

直线及圆弧矢量化的统计算法

王刚 林贻佳 宋乐乐

(南开大学计算机与系统科学系, 天津 300071)

摘要 一种给出在工程图纸矢量化系统中使用统计几何特征和模拟人的视觉机制的矢量化算法。这种算法保证处理的高速度, 灵活性和准确性。

关键词 矢量化, 统计几何特征

1 引言

工程图纸矢量化在档案存储和图纸重用上有迫切的需求。它是长期困扰计算机视觉学术界的一个难题。20年来随着计算机软硬件技术的不断提高, 工程图纸矢量化工作已取得质的飞跃。从识别简单图元的低级矢量化发展到理解图纸内容的高级矢量化。尽管如此, 目前低级矢量化的准确性和速度仍达不到预期的目标, 人们仍在追求更好的结果。

低级矢量化的算法构思可概括6类, 它们都有代表性的成果。

(1) 在线划图细化后的骨架上识别直线及弧是80年代及90年代初流行的方法^[1]。

(2) 建立行程码为基础的图元结构, 在交点图元及线段图元上实现线与弧的矢量化^[2,3]。

(3) 以线段的两侧轮廓作为基本数据, 从中抽取骨架, 进而矢量化^[4]。

(4) 由稀疏扫描及线段内正交锯齿路径跟踪确定骨架上的代表点^[5]。

(5) 用径向搜索及径向跟踪方法获得最长直线。在地图矢量化中可用此法所得的折线近似道路或等高线等曲线^[6]。

(6) 将图划分成 $n \times n$ 象素方阵, 每一方阵与定义的几十种图象模式匹配后生成编码控制图, 再由控制图中码的连通关系完成线段的识别^[7,8]。

在研究大量算法的基础上, 本文提出了一种以行程码图元为基本数据结构的矢量化的统计方法,

其具有速度快、抗噪声能力强、准确性高等特点。

2 图象编码

以程码组成的图段不仅包括了图线的拓扑结构, 而且还保留了线宽及交点特征等大量信息。近期发表的一些论文多倾向于这种数据结构。

本文采用改进的行程编码。工程图纸图象一般用黑白二值格式存储, 在一条扫描线上会出现大量连续的黑象素或白象素, 为了压缩存储空间和便于提取行程间连通关系, 只需对黑象素进行行程编码, 保存黑象素的起止位置。为了便于矢量化处理, 根据相邻两行上行程的连通关系将相邻的单连通行程用指针连起来定义为图元(Primitive)。并用指针保存图元间的拓扑关系。根据这种原则建立的数据结构利于提取图象的几何特征, 在一般情况下一个图元基本上就是一条直线或一段圆弧(图1)。

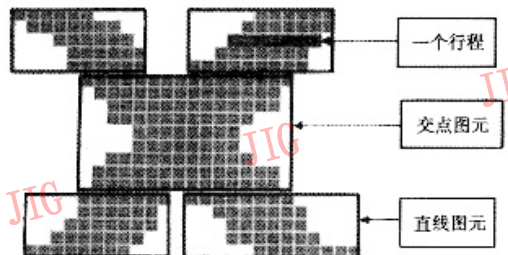


图1 改进的行程编码

Fig. 1 Modified run length coding

对近水平的直线采用垂直扫描的方法重新编码进行识别。在编码的过程中加入对噪声处理,可以消除一些扫描量化过程中产生的毛刺和空洞,起到平滑图象边缘、降低误识率。

3 折线的弦高测量识别法

因为矢量化以图元为基本单位,所以希望一个图元就是一条直线或一段圆弧,但根据图元的定义,折线视为同一图元(图2)。所以在进行矢量化之前要把它分割开。本文采用弦高测量识别法检测折线。

(1) 用行程的中点作为骨架点。

(2) 连接图元骨架两 endpoint, 作直线 ab , 线段 ab 的长度为 L_{ab} 。

(3) 计算图元上各骨架点到直线 ab 的距离, 求出距离最大点 c 。设 c 到 ab 的距离为 cd , $cd = D_{max}$ 。

(4) 设距离阈值 T_D 和长度阈值 T_L , 如果满足如下条件则认为图元需要进行分割, 分割点为 c 。

$$D_{max} > T_D \text{ 并且 } L_{ab} > T_L \quad (1)$$

(5) 一个图元中可能存在的直线多于两条, 若以上条件满足则继续分割。

4 直线的三元组统计识别

4.1 单段直线识别

(1) 取各个行程中点作为骨架点, 将骨架点按次序等分为3部分。从3部分中取对应骨架点组成 n 个三元组 $\{(a_i, \beta_i, \gamma_i), i = 1 \dots n\}$ (图3)。

(2) 判断三元组中3点是否共线, 由于三元组中 a_i 和 β_i, β_i 和 γ_i 间的距离是相等的, 所以可以根据如下方法判断是否共线:

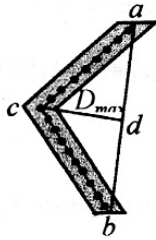


图2 弦高法识别折线

Fig. 2 Broken line detection with chord height

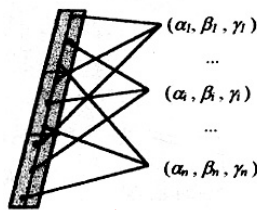


图3 三元组直线识别法
Fig. 3 Single straight line recognition with triples

$$2 * X(\beta_i) - (X(a_i) + X(\gamma_i)) < T_d \quad (2)$$

其中 $X(a_i), X(\beta_i), X(\gamma_i)$ 分别为 a_i, β_i, γ_i 的 x 坐标, 考虑到噪声的影响 T_d 一般取3到4个象素。若有大于 $n/2$ 个三元组满足条件, 则此图元可视为直线。

(3) 直线的方程由满足共线条件的点计算得出。设有 R 个三元组共线, 三元组中 a_i 和 β_i, β_i 和 γ_i 间在 y 坐标上的距离为 ΔY , 斜率 k 可以根据如下公式计算:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^R (X(\gamma_{m_i}) - X(a_{m_i}))}{(2 * \Delta Y * R)} \quad (3)$$

(4) 从三元组中选出共线性最好的一组作为参考点计算出线段的起始点和终止点。

本文所用的直线识别方法不同于经典的最小二乘法, 最小二乘法需要求解线性方程组, 速度慢, 并且对噪声比较准确性不高。因为在图纸扫描过程中不可避免地存在噪声和畸变, 而在最小二乘法在求解直线方程时所有的点都参与运算, 使噪声点与非噪声点处于平等的位置, 无法排除噪声的干扰。本文提出的算法希望通过图象的统计特征得出图形的几何特征, 以达到抑制噪声、提高速度和识别准确性的目的。

4.2 根据最长延伸原则合并直线

通过观察可以发现, 如果一条直线与其它线或弧相交, 在对其进行编码时将把它分为多个图元, 在相交部分形成一个交点图元。对这种情况用4.1的方法识别将得到多条被交点图元分隔开的直线段。为了将这些直线段合并为一条直线, 我们采用的方法是, 当识别出一段直线后, 就对这条直线分别向上、向下延伸, 直到不能延伸为止。

首如先向上延伸, 设当前处理的图元为 CurPrimitive

(1) 如果 CurPrimitive 的上方没有与之邻接的图元, 则结束向上延伸; 否则取这个邻接图元为 AdjPrimitive, 转(2)。

(2) 如果 AdjPrimitive 为直线则转(3), 否则转(4)。

(3) 如果 AdjPrimitive 的斜率与 CurPrimitive 的斜率相近, AdjPrimitive 的线宽与 CurPrimitive 的线宽相近, 并且 AdjPrimitive 的下端点与 CurPrimitive 的上端点距离小于线宽, 则直线向上延伸, 并重新计算延伸后的斜率, 设 CurPrimitive = AdjPrimitive, 转(1); 否则转(5)。

(4) 设 AdjPrimitive 的长度为 L_{Adj} , 按照 Cur-

Primitive 的斜率向上延伸,则预测的面积为 $L_{Adj} \times$ 线宽,计算与 AdjPrimitive 相交部分的面积,如果相交面积与预测面积的比大于 $2/3$,则将直线向上延伸,设 $CurPrimitive = AdjPrimitive$,转(1);否则转(5)。

(5) 如果 CurPrimitive 的上方仍有与之邻接的图元,则取下一个邻接图元作为 AdjPrimitive,转(2);否则结束向上延伸。

向下延伸的方法与向上延伸的方法基本相同,这里就不再给出具体算法。

5 圆弧的三元组统计识别

5.1 单弧识别

(1) 取图元两端点与中点的骨架点,如果 3 点共线则结束;否则计算经过 3 点的圆的圆心。

(2) 取与圆心同侧的轮廓点,将轮廓点按次序分为 3 部分,从各个部分中依次序各取一点组成三元组 $\{(\alpha_i, \beta_i, \gamma_i), i=1 \dots n\}$ (图 4)。

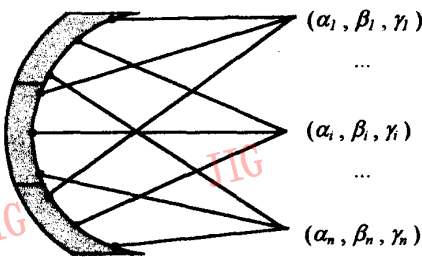


图 4 圆弧的三元组识别法

Fig. 4 Single arc statistic recognition with triples

(3) 计算经过各个三元组的圆的圆心 c_i 和半径 r_i 。

(4) 分别计算半径的均值 $R = \sum_{i=1}^n r_i / n$, 圆心的均值 $C = \sum_{i=1}^n c_i / n$, 圆心的偏差 $\Delta C_i = |c_i - C| (i=1 \dots n)$ 。

(5) 设阈值 $T_R = R/3$, 如果 ΔC_i 小于 T_R 的三元组的数目大于 $n/2$, 则将该图元识别为弧。圆弧的参数 C 和 R 用满足条件的三元组计算得出, 线宽的计算方法是将圆弧等分为 3 段, 取中段计算面积 S , S 除以 $1/3$ 弧长得出线宽。

圆弧的识别算法有很多种, 其中有代表性的有最小二乘法、Hough 变换、Thomas 算法和 Landau

迭代算法等。在这几种算法中 Hough 变换抗噪声能力比较强, 拟合效果最好, 但是速度比较慢。本文提出的统计识别方法根据统计特征有效地排除了噪声的干扰, 选择非噪声点对圆弧进行拟合, 计算复杂度低, 速度快。

5.2 圆弧合并

一个圆如果没有其它直线或圆弧与之相交, 那么在行程编码时将分为 4 个图元(上下两个弧顶、左右两段圆弧), 当有直线或圆弧与之相交时将被分为更多图元。在识别完圆弧后要合并得到完整的圆。合并算法如下:

(1) 根据圆弧的参数圆心 C 和半径 R 对所有圆弧进行聚类, 将圆弧分为 k 组。

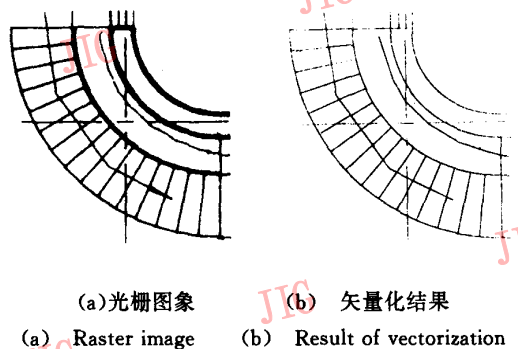
(2) 按照 5.1 中的方法, 对组中的圆弧内侧轮廓重新采样, 计算圆的半径 R 和圆心 C 。

(3) 根据连通关系和圆的参数, 对圆弧进行延伸, 如果未识别图元与预测圆弧相交部分的面积与预测圆弧面积的比大于 $2/3$ 则将圆弧延伸。

(4) 如果延伸后圆弧的总弧度大于等于 2π 则这一组圆弧被识别为一个圆; 否则这组圆弧按照连通性识别为多条圆弧。

6 应用实例

按照本文描述的算法对某工程图纸的一小部分进行矢量化(图 5), 得出了比较满意的结果。



(a) 光栅图象

(b) 矢量化结果

(a) Raster image

(b) Result of vectorization

图 5

Fig. 5

7 总结

本文提出的算法相对于传统的细化算法有很大的优越性, 它主要表现在:

(1) 行程编码既保存了全部的图象信息又便于抽取几何特征;

(2) 统计方法有效地消除了噪声的干扰,提高了识别的可靠性;

(3) 一遍处理和使用简单的计算节省了计算时间。

但是这种算法本身也存在一些缺点,如交点的位置不易确定,对短线的识别困难较大,相交密集处容易误判,容易重复识别等等。这些都需要我们在今后的研究工作中进一步完善和提高。

参考文献

- 1 Nagasamy Vijia. Engineering Drawing Processing and Vectorization System. CVGIP, 1990, 49: 379~397.
- 2 谭建荣, 彭群生. 基于图形约束的工程图扫描图象直线整体识别方法. 计算机学报, 1994, 17(8): 561~569.
- 3 Baotto L, Consorti V. (IBM) An Interpretation System for Land Register Map, 1992, 25(7): 25~32.
- 4 Han C C, Fan K C. Skeleton Generation of Engineering Drawings

via Contour Matching. Pattern Recognition, 1994, 27(2): 261~275.

- 5 Dori D. Sparse-pixel Recognition of primitives in engineering drawings, Machine Vision Applications, 1993, 6: 69~82.
- 6 Masakazu E, Shigeru K, Takafumi M. et al. Automatic Recognition of Design Drawings and Maps, Int. Conf. On Pattern Recognition 7th, Montreal USA, 1991, 1296~1305.
- 7 Lin X. Efficient Diagram Understanding with Characteristic Pattern Detection. CVGIP, 1985, 30: 84~106.
- 8 Vaxiviere P. Celesstin; CAD Conversion of Mechanical Drawings. Computer, 1992, 25(7): 46~54.



林贻佳, 1962年毕业于南开大学物理系, 现任南开大学计算机与系统科学系教授。主要研究方向为计算机视觉与图象处理。



王刚, 1990年毕业于南开大学计算机系, 同年免试进入本系攻读硕士学位。主要研究方向为图象处理, 计算机视觉。



宋乐乐, 1995年南开大学计算机与系统科学系本科毕业, 1995~1997年在南开大学攻读硕士学位。现已赴美, 在 Rutgers University 学习。

The Statistic Algorithm of Straight Lines and Arcs Vectorization

Wang Gang, Lin Yijia, Song Yueyue

(Department of Computer Science Nankai University, Tianjin 300071)

Abstract In this paper we present algorithms by using statistic/geometric features and simulating human vision mechanism to extract lines and arcs for vectorization of engineering drawings. Experimental results for complex line drawings confirm performances of these algorithms.

Keywords Vectorization, Statistic/geometric features, Simulating human vision mechanism