

利用椭圆性质提取椭圆

杨忠根 栾晓明

(哈尔滨工程大学电子工程系, 哈尔滨 150001)

摘要 基于在文献[1]中开发的曲线提取算法的框架, 并利用由椭圆的极点-极线性质开发的三点组到椭圆参数的收敛映射, 我们开发了一个鲁棒地从直接提取椭圆的以随机 Hough 变换(RHT)和椭圆性质为基础的椭圆提取新技术。用精确仿真的计算机图象和真实图象进行的大量实验证明了该技术的正确性、有效性和实用性。

关键词 计算机视觉, 椭圆提取, 极点-极线性质, 随机 Hough 变换, 鲁棒估计

1 引言

椭圆的鲁棒精确提取在图象识别与计算机视觉中有着特别重要的意义, 因为椭圆是封闭曲线型基元中最常用也是最简单的基元。传统的椭圆提取技术有两类: 间接法与直接法。它们在鲁棒性和精确性方面都存在有待改进之处。间接法基于一般形式的二次曲线方程对数据点的无约束线性拟合, 然后当这些二次曲线参数满足椭圆约束条件时由拟合出的二次曲线参数计算相应的椭圆参数。本质上, 它是用无约束最优化取代有约束最优化, 其结果是使得这些间接法的数值稳定性成问题, 我们经常会发现间接法提取的二次曲线不是椭圆, 这是由于噪声和失真的干扰及计算误差的影响。直接法基于椭圆方程对数据点的非线性拟合, 其中, 中心(C_x, C_y)、两半轴长(a, b)和倾角 α 为椭圆的特性参数。直接法的优点是确保所提取的二次曲线为椭圆, 但它有所有传统的非线性技术共有的缺点, 即, 解的收敛性和全局最优性问题。

实际上, 本文研究的问题不仅牵涉数据点的曲线拟合, 而且牵涉异常点(outlier)的鉴别。后者比前者更重要、更困难。许多现有的椭圆拟合方法都先验地假设所有数据点都是椭圆的内点(inlier), 这是个与实际不相符合的假设。一个真正实用的椭圆提取技术必须具有很强的异常点鉴别能力。为此, 我们在文献[1]中开发了一个经二次曲线间接地提取椭圆的技术。它已集成进我们所研究开发的水下三维视

觉系统, 并在导引水下智能机器人的实验中取得了很好的实验效果^[2,3]。但是, 从原理上讲, 此技术只能确保提取的曲线为二次曲线, 却不能确保提取的曲线一定为椭圆。另一个缺点是, 在提取二次曲线时的收敛映射的参数维数高达5, 这使得 RHT 的计算成本和存储要求相对地高。为克服这些缺点, 基于我们在文献[1]中开发的曲线提取算法的框架, 并利用由椭圆的极点-极线性质开发的三点组到椭圆参数的收敛映射, 我们开发了一个鲁棒地直接提取椭圆的以随机 Hough 变换(RHT)为基础的椭圆提取新技术。

2 椭圆性质及椭圆提取算法

定义 若椭圆上的任意两点 P 和 Q 的切线交于点 A , 则称这两点间的连线 PQ 为点 A 所对应的极线, 点 A 为弦 PQ 所对应的极点, 三角形 APQ 为椭圆的极三角形。

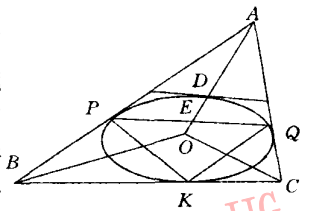


图1 椭圆性质
Fig. 1 Elliptic properties

性质 1 如图 1 所示, 极点 A 、极线 PQ 的中点 E 与椭圆中心 O 共线。

性质 2 如图 1 所示, 若点 D 为射线 OA 与弧 PQ 的交点, 则过点 D 的切线平行于极线 PQ 。

性质 3 如图 1 所示, 若三点组 K, P 和 Q 在椭圆上, 则此三点组所对应的 3 个极三角形 APQ 、

BPK 和 CQP 的极线边 PQ、QK 和 KP 上的中线延长线必共点于椭圆中心 O。

利用椭圆方程和椭圆的极点一极线性质可推导出椭圆点的方向和中心化位置所应满足的约束条件。这样,在确定了椭圆中心后,我们就可由三点组的方向和中心化位置确定椭圆的两半轴长。最后,由椭圆方程就可由三点组的方向、中心化位置和两半轴长确定椭圆的倾角 α 。据此,我们开发了如下所述的从三点组信息到椭圆参数的 Hough 空间的收敛映射算法。

算法 1. 从三点组确定椭圆参数的算法

输入: $\{(x_i, y_i, y_{xi}) | i = P, Q, K\}$

输出: 椭圆特性参数或三点组为异常情况的信息。

(1) if $y_{xP} \approx y_{xQ}$ 或 $y_{xQ} \approx y_{xK}$ 或 $y_{xK} \approx y_{xP}$, then 判此三点组为非法的兼并情况并退出; 否则

(2) 计算三极线中点 $\bar{r}_{PQ} = 0.5(r_P + r_Q)$ 等和三极线

对应的中线参数矢量 $m_A = \begin{bmatrix} y_A - \bar{y}_{PQ} \\ -(x_A - \bar{x}_{PQ}) \\ x_A \bar{y}_{PQ} - y_A \bar{x}_{PQ} \end{bmatrix}$ 等;

(3) if $|m_A m_B m_C| \approx 0$ 不成立, then 判此三点组不属于同一椭圆并退出; 否则

(4) 计算椭圆中心, 即计算 $\begin{bmatrix} C_x \\ C_y \\ 1 \end{bmatrix} = N(m_A \times m_B)$, 其

中 $N()$ 为规范化运算;

(5) 计算椭圆两半轴长。具体地, 计算 $l = N(q_P \times q_Q)$, 其中 $q = \begin{bmatrix} (1 + y_x^2) / (y - y_x x)^2 \\ (x - C_x)^2 + (y - C_y)^2 \end{bmatrix}$, 然后考虑到约束 $a > b > 0$ 后, 由式 $l_x = a^2 b^2$ 和 $l_y = a^2 + b^2$ 计算两半轴长 a 和 b ;

(6) 由式 $h_1^T u = 0$ 其中 $h_1 = \begin{bmatrix} -a^2 + x_c n_{(3)} \\ y_x a^2 + y_c n_{(3)} \end{bmatrix}$ 和 $u = \begin{bmatrix} \cos \alpha \\ \sin \alpha \end{bmatrix}$ 和式 $h_2^T u = 0$ 其中 $h_2 = \begin{bmatrix} y_x b^2 + y_c n_{(3)} \\ b^2 - x_c n_{(3)} \end{bmatrix}$ 确定倾角 α , 其中, $n_{(3)} = y - y_x x$ 。

基于我们在文献[1]中开发的曲线提取算法的框架, 并利用上面开发的三点组到椭圆参数的收敛映射算法 1, 我们开发了如下所述的利用椭圆性质提取椭圆的算法。相比文献[1]的椭圆提取算法, 本算法能确保每次收敛映射的结果一定为椭圆参数。

算法 2 利用椭圆性质提取椭圆的算法

for $k = 1$ to (最大随机采样次数) do

{ 随机采样一个由三边缘点组成的最小子集; 用收敛映射算法 1 判断它是否为一合法最小子集, 若是, 则计算其相应的椭圆参数并将参数矢量适当量化后进行表决, 即把其相应单元的计数值加 1 或把其增补于线性表末并将其计数值置 1; } 扫描线性表, 把所有计数值大于一预定阈值的单元按计数值降序的次序压入候选椭圆表;

for 每个候选椭圆 do

{for $i = 1$ to (当前边缘点个数) do

{ 计算由该边缘点的位置和方向信息确定它到候选椭圆的残差; 由残差和误差容忍(一预定阈值)确定该点是否为该候选椭圆的内点, 如果它是, 那么把该点从当前边缘点集移入该候选椭圆的内点集合并把其内点个数加 1 和把当前边缘点个数减 1; }

如果内点个数大于最小真椭圆“长度”, 那么判该候选椭圆为一真椭圆并用其内点集合的位置和方向信息精炼椭圆参数, 否则判该候选椭圆为假椭圆并把其内点集移回当前边缘点集和把当前边缘点个数加上其内点个数; }

3 实验结果

我们对计算机仿真图象和真实图象进行了一系列实验, 实验表明: (1) 在粗估椭圆参数阶段的 RHT 中, 适当粗糙量化待估参数不但可大大降低存储成本和计算负担, 而且可有效地提高算法的抗噪能力和鲁棒性。(2) 椭圆参数精炼阶段的线性迭代过程一般仅需 1~2 次, 就已收敛到精确解; 并且精确解中各特征参数的相对误差均不大于 1%。(3) 在各种实验情况中该技术都能良好地工作, 并且它对边缘数据集合的要求相当低。它允许边缘是断续的、不完整的、互相遮挡的, 并含有一定比例的假边缘。这表明此算法的可应用范围是相当广的。

参考文献

1 Yang Zhonggen. ICNNSP'95, 1995, (9): II-1410~II-1413. 2 Yang Zhong, Gen ACCV'95, 1995, (9): III-509~II-513. 3 杨忠根等. 中国图象图形学报, 1996. 5, 1(1): 47~52.



杨忠根,哈尔滨工程大学电子工程系副教授,1981年获东南大学工学硕士学位。主要研究领域包括数字信号处理、图象处理、模式识别、计算机视觉等。

Ellipse Extraction Using Its Geometric Properties

Yang Zhonggen, Luan Xiaoming

(Dept. of Electronic Eng., Haerbin Eng., Univ., Haerbin 150001)

Abstract Based on the framework of the curve extraction algorithm developed in Ref. [1], and using the convergence-mapping from the tripe-point subset to the elliptical parameter set provided by the geometric properties on the pole and polar line of an ellipse, a new method to robustly and directly extract the ellipses of targets is presented. Compared to the old indirect method developed in Ref. [1], the new method has the attractive advantage of making sure the results of every mapping to be the valid elliptical parameters. The extensive experiments for the images exactly simulated by PC computer and for the real images have demonstrated that the method is very robust, fast and exact.

Keywords Computer vision, Ellipse extraction, Pole and Polar line geometric properties, Random hough transform, Robust estimation

(上接 516 页)

Study on Clustering Irregular Shapes in Rectangular Modules

Wang Deqiang

(Department of Mechanical Engineering, Shenyang Institute of Technology, Shenyang 110015)

Wei Pengsan

(Open Lab. of CAD/CAM technology for advanced manufacturing, Academia Sinica, Shenyang 110003)

Abstract The aim of optimal layout on rectangular or irregular sheets is to cut the shapes out of the sheets in such a way as to minimize the amount of waste produced. In this paper, a method to cluster irregular shapes in rectangular modules is proposed.

Keywords Nesting, Rectangular enclosure, Clustering