

文章编号 1004-924X(2002)04-0374-05

工程图像的矢量化技术

何永义, 夏俊昇

(上海大学 机电学院, 上海 200030)

摘要: 工程图样的自动矢量化是 CAD 领域尚未解决的关键技术之一。本文通过对平面二维的工程图样进行了分析, 介绍了图像二值化、修饰处理、边缘检测、骨架化、矢量化, 编制了自动矢量化算法, 并描述了主要函数的功能, 该算法将彩色或灰度图样自动转化为直线与圆弧, 再由 CAD/CAM 软件生成 NC 代码。

关键词: 工程图样; 矢量化; 二值化
中图分类号: TP391.41 文献标识码: A

1 引言

如何将大量、丰富的存档产品图纸或工程样图方便、迅速地输入到 CAD 系统, 是 CAD 技术普及和应用待解决的难题之一。这牵涉到把所设计的花纹样图, 迅速方便的转变为矢量图, 以便自动生成 G 代码。由于人机交互方式输入工程图纸存在着繁琐、低效等弊端, 工程图的自动矢量化, 就成为解决这一问题的重要途径。这一技术通过图像/数字转换装置, 将工程图样输入到计算机, 运用图像处理, 进行

图纸中各类要素的自动提取、识别与综合, 并转换成 CAD 系统所兼容的数据格式。它对提高 CAD 系统整体的自动化和智能化水平, 加快设计进程, 以及实现工程图纸的计算机文档管理等均具有十分重要的意义^[1,3]。点阵图像和矢量图形都可用来描述一幅图形, 但后者具有更高的描述层次。矢量图形也比点阵图像占有少得多的数据存储量, 特别是可以方便地实现对图形的编辑、修改与生成数控加工指令, 因此 CAD 系统通常采用矢量图形来描述一幅图形, 其矢量化流程如图 1 所示。

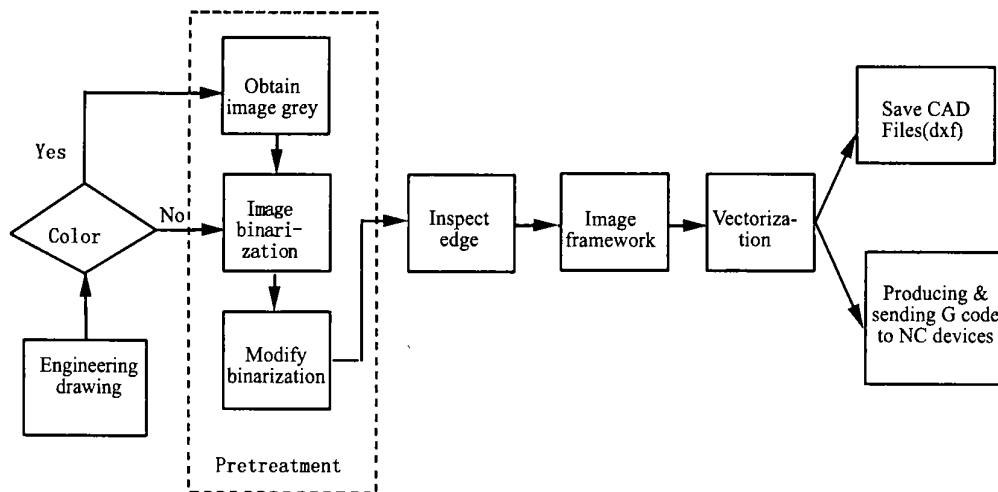


图 1 矢量化流程图

Fig. 1 Vectorization flowchart.

2 矢量化的主要流程

2.1 图像的预处理

1) 图像的二值化

图形处理时,先灰度化再二值化。二值化最关键的是阈值的选取。在大批量流水线或自动安装的生产线中,使用固定的阈值显然是不合适的。一般工程图像比较简单,采用全局阈值。二值化阈值通常 127 附近(255 灰度级的一半)。最常用的阈值选取方法就是根据原图的直方图的灰度分布来进行^[2]

所谓直方图,即对于给定的图像 $f(x, y)$, 设图像的面积为 A , $A(r)$ 为灰度级小于 r 部分的面积之和,则概率密度 $P(r)$ 为:

$$P(r) = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{A(r + \Delta r) - A(r)}{\Delta r \cdot A}$$

且有 $\int_{r_{\min}}^{r_{\max}} P(r) dr = 1$

做 $r \sim P(r)$ 的曲线,即得 $f(x, y)$ 的直方

去除孤立点 (0、1 是随机数):

*	*	*
0	1	*
*	*	*

*	*	*
*	1	0
*	*	*

*	*	*
*	1	*
*	0	*

*	0	*
*	1	*
*	*	*

填补空白点 (0、1 是随机数):

*	1	*
*	0	*
*	1	*

*	*	*
1	0	1
*	*	*

1	*	*
*	0	*
*	*	1

*	*	1
*	0	*
1	*	*

2.2 边缘检测

在计算机图形学中,边界定义为不同灰度值的相邻区域,是灰度值不连续的结果。这种不连续的结果能用一阶或二阶求导所得。本文使用不计方向性的 Laplace 算法。它是一种二阶导数算子,对于连续函数 $f(x, y)$,它在 (x, y) 位置的拉

普拉斯值为: $\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$ 。在离散情况下,

为 $\nabla^2 f(x, y) = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 w(i, j) f(x - i, y - j)$

可以看出这也是一个 3 × 3 模板的模板卷积

图。

对于普通图形一般为双峰直方图,选取两峰之间的谷底所对应的灰度值就自然可将本背景和目标分开。其最小值的点应满足:

$$\frac{\partial h(z)}{\partial z} = 0 \text{ 和 } \frac{\partial^2 h(z)}{\partial z^2} > 0$$

但是求导的运算量很大,这里提供一个经验公式: 求 $\text{Min}((t_{k-2} + t_{k-1} + t_k + t_{k+1} + t_{k+2})/5)$ $k = 100 \sim 200$

这个 k 就是最佳阈值。

2) 修饰处理

工程图扫描图像预处理由于工程图纸本身的绘制质量,光电扫描时的光照度不匀,以及扫描系统的带宽限制等因素影响,其图像往往夹杂着“噪声”和缺陷。经扫描输入和二值化所得到的数字图像,往往不可避免地产生如毛刺、斑点、孤点以及小的空孔与裂缝等局部“噪声”和缺陷,需要通过图像用 3 × 3 模板 $f(x, y)$ 卷积的方法,修饰处理局部噪声和缺陷,以使它们减轻或消除。

0	-1	0
-1	4	-1
0	-1	0

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

2.3 骨架化

1) 判定图像点是内部点 (I) 或是边缘点 (B), 设像素 x_0 有四个处于垂直和水平方向的邻居 x_1, x_2, x_3 和 x_4 , 其判定的算法为:

if $x_1 \quad x_2 \quad x_3 \quad x_4 = 1$ then $x_0 = "I"$
else $x_0 = "B"$

上式中, 为逻辑“和”符号,其结果如图 2 所示。

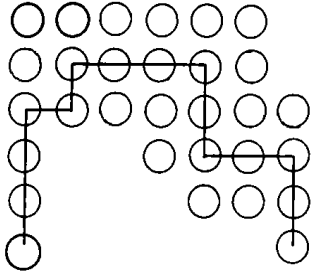


图 2 原图
Fig. 2 Image.

2) 标定连接性(标以符号 P),其算法为

$$\text{if } [x_1 \quad x_2 \quad x_3 \quad x_4 = "B"] \\ [x_0 = "I"] \text{ then } x_0 = P$$

在上式中, 为逻辑“或”符号,其结果如图 3 所示。

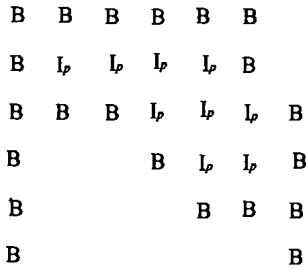


图 3 标记图
Fig. 3 Mark image.

3) 细化图形,以下三种点置 1,其它所有的点置 0,如图 4 所示。

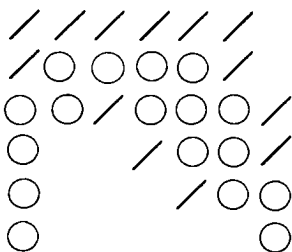


图 4 细化图(一次)
Fig. 4 Image binarization.

连接点 I_p
单个 B 与 I_p 或 B 的联接点
垂直或水平方向的单个 B 点。判据 $[x_2 =$

$0, x_4 = 0] \quad [x_1 = 0, x_3 = 0] \quad (x_0 = 1)$
4) 反复重复(1) - (3) 直至所有的点都标记为 B 。

2.4 矢量化

1) 图形的辨析

对于一个细化点集 $\{P_i\}, i = 0, 1, 2, \dots, n-1$, 每个点必然存在两点 $P_{i-k}, P_{i+k} (k = 1, 2, \dots, n-k-1, k$ 为预设常数), D 为 P_i 到 P_{i-k}, P_{i+k} 的距离, 把 D 的变化与预先设定的阈值 L 作比较, 可判定点的类型:

- 若 $D < L$, 则 P_i 属于直线
- 若 $D > L$, 则 P_i 为转折点, 若 D 在模一连续区域中近似为常数, 则将对对应点矢量化为同一段圆弧。

参数的确定

对于直线来说, 只要一般平面几何的知识, 由 P_{i-k} 与 P_{i+k} 两点就可以确定直线方程, 对于圆弧来说, 设圆弧由 m 格细化点 $\{P_i\} i = 1, 2, \dots, m$ 组成, 由最小平方差算法可求得其圆心 (x_c, y_c) 及半径 r_c

$$x_c = 0.5 \times \frac{\begin{vmatrix} B_1 & A_{12} \\ B_2 & A_{22} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{vmatrix}}$$

$$y_c = 0.5 \times \frac{\begin{vmatrix} A_{11} & B_1 \\ A_{21} & B_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{vmatrix}}$$

$$r_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \sqrt{(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2}$$

其中:

$$A_{11} = \sum_{i=1}^{m-1} (x_{i+1} - x_i)^2$$

$$A_{22} = \sum_{i=1}^{m-1} (y_{i+1} - y_i)^2$$

$$A_{12} = \sum_{i=1}^{m-1} (x_{i+1} - x_i)(y_{i+1} - y_i)$$

$$B_1 = \sum_{i=1}^{m-1} [(x_{i+1} - x_i)(x_{i+1}^2 - y_{i+1}^2 - x_i^2 - y_i^2)]$$

$$B_2 = \sum_{i=1}^{m-1} [(y_{i+1} - y_i)(x_{i+1}^2 - y_{i+1}^2 - x_i^2 - y_i^2)]$$

2) 注意事项

对图元起点的搜索: 刚开始时, 从上到下, 从

左到右搜索像素值为 1 的点。当搜索下一个图时,从上一个图元的起始点再次从上到下,从左到右搜索。如此即保证了每一点都能被找到,也减少了扫描次数,节约了时间。

扫描方向性:在考虑到分叉的情况,在第 P_i 个点四周最多有 7 个点,但认为 P_{i+1} 点为距离 $P_{i-1} P_i$ 连线的延长线最近的那个点为默认 P_{i+1} , 尽可能保持原图的连贯性与完整性。

·避免重复扫描:在扫描过程中每记录一点就应当删除该点,连接点 $f(x - i, y - j)$

3) 除外,以避免重复跟踪。

3 后续处理

将工程图像矢量化后得到直线或圆后,可以把它直接转化为 G 代码,输入数控机床,进行加工切割。但是,更常用的是转存为 CAD 文件(若 DXF 文件格式),可经过修改,分析(如刀具补偿)。现在 C 语言已经提供了对 DXF 文件的接口,所谓接口是指在其他高级程序生成的一种让 CAD 系统自动辨识的图形数据,其程序如图 5 所示。用 ARX 开发了 CAD/CAM 软件,该软件能自动生产 NC 代码。后续处理的主要函数有:

hsec() 为 DXF 文件加上一个标准头,是无参数函数

endsec() 为 DXF 文件加上一个标准尾,表示 DXF 文件结束。

cpoint(x, y) 生成点

ccline(x₁, x₂, y₁, y₂, k) 生成一条从点(x₁, y₁) 到点(x₂, y₂) 颜色为 k 的一条直线。

参考文献:

[1] 宋晓宇. 工程图自动矢量化的设计与实现[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2000, 11(1): 58 - 62.
 [2] 冯桂. 图像直方图不变特征在影像匹配定位中的应用[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2000, 12(2): 146 - 148.
 [3] 章毓晋. 图像处理和分析[M]. 北京:清华大学出版社, 1999.

ccircle(x, y, r, k) 画一个以(x, y) 为圆心, r 为半径, 颜色为 k 的圆。

carc(x, y, r, q₁, q₂, k) 画一个以(x, y) 为圆心, r 为半径, 起始角为 q₁, 终止角为 q₂, 颜色为 k 的弧。

注:k 值代表颜色,如 K = 0 时为黑色, k = 5 为蓝色。

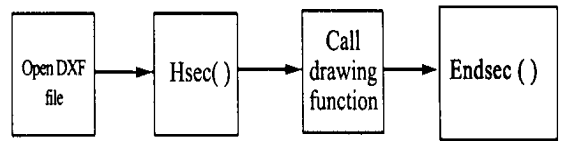


图 5 程序流程图

Fig. 5 Routine flowchart.

4 总结与展望

本文通过对工程样图的预处理,边缘检测、细化等一系列处理,基本能实现图像的自动矢量化工作,扫描输入与智能识别研究,迄今已取得了很大成果。但总的来说,这项技术还不够成熟,需操作人员干预,距实用化的要求还有一定距离。有些问题需要进一步解决:(1) 识别精度和识别范围有待于进一步提高。(2) 尽管使用了预处理,但识别结果受原始输入工程图纸质量的影响仍很大。针对上述存在的主要问题,我们应当根据工程图的生成规律和画法规则更多地引入基于知识的智能识别,解决好系统的综合问题,使得智能自动识别和人工交互识别相结合,同时加强预处理算法研究。这样才能使这项成果更有实用性。

Vectorization technology for engineering image

HE Yong-yi , XIA Jun-sheng

(School of Mechatronics , Shanghai University , Shanghai 200072 , China)

Abstract : Engineering image vectorization is the key technology in CAD. In this paper , a new method is proposed for engineering image vectorization , and the technology of image manipulation such as image binarization , etc. is explicated. With the vectorization software developed , engineering images can be converted into lines and arcs , and the NC file can be produced from the vectorization file in DXF format by CAD/CAM software.

Key words : engineering drawing ; vectorization ; image binarization

作者简介:何永义(1965 -)男,浙江省兰溪人,副教授,研究方向:计算机控制;
夏俊昇(1980 -)男,上海市人,硕士,研究方向:计算机控制。

欢迎您订阅《光机电信息》

《光机电信息》是由中国科学院长春光学精密机械与物理研究所主办的科技类信息刊物。主要报道国内外光机电领域的前沿与发展动态,内容包括光学、光电子学、激光、光通信、发光学、精密机械、医用光学、军用光学、航空航天技术、微机械、计算机与测量技术等高新技术的各个领域,涉及科技热点评述、趋势与动向、科学专题、研究综述、科学探索、市场动态、新产品开发和高新技术产业化等多方面内容。

为满足不同读者的不同需求,在传播和报道国内外最新信息的同时,我们努力将办刊和为科研生产服务有机地结合在一起,对《光机电信息》所报道的每一专题,乃至每一条信息,我们都可以利用长春光机所的丰富馆藏优势和先进的计算机检索系统,为读者展开深层次的文献跟踪服务,这是我们在新世纪对广大读者的又一庄重承诺!

本刊为月刊,国内外公开发行,每期定价 5.00 元,全年 60.00 元(含邮费)。个人订阅,通过邮局汇款。单位订阅,请填好订购单位通信签、长春光机所财务科存根《记帐凭证》,连同款项通过银行寄回。欢迎广大读者订阅并投稿。

地 址:长春市 1024 信箱《光机电信息》编辑部

开户行:中行吉林省分行营业部

帐 户:04 单位 438 部

帐 号:01471908091001

国内邮发代号:12 - 171

《光机电信息》编辑部