

工程图纸矢量化中的线条轮廓跟踪法

陆宗骐 张秋萍

(华东理工大学自动控制系, 上海 200237)

摘要 在工程图纸矢量化中引入了平均链码和线条的概念, 阐述了平均链码与直线链码的关系, 提出了确定线条边界的切向和法向、线条检测、线条两侧同步跟踪以及转折处理的方法。以此实现直线或微弯曲线的整条提取, 跟踪的同时实现图文的分离。矢量化的速度和质量都有较大的提高。此方法也适用于其它领域线条的检测与提取。

关键词 工程图纸矢量化, 链码, 平均链码, 线条检测, 线条轮廓跟踪

1 前言

基于细化的工程图纸矢量化方法是工程图纸自动处理技术的主流, 它通过对线条层层剥离, 直至只剩下原线条的中轴线(骨架), 再进行线条跟踪, 进而进行矢量化。其中具有代表性的工作见文献[1]。近年来又出现了利用行程编码获取连通图段进行矢量化的新方法, 其中具有代表性的工作见文献[2], 此文还提出了最大延伸原则, 旨在防止同一直线被分割成多段的现象。文献[3]提出了利用两侧轮廓矢量配对来确定线条中心线的方法, 以提高线条识别的精度和速度。还有多种处理方法, 在此不再一一列举。它们的共同特点是需先进行图文分离, 然后再进行矢量化。

本文介绍的线条轮廓跟踪法与此不同, 它将线条作为图形实体直接进行跟踪, 跟踪沿着线条延伸方向一直进行下去, 避免中间截断, 使跟踪得到的线条尽量完整。在检出线条的同时与文字、图符相分离, 检出线条轮廓后再进行识别进而进行矢量化。在这一点上与文献[2]的指导思想相同。其次, 跟踪沿着线条两侧同步进行, 利用了线条两侧边界的关联性。在这一点上与文献[3]的指导思想相似。此方法用于煤气管网图中线条的矢量化, 效果良好。图1为管网图的一个局部(略大于全图的1/64), 图2

为检出的线条, 从图中可以看出, 各直线段几乎都

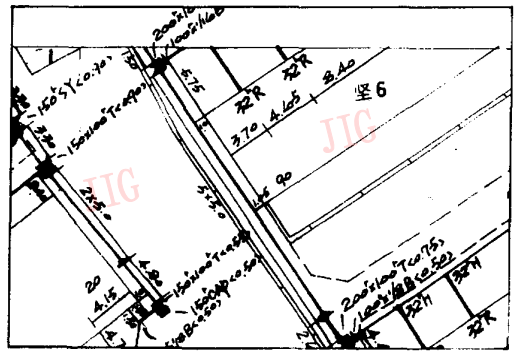


图1 管网图局部

Fig. 1 Part of pipeline network graphics

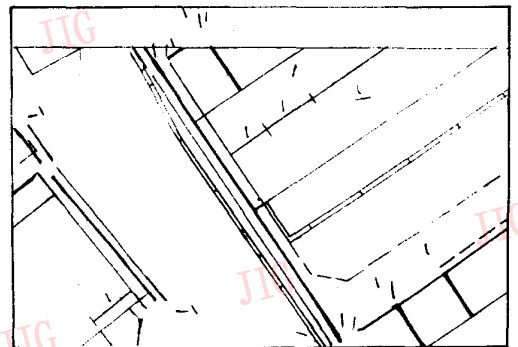


图2 检出线条

Fig. 2 Extracted lines

• 本文修改过程中参阅了林怡佳老师待发表的综述论文, 很受启发, 特此致谢
收稿日期: 1996-10-03; 收到修改稿日期: 1997-01-28

已检出,线条的粘连和重迭并未影响处理结果,字符笔划误检入的也不多。由于字符密集,字符与字符、字符与线条的粘连现象又很严重,此图用其它方法处理是比较困难的。

线条轮廓跟踪法利用线条细长、宽度均匀的特点自动寻找线条,采用平均链码表示线条的方向,采用线条两侧的同时跟踪对线条进行连续跟踪。本文介绍涉及的原理和处理方法。

2 平均链码

2.1 Freeman 链码与直线链码

早在六十年代 Freeman 在图象处理研究中引入了链码的概念^[4],链码方向的定义见图 3,它将 3x3 邻域中心点指向八个邻点的方向分别编码为 0 至 7。在图象处理中链码一般用来描绘区域的边界,或用于图象编码^[5],在轮廓跟踪中也可用链码控制跟踪的方向,文献^[6]介绍了轮廓跟踪的原理和实现的方法。

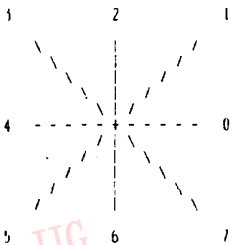


图 3 链码方向的定义
Fig. 3 Definition of chain code direction

70 年代, Freeman 又提出了直线链码的 3 个条件^[7]: (1)链码中至多出现两个符号,且它们在模 8 的意义下相差 1; (2)若有两个符号出现,则其中之一必单个出现; (3)单个出现的符号总是尽可能均匀地出现在链码之中。后来,吴立德严格地叙述并证明了这 3 条准则是直线链码的充要条件^[8,9]。

1984 年, Hung 提出了另一种更直观、简洁的表述,一个链码是直线链码的充要条件是不存在奇异对。所谓奇异对是指链码中这样的两段,它们的长度相同(即有相同个数的符号),但各自所含符号值之和的差的绝对值却大于 1^[10]。Hung 的表述已隐含了直线链码的平均值接近一个常量这一事实。由于直线是有方向的,并且定义链码方向的符号是有序的,因此这个平均值与角度一样也可表示方向。

2.2 平均链码的定义

链码的平均值称为平均链码。通常平均链码的取值范围为 0 至 8(不包括 8),为有理数。在定义链

码方向的八个方向上的直线,其平均链码取整数值,其它方向的直线的平均链码则有小数部分,见图 4。直线段的平均链码可以用来表示它的方向。相互平行的直线的平均链码相等或相差 4,相互垂直的直线的平均链码相差 2。线段愈长愈精确。这些可用以确定两直线的位置关系。

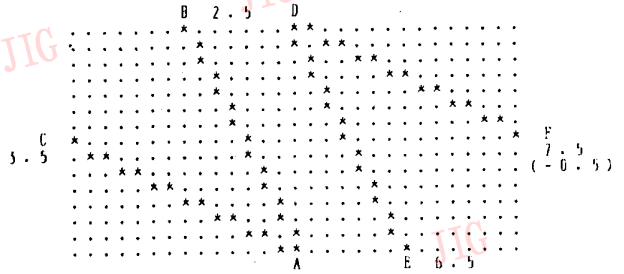


图 4 平均链码的计算

Fig. 4 Calculation of average chain code

为了能准确地表示方向,在计算 1、0、7 方向附近的直线的平均链码时应作一些附加的规定,即相邻方向的符号应取相邻的整数值,见图 4。图中 DF 的值为 7.5,计算时 0 方向用数值 8 代替。当它与第一象限中的直线比较时则应取值 -0.5,计算时 7 方向用数值 -1 代替。

2.3 直线、折线与曲线

平均链码可表示直线的方向,其功能与角度相当。因此,线条上同一点前后平均链码之差就可用来表征该点处曲率的大小。若用相同步数计算平均链码时,也可不取平均,这时链码和起了平均链码的作用。当然,此时链码值的确定也要遵守相邻方向的符号应取相邻的整数值的的规定。不同长度线条(步数不等)边界间关系的判定一般用平均链码,相同长度线条边界间关系的判定用链码和较方便。其实,平均链码是链码和的归一化。表 1 列出了图 5 中的圆弧(ABC)和折线(ADC)的链码、三点链码和与前后三点链码和之差值(以下简称差值)。从中可以看出直线(AD、DC)、折线与曲线各参数的差异。

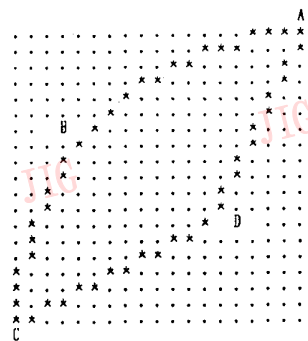


图 5 圆弧与折线

Fig. 5 Arc and broken line

实,平均链码是链码和的归一化。表 1 列出了图 5 中的圆弧(ABC)和折线(ADC)的链码、三点链码和与前后三点链码和之差值(以下简称差值)。从中可以看出直线(AD、DC)、折线与曲线各参数的差异。

直线的差值只能是 1、-1 或 0，并且 1 与 -1 应交替出现。折线在转折处差值有突变，圆弧与一般曲线的差值则是缓慢变化的，这些可作为区分的依据。差值缓变的曲线为光滑曲线。

其次，圆弧 ABC 的平均链码为 5，正好等于它

的弦 AC 的平均链码。由几何学知，弦的方向就是圆弧中心点的切线方向。由此引伸，平均链码可用于表示光滑曲线中点的切线方向，中点的法线方向也就随之而确定。

表 1 圆弧与折线的三点链码和

Table 1 The chain code sum of arc and broken line

ABC 的链码	4	4	4	5	4	4	5	4	5	5	5	5	6	5	6	6	5	6	6	6	6
三点链码和	12	13	13	13	13	13	14	14	15	15	15	16	16	17	17	17	17	17	18		
前后之差值				1	0	0	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	0	0	1		
ADC 的链码	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	5	4	5	4	5	4	5	4	5
三点链码和	17	16	17	16	17	16	17	16	17	16	16	14	14	13	14	13	14	13	14	...	
前后之差值				-1	1	-1	1	-1	1	-1	0	-3	-2	-3	0	-1	1	-1	1	...	

2.4 由平均链码作线段的延长线和垂直线

由直线链码的三个条件知，直线链码中至多出现两个符号，若有两个符号时，必有一个为单个地出现，为叙述方便起见，称单个出现的符号为少数符号，另一个则称为多数符号。这样，F3 条件就可表述为少数符号总是尽可能均匀地出现在链码中。在数值上平均链码介于多数符号与少数符号之间，且靠近多数符号。这个特点可用于由平均链码形成直线链码。

线条轮廓跟踪中很重要的操作是测定线条的宽度，这就需要作线条的垂直线。跟踪中折线采用在转折处作线条的延长线或垂线的方法予以截断。这些利用平均链码可以很方便地实现。已知端点坐标和线段的平均链码作线段延长线的步骤如下：

- (1) 由平均链码值确定多数符号和少数符号的数值。
- (2) 根据需要作的线段的长度(点数)确定线段上少数符号的个数。
- (3) 将少数符号均匀地分布在链码中。
- (4) 连接原链码与延长线链码，连接时注意少数符号的衔接。
- (5) 由端点坐标和延长线链码确定延长线上各点的坐标。

作垂直线的步骤同上，只是在第 4 步之后，需将延长线链码中的各符号同时加 2 或减 2，使方向指向线条内部。由于这种操作在跟踪中频繁出现，各方向的链码可以预先制成表格供查用。

2.5 判别线条边界的走向

线条轮廓跟踪时，线条边界的走向也可由平均链

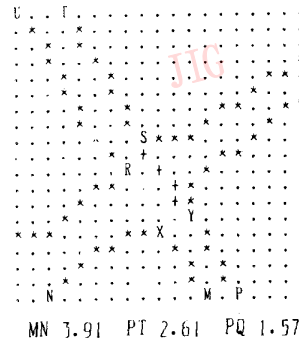


图 6 平均链码与线条走向
Fig. 6 Average chain code and line trend

码判定。线条边界的平均链码与线条平均链码之差小于指定值时可认为直行，超过指定值时可认为出现了转折，其中数值增大时为向左转，减少时为向右转。图 6 给出了两交叉直线部分边界的平均链码，其中线条边界 PT、左转边界 MN 和右转边界 PQ 的平均

链码分别为 2.61, 3.91 和 1.57。

3 线条与线条检测

3.1 线条定义

长宽比大、两侧边平行的连通区域称为线条。线条的定义主要是为线条检测提供依据，使用场合不同可有不同的理解。两侧边平行的狭义解释是直线间的平行，由于光栅图象的离散性，此时线条概念主要是指工程图纸中的直线和微弯曲线。广义解释为两侧形状相同，此时线条概念也可指光滑曲线。

3.2 线条检测

线条检测的步骤为(参见图 7)：

- (1) 线条一侧基本边界(12 点长，如 BAC)为光滑曲线。
- (2) 测基本边界中点(A)处线条的宽度，并找出它的对应点(D)。
- (3) 由线条宽度根据长宽比要求确定线条检测

所需边界长度,确定两侧定长边界(BAX 和 EDY)。

(4) 线条两侧定长边界应匹配,满足线条的要求。

线条检测可用于搜寻跟踪起点,也可用于跟踪过程中确定后继线条。因为字符笔划较短,当检测边界取得较长时,可将线条与字符相分离。

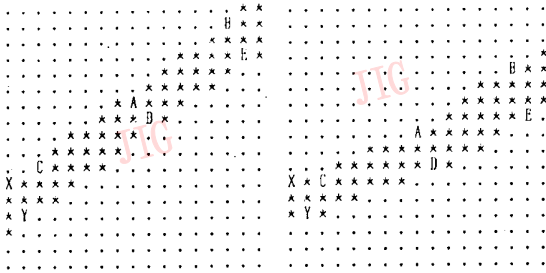


图 7 线条的检测

Fig. 7 Line detection

4 线条轮廓跟踪

4.1 跟踪的步骤

线条轮廓的跟踪分成三步进行,即待跟踪线条(跟踪起点)的寻找、线条轮廓跟踪和线条填色。跟踪时先按线条的要求在平面上寻找符合要求的起始点,将起始段的平均链码作为线条跟踪的方向,然后在线条两侧同时向一个端点方向跟踪,一个方向跟踪完毕再向另一端点方向跟踪。整条线条找出后,记下其参数并将它用特定的颜色填充。这样周而复始直到全部线条检出为止。检出的线条由后处理进行矢量化。在直线跟踪时,跟踪过程中跟踪方向不能作太大的修改。在曲线跟踪时,跟踪过程中跟踪方向可根据情况进行修改,为了发现曲线闭合或自相交,跟踪过的边界需作标记(修改颜色),以示区别。

4.2 跟踪的同步

线条轮廓跟踪的关键是两侧齐头并进,同步跟踪,这样便于考察两边的状态,分别进行处理。处于线条同一垂直线上的两个边界点互为对应点(如图 7 中 A、D 点)。跟踪时由左、右对应点控制同步。左、右侧跟踪交替进行,以左侧为主、右侧为辅。跟踪时先左侧跟踪 9 点,然后由左侧跟踪步的终点找出它的右侧对应点。接着,右侧跟踪 12 点或以左侧跟踪步终点的对应点为当前跟踪步的跟踪结束点。若此时两边都为直行,则重复这一过程。左、右侧跟

踪步终点重合即终止一个方向的跟踪。处理过程中线条内点的判定采用四连通,边缘跟踪采用八邻接。

4.3 转折处理

若左、右跟踪步中至少有一处出现转折,即需作转折、三叉或交叉处理。为便于处理使转折点尽量处于跟踪步的中间位置,左右两侧各再跟踪若干点,使左右跟踪步都达到 14 点。处理时,考虑到线条毛刺的影响,与跟踪方向的平均链码相差 0.25 以上时认为出现转折。差值界限取得太小会影响线条的连续跟踪。此时的分辨率为 10 度左右,由于图纸中小交角线条出现的机会很小,因此对处理结果的影响不大。如果出现,可由后处理进行区分。

4.3.1 折线的截断

两侧边界向同一方向弯曲时为折线或曲线,折线的截断分微弯折线和大角度折线两种情况处理,见图 8(a)、(b)。处理时先找出偏转内侧的折点 X,然后由此作线条的垂线得交点 V,或作延长线得交点 R,以此截断折线。在曲线跟踪时转折处不应截断,而应根据情况调整同步、修改跟踪方向。

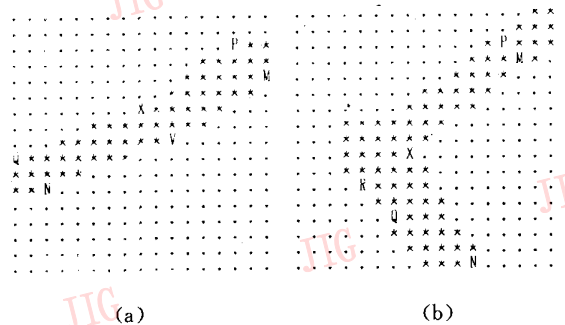


图 8 折线

Fig. 8 Broken line

4.3.2 纵三叉的跨越

一侧直行,另一侧向外弯曲时为纵三叉。纵三叉的处理采用直边引导弯边的方法,见图 9(a),即先将偏转侧跟踪步终点由 Q 返回折点 X 处,再找出直行步跟踪终点 N 的对应点 V,然后将 X、V 相连即完成了纵三叉的跨越。

4.3.3 横三叉和交叉线的处理

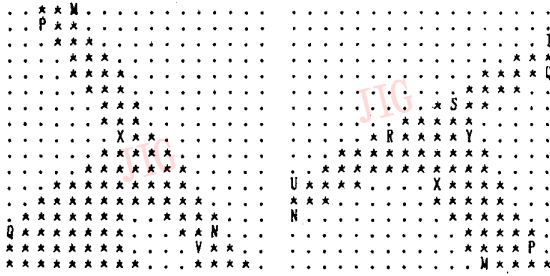
两侧边界同时向外侧弯曲时是交叉或横三叉,处理时采用作延长线的方法,即左、右侧跟踪步终点 N、Q 先退到折点 X、Y 处,然后从折点出发作线条的延长线,得延长线与对面边界的交点 R、S,连

接 R、S 点即可将横三叉截断，见图 9(b)，或由 R、S 出发继续跟踪，见前面图 6。延长线可取 20 至 25 点。这样既可穿越小交角线条，也可穿越较小的实心图符（见图 1、2 中长的那条粗线）。对于复杂情况也可在跟踪线条的前方区域搜索后继线条。

划、笔顺，以缩小脱机手写体识别与联机手写体识别的差别等。

参 考 文 献

- 1 Nagasamy Vijay. Engineering Drawing Processing and Vectorization System. CVGIP, 1990, (49):379~397.
- 2 谭建荣. 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 Han C C, Fan K C. Skeleton Generation of Engineering Drawings via Contour Matching. Pattern Recognition, 1994, 27(2):261~275.
- 4 Freeman H. On the Encoding of Arbitrary Geometric Configurations IRE Trans EC-10 1961, 260~268.
- 5 冈萨雷斯. 数字图象处理. 北京: 科学出版社, 1982.
- 6 陆宗骞. 图象处理领域轮廓跟踪及应用. 中国计算机用户, 1994, (10):49~52.
- 7 Freeman H. Boundary Encoding and Processing, in Picture Processing and Psychopictures, Lipkin B S. and Rosenfeld ED., Acad. Press, N. Y. 1970, 241~266.
- 8 Li-de Wu. On the Freeman's conjecture about the chain code of a line, Proc. of 5th ICPR, 1980, 32~34.
- 9 Li-de Wu. On the chain code of a line, PAMI, 1982, 14: 347~353.
- 10 Hung S. et al. Proc. of 7th ICPR, IEEE Computer Society. MD, 1984, 116~119.



(a) (b)

图 9 纵三叉与横三叉

Fig. 9 Vertical and horizontal trifurcate line

5 后 记

线条轮廓跟踪已在煤气管网图中线条的矢量化上获得初步成功。根据跟踪原理，它也有望应用于其它牵涉线条的场合，如在表格处理中检出表格线和确定表格的结构，以及在手写体识别中理出笔



陆宗骞，1968年毕业于上海工学院仪表系，1981年毕业于同济大学电气工程系，获硕士学位。1982年至今就职于华东理工大学（原华东化工学院）自控系，现为副教授，主要从事图象处理、计算机图形学和模式识别的教学和研究工作，出版了微型计算机图象处理 C 语言程序库（软件）。

Line Contour Tracking in Engineering Drawing Vectorization

Lu Zongqi, Zhang Qiuping

(Automatic Control Department, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237)

Abstract This paper gives new definitions of line and average chain code, outlines the relation of average chain code and straight line chain code, and proposes the mechanism of line detecting and line contour tracking method. Based on this method, we successfully extract straight lines and smoothly bend lines and separatetext from image while tracking. This method can greatly improve the quality of vectorization and have a higher processing speed. It also can be used to detect and extract lines in other fields.

Keywords Engineering drawing vectorization, Chain code, Average chain code, Line detection, Line contour tracking