	447	77	447.850	76.7605
3	778.0338	44.0172	777.5	43.5	778	45	777.792	43.9829
4	146.3972	346.4746	145.5	345.5	146	347	146.335	346.4867
5	433.1738	334.7067	432.5	333.5	433	335	433.149	334.7809
6	770.9449	322.2754	770.5	321.5	771	323	770.895	322.2114
7	127.4220	601.8005	126.5	601.5	127	602	127.382	601.6768
8	419.2978	611.3103	418.5	611.5	418	612	419.077	611.1214
9	762.2180	621.2320	761.5	620.5	762	622	762.252	621.2621

基于反向投影的目标点像点坐标真值，对上述三种目标点确定方法的精度进行评估，其像点坐标中误差分别是 0.1820 像素，1.1644 像素，0.8380 像素，验证了本文方法在影像中椭圆形目标点提取的有效性。结合模板匹配与椭圆轮廓拟合的优点，通过目标模板确定目标提取的感兴趣区域，提升了方法的效率与精度，是一种精度较高的自动化影像中椭圆形目标点提取方法。

5 结语

本文提出的基于自适应阈值的椭圆轮廓拟合方法可以对实验影像目标中心进行精确的定位，其结果可以用于后续的同名点匹配及振动过程的目标点三维坐标求解。通过与 PhotoModeler 软件的圆心提取结果进行比较，像点中心坐标差值在 0.1 像素内，验证了本文方法的有效性。通过设置合适的自适应边缘提取阈值及感兴趣区域内椭圆轮廓筛选的参数，可以有效的剔除背景杂质的影响，快速准确的提取影像目标点椭圆中心，从而应用于工程实践。

参考文献

[1]秦开怀, 王海颖, 郑辑涛. 一种基于 Hough 变换的圆和矩形的快速检测方法[J]. 中国图象图形学报 a, 2010, 15(1):109-115.

[2]刘祥磊. 高速视频影像摄影测量系统构建与数据处理及在土木工程中的应用[D]. 上海: 同济大学. 2011

[3]邢德奎, 达飞鹏, 张虎. 圆形目标精密定位方法的研究与应用[J]. 仪器仪表学报, 2009, 30(12): 2593-2598.

[4]高君, 高鑫, 孙显. 基于几何特征的高分辨率 SAR 图像飞机目标解译方法[J]. 国外电子测量技术, 2015(8):21-28.

[5]朱周, 路小波. 基于椭圆拟合的车辆遮挡处理算法[J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(1):209-214.

[6]闫蓓, 于斌, 李媛. 基于最小二乘法的椭圆拟合改进算法[J]. 北京航空航天大学学报, 2008, 34(3): 295—298.

[7]Robea Laganiere. OpenCV 2计算机视觉编程手册[M]. 北京: 科学出版社, 2013: 53-56.

[8]Kenneth Dawson-Howe 著 .A Practical Introduction To Computer Vision With OpenCV[M]. John Wiley & Sons.2014.

[9]Gary Bradski, Adrian Kaehler 著. Learning OpenCV(中文版) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.

[10]苗晟, 王威廉, 姚绍文. 一种基于模板匹配的复杂心音定位方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(1):119-123.

[11]谢英红, 李凌, 何宇清. 基于双边滤波的协方差目标跟踪算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(8):1282-1287.

[12]牛敏, 邬战军, 牛燕雄, 等. 一种基于排序统

计理论的快速图像中值滤波法[J]. 电子测量技术,  
2015(6):60-63.

#### 作者简介

**郭成成**, 男, 硕士生, 主要研究方向为遥感影像与卫星姿态数据处理。E-mail: 1533341@tongji.edu.cn

**郑守住**, 男, 博士生, 主要研究方向为图像匹配与跟踪。E-mail: zhengshouzhu0@163.com