

# 基于特征点抽取的图像中闭合曲线快速检测

宋加涛<sup>1</sup>, 刘济林<sup>1</sup>, 张建国<sup>2</sup>

(1. 浙江大学信息与通信工程研究所, 浙江杭州 310027; 2. 宁波高等专科学校, 浙江宁波 315016)

**摘要:** 本文从图论的观点出发, 通过抽取细化后图像中的端点、歧点和叉点等特征点作为图的顶点, 计算出图的边数  $\epsilon$  和顶点数  $v$ , 在分析二者数量关系的基础上, 确定图像中闭合曲线的存在性. 本方法实现简单, 抗噪能力强, 是一种实用高效的闭合曲线检测方法.

**关键词:** 连通图; 特征点; 闭合曲线; 图像处理; 结构分析

**中图分类号:** TP391.41      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0372-2112 (2002) 08 1232-03

## Fast Detection of Closed Curve in Image Based on Feature Points Extraction

SONG Jiar tao<sup>1</sup>, LIU Jir lin<sup>1</sup>, ZHANG Jiar guo<sup>2</sup>

(1. Institute of Information and Communication Engineering, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310027, China;  
2. Ningbo College, Ningbo, Zhejiang 315016, China)

**Abstract:** A thinned image is viewed as a graph, and feature points such as ending, bifurcation and crossover are extracted as the vertexes. By counting the number of vertexes and Sides and analyzing their quantitative relationship, whether closed curves exist or not in an image is determined. The proposed method is easy to implement and has strong anti noise ability.

**Key words:** connected graph; feature point; closed curve; image processing; structural analysis

### 1 引言

闭合曲线是许多数字图像的一种重要的结构特征, 它隐含了一些非常有用的信息, 代表了诸如指纹图像中的“岛 (island)”<sup>[1]</sup>、英文和数字字符图像中的“圈”<sup>[2,3]</sup>、中文字符图像中的“口”<sup>[4]</sup>等. 因此在结构图像识别中常常作为单元特征加以抽取<sup>[1~4]</sup>. 对闭合曲线的检测最常用的方法是 Freeman 链码跟踪法<sup>[5]</sup>, 其基本思想是通过采用逐点跟踪细化图中像素点的方法来确定图像中闭合曲线的存在性, 该法虽然直观、通用, 却也存在受噪声影响大、并且当细化图中分叉或交叉点较多时, 算法设计复杂的缺点; 检测闭合曲线的另一种常用方法是 Hough 变换法<sup>[6,7]</sup>, 该方法将图像空间的检测问题转化到参数空间里, 其主要优点是受噪声和曲线间断的影响较小, 但它只适用于检测形状已知, 或者说曲线解析式  $f(x, c) = 0$  确定的闭合曲线, 对任意形状的闭合曲线却无能为力.

本文提出了一种检测图像中闭合曲线的方法: 将细化后图像看作一个“图”, 从图论的观点出发, 通过分析图中顶点和边之间的数量关系, 实现图像中闭合曲线的快速检测.

### 2 有关定理及其证明

本文涉及的所有有关图的定义和术语请参见文献<sup>[8]</sup>, 所用符号的含义为:  $V(G)$ —图  $G$  中顶点的集合,  $v \in G$  中顶点的个数,  $\epsilon \in G$  中边的条数,  $d(v)$ —顶点  $v$  的次数.

**定理 1** (Euler 定理)<sup>[8]</sup>  $\sum_{v \in V(G)} d(v) = 2\epsilon$ .

**定理 2**<sup>[8]</sup> 若单图  $G$  中每个顶点的次数至少是 2, 则图中含有圈.

**定理 3**  $G$  是连通单图,  $G$  中有圈的充要条件是  $\epsilon \geq v$ .

**证明:** 充分性证明参见文献<sup>[8]</sup>, 现证明其必要性.

显然, 对单独一个圈而言, 有  $\epsilon = v$ ; 从圈的任何一顶点连上一条不含圈的轨道, 则仍有  $\epsilon = v$ , 若连上一条含圈的轨道, 则有  $\epsilon \geq v$ ; 若从圈的任一顶点连上一条终止于圈上任一顶点的轨道, 则增加的边数多于增加的顶点数, 有  $\epsilon > v$ . 所以, 若  $G$  中有圈, 必有  $\epsilon \geq v$ .

**推论 1** 在连通单图  $G$  中, 若  $\epsilon < v$ , 则  $G$  中无圈.

**定理 4**  $G$  为连通单图, 若其每个顶点的次数至少是 2, 且有  $\epsilon > v$ , 则  $G$  中有多个圈.

**证明:** 不妨令  $\epsilon = v + 1$ . 从  $G$  中删除任何一条边  $e$ , 得图  $G'$ . 显然  $\epsilon' = \epsilon - 1 = v$ , 由于对任意  $u \in V(G)$  有  $d(u) \geq 2$ , 因此  $v'$  的值只能为  $v$ , 故有  $\epsilon' \geq v'$  成立, 说明  $G'$  中仍有圈. 由于在删除任何一条边后图中仍然有圈, 说明  $G$  中的每一条边要么都属于圈上的边, 要么是连接两个圈的边, 由此说明  $G$  中至少有两个以上的圈.

**定理 5**  $G$  为连通单图, 若有  $\epsilon > v$ , 则  $G$  中必有多个圈.

**证明:** 从  $G$  逐次删去一次顶点, 每删去一个, 边也随之删去一条, 最终得到的是仅含有二次以上顶点的子图  $G'$ , 且有

$\hat{\epsilon} > \hat{v}$  成立, 由定理 4 说明  $G$  中至少有两个以上的圈.

定理 6  $G$  为连通单图, 若有  $\epsilon = v$ , 则  $G$  中有且只有一个圈.

证明: 由定理 3 可知圈的存在性, 现证明圈的唯一性.

用反证法: 假设图中有二个圈, 并任意删除圈上的一条边, 因为圈上的任一顶点  $u$  均有  $d(u) \geq 2$ , 故删除一边后  $\hat{\epsilon} = \epsilon - 1$ , 而  $\hat{v} = v$ , 因此  $\hat{\epsilon} < \hat{v}$ , 由推论 1 可知, 此时  $G$  中无圈. 此说明删除圈上的任何一条边均可破坏所有的圈, 这是不可能的, 故  $G$  中只能有一个圈.

### 3 闭合曲线检测

#### 3.1 顶点的类型及抽取

定义细化图像中的下列几种特征点

作为图的顶点:

- (1) 端点: 连通分量数为 1 的点.
- (2) 歧点: 连通分量数为 3 的点.
- (3) 叉点: 连通分量数为 4 的点.

$x_3$	$x_2$	$x_1$
$x_4$	$P$	$x_0$
$x_5$	$x_6$	$x_7$

图 1 前景像素  $P$  的 8 邻域

显然, 上述各种顶点的次数等于其连通分量数.

设图像前景像素点的值为 1, 背景像素点的值为 0, 则用下列公式<sup>[9]</sup>可确定细化图中顶点的类型.

$$t = \sum_{i=0}^7 |x_{i+1} - x_i| \quad (1)$$

其中,  $x_i$  为前景像素点  $P$  周围 8 邻域中像素的值(如图 1 所示), 且  $x_8 = x_0$ . 当  $t$  的值为 2、6、8 时, 说明像素  $P$  分别是端点、歧点和叉点.

#### 3.2 检测方法描述

由于上述定理 3~ 定理 6 只适用于对单图中圈的检测, 而图中的闭合曲线可能包括环、重边和圈三种情形<sup>[8]</sup>, 因此, 有必要将之进行扩展, 使之适用于对非单图中由环或重边形成的闭合曲线进行检测, 为此, 提出下列定理.

定理 7 在图的环(或重边)上任意指定一个和与该环(或重边)相关联的顶点非相邻的点作为顶点, 则可以将非单图变成单图, 同时保持图的  $\epsilon$  和  $v$  数量关系不变.

证明略.

至此, 我们提出如下的图像中闭合曲线检测方法:

(1) 在细化图中抽取端点、歧点和叉点, 记录各类特征点的个数  $n_t$ 、 $n_b$  和  $n_c$ .

(2) 由 Euler 公式计算出图中的边数  $\epsilon = (n_t + 3n_b + 4n_c) / 2$ ; 顶点数  $v = n_t + n_b + n_c$ .

- (3) 若  $\epsilon > v$ , 则图中有 2 条以上的闭合曲线;
- 若  $\epsilon = v$ , 则图中有且只有 1 条有闭合曲线;
- 若  $\epsilon < v$ , 则图中没有闭合曲线.

#### 3.3 检测方法评估

##### 3.3.1 时间复杂度

下面比较本方法与 Freeman 链码跟踪法所需时间的大小.

本文介绍的方法包括抽取特征点、统计  $\epsilon$  和  $v$  值以及根据  $\epsilon$  与  $v$  关系进行闭合曲线判断等三个子过程, 而 Freeman 链码跟踪法则包括下一像素类型判断、像素跟踪以及在图的顶点之间进行遍历等三个子过程. 由于前者的特征点抽取和后

者的下一像素类型判断两个子过程完全相同, 因此两种方法所需的总体时间上的差异取决于二者后面两个子过程所需的时间的长短. 若假设细化图中前景像素的总数为  $n$ , 则不难估算出, 对于 Freeman 链码跟踪法, 在  $n \gg \epsilon$  时(实际情况往往如此), 其后面两个子过程所需时间主要取决于像素跟踪的时间, 为  $O(n)$  数量级; 而对于本文介绍的方法, 其后面两个子过程所需的时间只是统计顶点数和用 Euler 公式计算边数所需的时间, 其大小为固定值, 且等于计算有限的几次加法所需的时间. 由于  $n$  的大小约为几十到几百, 因此, 本方法所需的时间比用 Freeman 链码跟踪法所需要的时间无疑要少得多.

另外, Freeman 链码跟踪法属于串行算法, 而本文介绍的方法则属于并行算法, 因此本方法适用于图像的并行处理.

##### 3.3.2 抗噪能力

由于图像中的孤立噪声较易控制和消除, 因此下面只分析图像中与前景像素粘连的毛刺噪声对本方法的影响.



图 2 细化以后的牌照字符

如图 2(c) 所示的字符 '8' 中有一根毛刺, 显然, 图像中每增加一个毛刺, 则端点数增加 2 (1 个端点和 1 个叉点), 而由 Euler 公式可算得边数的增加也是 2, 这说明毛刺的存在并不改变图中  $\epsilon$  和  $v$  间的数量关系, 故它对闭合曲线的存在性检测无影响.

### 4 实验结果

作者将上述方法应用于车辆牌照内数字和英文字母字符的识别, 设计了如图 3 所示的多级字符分类算法, 其中第 1 级就是进行闭合曲线检测、进而实现字符粗分类.

实验过程包括牌照图像采集、定位、字符切分、图像去噪、二值化和细化等过程.

作者测试了 2000 多个从各种实际条件下采集的牌照字符图像, 除个别因断点破坏曲线闭合性的字符外, 闭合曲线检测(也即第 1 级分类)的成功率达 100%.

根据检测所得闭合曲线的多少, 第 1 级分类后字符分成三类, 即:

- 第 1 类(含 1 条闭合曲线): 0, 4, 6, 9, A, D, O, P, Q, R;
- 第 2 类(含 2 条以上闭合曲线): 8, B;
- 第 3 类: 其余无闭合曲线的字符.

表 1 给出了 0, 4, 8 和 F 四个字符在实验中测得的典型数据和分类结果, 每个字符的第一行为理想的无毛刺噪声的情况, 其它行则表示字符中含有毛刺或畸变等异常的情况. 该表说明:

- (1) 对于图像无特征点的情况(如字符 0), 由于  $\epsilon = v = 0$ ,

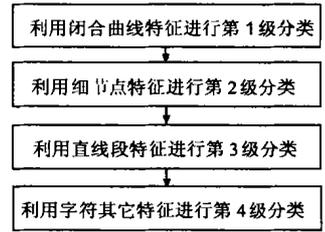


图 3 牌照数字和字母字符识别流程

本算法同样适用,且检测结果正确.

(2) 毛刺噪声对检测结果无影响.

(3) 在不破坏曲线闭合性的前提下,即使原始图像因畸变(如图 2(a)中字符“4”)造成细化后图像中部分特征点没有被检测到,闭合曲线检测结果仍然正确.

(4) 当图像中出现断点而破坏曲线的闭合性时(如图 2(b)),本方法无法检测到闭合曲线(参见表 1 中字符“8”的第 3 行).

表 1 实验典型数据和分类结果

字符	端点 数 $n_t$	歧点 数 $n_b$	叉点 数 $n_c$	顶点 数 $v$	边数 $\epsilon$	闭合曲 线条数	第 1 级分 类结果	说明
0	0	0	0	0	0	1	1	$\epsilon = v = 0$
	1	1	0	2	2	1	1	有 1 根毛刺
4	4	4	0	8	8	1	1	无毛刺
	3	3	0	6	6	1	1	图像有畸变
8	0	2	0	2	3	> 1	2	无毛刺
	1	3	0	4	5	> 1	2	有 1 根毛刺
	3	1	0	4	2	0	3	出现断点
F	3	1	0	4	2	0	3	无毛刺
	4	2	0	6	5	0	3	有 1 根毛刺

## 5 结论

本文介绍了一种检测图像中闭合曲线的新方法.通过抽取细化图中的端点、歧点和叉点等特征点作为图的顶点,在分析顶点数和边数之间数量关系的基础上,快速判定图中闭合曲线是 0 条、1 条还是多条.本方法与 Freeman 链码跟踪法及 Hough 变换法相比,具有以下几个优点:

(1) 简单,易于编程实现.

(2) 速度快,适用于图像的并行处理和实时分析.

(3) 抗噪能力强.只要不破坏曲线的闭合性,噪声既不影响检测的结果,也不会明显增加检测时间.

(4) 对闭合曲线的形状无任何限制.

另外,本方法在特征点的抽取过程中若同时记录其坐标,则可大致估计出闭合曲线的位置.虽然本文在理论论证和实验分析时均只涉及单连通图,但由于在实际分析过程中碰到多连通片图像时,不难用图像分割技术将它们分割成单连通图,因此,本算法带有普遍的适用价值.不足的是,本方法在检测到闭合曲线多于 1 条的情况下,尚无法确定其具体的数目,有待进一步分析研究.

## 参考文献:

- [1] Andrew K, et al. Automated fingerprint recognition using structural matching [J]. Pattern Recognition, 1990, 23(8): 893- 904.
- [2] Nishida H, Mori S. Algebraic description of curve structure [J]. IEEE Trans, 1992, PAMF 14(5): 516- 533.
- [3] Trier O D, Jain A K, Taxt T. Feature extraction methods for character recognition - A survey [J]. Pattern Recognition, 1996, 9(4): 641- 662.
- [4] 刘迎建,戴汝为.基于神经网络的手写汉字特征选择[J].模式识别与人工智能,1992,5(1): 37- 43.
- [5] Freeman H. Picture Processing and Psychopictorics [M]. New York: Academic Press, 1970. 241- 266.
- [6] Hough P V C. Methods and means for recognizing complex pattern [P]. U. S. Patent: 069654, 1962.
- [7] Ballard D H. Generalizing the Hough Transform to detect arbitrary shapes [J]. Pattern Recognition, 1981, 13: 111- 122.
- [8] 王树禾.图论及其算法[M].合肥:中国科技大学出版社,1990.
- [9] 夏勇,田捷,邓翔,等.一种高效的自适应指纹图像压缩算法[J].计算机学报,1999,22(5): 525- 528.

## 作者简介:



宋加涛 男,1966 年 12 月生于江西宁都,副教授,浙江大学通信与信息系统专业博士生,目前研究方向为图像处理 and 模式识别. Email: sjt6612@163.com.



刘济林 男,1947 年 11 月生于湖北红安,浙江大学教授、博士生导师,主要从事计算机视觉、模式识别、并行处理等方面的研究.

张建国 男,1959 年 10 月生于浙江宁波,现为宁波高等专科学校副教授,主要从事计算机控制方面的研究.