

基于细化和自适应网格的图纸矢量化方法^{*}

张元科 曹宝香

(曲阜师范大学计算机科学学院 山东日照市 276826)

摘要 文中提出了一种基于细化和自适应网格相结合的矢量化方法,该方法将局部矢量化与全局矢量化结合起来,既具备了基于细化方法进行图纸矢量化的优点,同时又可以利用自适应网格技术提取交叉处矢量以避免畸变的产生。

关键词 工程图纸,自适应网格,细化,矢量化

1 引言

工程图纸扫描图像的输入识别,一直是困惑学术界、工程界的一个难题。对于如何将工程图像中的图形基元准确地识别出来,人们提出了各种各样的方法,总的来说可以分为基于细化的方法和基于非细化的方法。但到目前为止,真正投入使用的矢量化系统较多为基于细化的矢量化算法。

细化的好处主要是能够保持图形的连通性和拓扑关系的不变性,细化后的骨架信息比轮廓线和游程编码更直观,图形特征易提取。但由于细化通常是在一个很小的网格(3×3模板)内通过遍历整幅图像进行的,而图形基元(线段、圆、圆弧、交叉点、切点等)的图像点阵一般要比3×3的跟踪模板大得多,故在细化处理后,光栅图像中连通线条的节点往往会产生畸变,从而在跟踪过程中遇到这些畸变的节点时,往往无法确定跟踪的走向,最终导致跟踪线条不完整,细碎直线较多的现象,进而引起图形矢量化和图形解释的困难。这些缺点是制约基于细化的矢量化方法走向应用的关键。

本文提出了一种基于细化和自适应网格相结合的矢量化算法。算法首先对工程图原始二值图像利用自适应网格跟踪的方法,将交叉处矢量提取出来,存入一临时文件中。再将跟踪网格内的黑色像素值由原来“1”变为“0”,即擦除网格内交叉处图形基元。然后对剩下的较为光顺的二值工程图利用基于细化的方法进行矢量化。最后将前后提取出的矢量进行合并,从而完成全图的矢量化。算法将局部矢量化与全局矢量化结合起来,既充分利用了基于细化的方法进行图纸矢量化的优点,同时又利用自适应网格技术提取交叉处矢量避免了畸变的产生,具有较强的实用性。

2 传统基于细化的矢量化算法

传统的基于细化的矢量化方法以细化作为图像特征提取的主要手段,将细化后所得的图像骨架进行跟踪,形成链码后拟合,最后取出图形基元的矢量信息。传统的基于细化的矢量化算法的主要流程如图1所示:

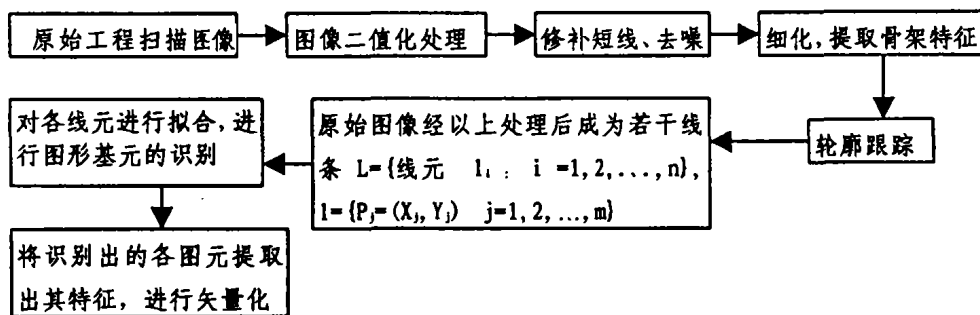


图1 传统基于细化的矢量化算法流程

3 基于自适应网格与细化方法相结合的矢量提取

3.1 自适应网格的生成

由于在300DPI的扫描分辨率下,一般工程图纸的线宽在3~18像素(0.25~1.5mm)之间变化,故可将初始跟踪网格的大小取为10×10像素。在对输入二值工程图纸搜索以寻找存在交叉点区域的

^{*} 本文由国家自然科学基金项目(项目编号:60072014)和省自然科学基金项目(项目编号:Y2003G01)资助。张元科 硕士,主要研究方向为真实感图形学及图像处理。曹宝香 教授,主要研究方向为计算机辅助设计。

过程中,网格的大小始终依据一定的规律自适应变化以确保网格内只包含一个交叉点。

网格在跟踪过程中,必须始终满足以下五个条件:①网格的4个顶点都不能为黑像素。②网格的四边框线上的像素点不全为黑像素。③网格内所包含的图形区域必须具有连通性。④网格内的交叉点

数目或切点数目之和至多为1个。⑤自适应形成网格的高度和宽度最大不能超过线宽宽度的M倍。(取图纸最大宽度为20像素,本文在实验时取M为3)。基于自适应网格的矢量化方法的算法流程如下^[2]:

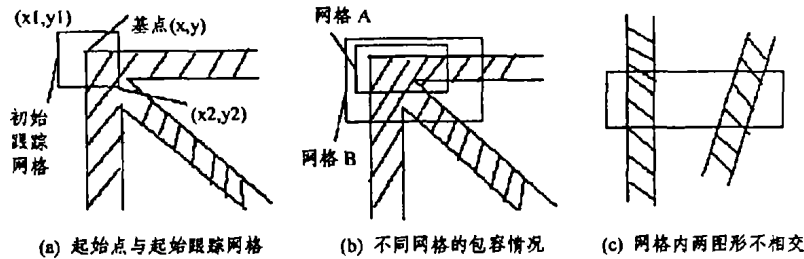


图2 自适应网格

Step1: 沿图形扫描的方向搜索黑像素(值为“1”点),以第一个遇到的点作为网格的基准点,设其坐标为 (x, y) ,如图2(a)。则初始网格的左上角 (x_1, y_1) 与右下角 (x_2, y_2) 的坐标分别为 $(x - A, y - B)$, $(x + 10 - A, y + 10 - B)$,其中A, B为依图纸线条粗细预先设定的值,这里取 $A = 3, B = 3$ 。

Step2: 判断初始网格及以后所形成的网格是否满足条件1至5,若满足则转step4,否则转下步。

Step3: 对不满足条件的网格进行放大处理,右下角坐标将变为 $(x_2 + i \times h_step, y_2 + j \times v_step)$,如图2(b)。其中 i, j 为水平和垂直方向的放大次数, h_step, v_step 为水平和垂直方向的放大步长。这里 h_step, v_step 可取为 ± 2 ,最终使网格放大(缩小)到满足条件1至5为止。

Step4: 计算与网格四边框相交的交线数,上下左右四边的交线数分别记为 c_1, c_2, c_3, c_4 ,记 $c = \sum c_i$ ($i = 1, 2, 3, 4$),即四边交线数之和,则 c 即为交叉处交叉线的个数。将网格向上下左右四个方向进一步扩大,扩大步长取一个像素,每个方向的扩大次数可以不一样,直到得到满足上述5个条件且 c 为最大的网格 W_{max} 为止。

Step5: 提取出交叉处图形基元的矢量信息,存入临时文件FILE_TEMP中,然后将网格内所有的黑像素“1”改为“0”,即擦除网格内的图像信息。继续搜索工程图,如果仍存在交叉点转step1,否则转下步。

Step6: 将原二值图纸擦除所有交叉处之后的图像信息用一2维数组 $A[i][j]$ 存储,以用于下面基于细化的矢量化算法进行矢量提取。

3.2 交叉处网格内图元矢量的提取

当采用自适应网格跟踪方法捕捉到交叉处图像区域后,下一步的工作便是对交叉处图形基元的矢量信息进行提取。

实际的工程图纸其所包含的图元基本上均为直

线和圆弧,因而形成交叉的区域也大体可以分为直线与直线相交、直线与圆弧相交、直线与圆弧相切以及圆弧与圆弧相交切等情况。在对本文所处理的机械工程扫描图纸进行仔细分析后发现,经过自适应方法最后形成的包含交叉处图元的网格一般在15~25像素之间,故此时网格内的图形基元均可看成是由短线段相交而成,如图3。这样做一方面可简化矢量提取的复杂度,另一个目的是为了将本过程提取的短线段与后面利用动态分割法提取出的网格外的短直线矢量段进行拼接以用于最后阶段进一步的对直线或圆弧的拟合。可以采用双网格技术提取交叉处矢量。算法流程如下:

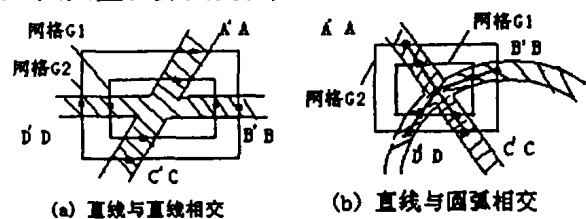


图3 网格区域矢量提取

Step1: 设取得基元类型的网格为 G_1 ,图线与 G_1 各边框的交线的中点分别为A, B, C, D(图3中黑点所示)。

Step2: 将网格 G_1 进行膨胀,得到另一个网格 G_2 ,但此时须将条件⑤放宽至5倍的最大线宽,同时网格 G_2 的C值必须和网格 G_1 的C值相等。设图线与 G_2 各边框的交线的中点分别为 A', B', C', D' 。

Step3: 两两求取向量 AA', BB', CC', DD' 的夹角 $\alpha(a, b)$,其中 a, b 分别代表上述四个向量。如果 $\alpha \leq \alpha_T$,则认为两向量共线或者平行。 α_T 为自设的域值,这里取 4° 。当判断出两直线平行或者共线后,如果两直线间距 $\beta \leq \beta_T$, β_T 为域值,可取3个像素,则将两线段合并成一条线段。当网格内所有的线段合并完后,求取各直线的斜率 K 。

Step4: 两两求取网格内线条的交点, 如果所有交点均落在 $W1$ 中的一个很小的区域内, 且交点均为黑像素, 则取这些交点的重心为交点 P_0 。

Step5: 过交点 P_0 做交于 $G1$ 网格框上的斜率为 K 的直线, 并求出其交于网格框上的交点 P_1 、 P_2 , 同时检测 P_1 、 P_2 对应坐标处的网格边框上的像素是否为黑像素。

Step6: 若网格边框上的像素均为黑像素, 则将 P_1 、 P_2 作为一条短直线的端点; 否则将 P_0 与 P_1 或 P_0 与 P_2 作为一条短直线的端点, 如果两短直线有共同的端点则将两短直线合成一条折线段(此折线段最多只能有两条线段组成)。最后将网格内提取的各条短直线(折线段)端点依次存入二维数组 $InPointArray[][]$ 中, 其中第一维表示各条线段, 第二维表示每条线段的端点。

3.3 网格外图元的基于细化的矢量提取

经过前面的处理, 原始的二值工程图像中的交叉处区域已经被擦除, 此时的图像剩下的只是一条条光滑的图线, 因此可以采用基于细化的矢量化方法。细化过程首先提取出图线的骨架点, 然后对骨

架点进行轮廓跟踪, 具体细化过程不再详述。

此时的图像经过以上细化处理就成为若干线条 $L = \{l_i, i = 1, 2, \dots, m\}$, 其中线元 $l = \{P_j, j = 1, 2, \dots, n\}$, 然后对各线进行拟合, 提取出矢量信息, 量化结果为一个存放点阵的二维数组 $OutPointArray[][]$, 其中第一维表示各个线元, 第二维表示各线元的端点。本文采用动态分割法进行矢量化, 假设跟踪得到的图元轮廓起点为 A , 终点为 B , 具体方法如下:

(1) 连接两个端点 A 、 B 构成直线 L , 如图 4(a) 中虚线所示, 计算端点 A 、 B 之间的每个轮廓点至 L 的距离, 找到距 L 最远的点 P , 若 P 至 L 的距离大于阈值 δ , 则连接 A 、 P 。

(2) 在 A 、 P 之间的轮廓点上重复(1)的做法, 直到找到一点 X , 使边上 A 与 X 之间的点距直线 AX 的距离均小于 δ 。此时 A 与 X 之间的曲线可用直线 AX 拟合, 将 X 保存。

(3) 在轮廓点 X 与 B 之间重复步骤(1)和(2), 即可将整条曲线用短直线拟合。拟合的结果如图 4(b) 所示。

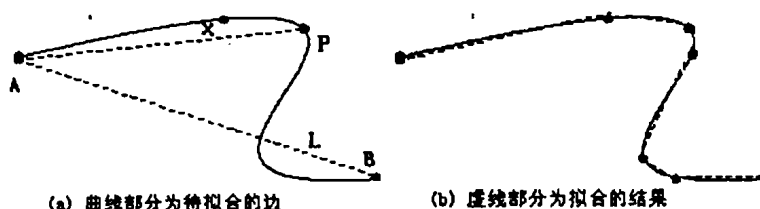


图 4 动态分割法拟合曲线示例

3.4 整图矢量化的实现

经过基于细化的网格外矢量提取之后, 网格内图元已被拟合成一系列短直线(折线), 各条短直线(折线)及其端点存入二维数组 $InPointArray[][]$ 中; 网格外图元也已被拟合成由一系列短线段组成的多边形其端点存入二维数组 $OutPointArray[][]$ 中。接下来的工作便是对前后拟合结果进行判断以连接相关分支并进行圆弧和直线的拟合。具体过程如下:

(1) 依次提取两数组中的图元端点进行判断, 如果有端点相连则进行合并, 结果存入数组 $PointArray[][]$ 中。此过程结束后, 两数组已合并成包括所有图元及其关键点的数组 $PointArray[][]$ 。

(2) 对数组 $PointArray[][]$ 中的图元进行拟合以精确判断其为圆弧、直线或者其他曲线。对曲线的拟合技术在许多文献中已有介绍, 由于篇幅所限, 这里不再详述。可参考文[4]。

经过此过程, 原图中的各个图元的矢量信息已经提取出来了, 如直线其属性为: $L = \{P_1, P_2, K\}$, 其中 P_1 、 P_2 分别为直线的两个端点的坐标, K 为直

线的斜率; 圆弧属性可为: $Arc = \{P_1, P_2, P_0\}$, 其中 P_1 为圆弧的起始点, P_2 为圆弧的终点, P_0 为圆心。对于其他不能用二次曲线拟合的图元, 直接用多边形近似表示即可。

4 实验结果与结论

根据以上方法, 我们对图 5(a) 所示的经过扫描的手工绘制图纸进行了矢量化, 其结果如图 5(b) 所示。在奔腾 4 微机上用 Visual C++ 6.0 语言实现。图纸扫描后, 经过去噪、细化、识别、矢量化等处理后, 存储为 AUTOCAD 能识别的 DXF 文件格式以备以后处理。实验结果表明, 本方法的对交叉点处的处理效果非常好, 基本能实现交叉点的精确定位, 表明所提的方法是确实可行的。

参考文献

- 霍宇翔, 丁宇, 陈耘, 等. 细化畸变节点形态分析及修正策略研究. 计算机辅助设计与图形学学报, 1997, 9(6): 500 ~ 505
- 谭柏珠, 叶邦彦, 陈澄洲. 基于知识的窗口矢量化技术. 计算机辅助设计与图形学学报, 2000, 12(2): 105 ~ 109

(下转第 82 页)

设 $M = \{m_1, m_2, m_3, m_4, m_5\}, A \in M$
 $W = \{w_1, w_2, w_3, w_4, w_5\}, B \in W$
 $U = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5\}, C \in U$
 \therefore 模糊规则为“IF A_i THEN B_i ”

\therefore 设 $R = \bigvee_{i=1}^n (A_i \times b_i)$, 则

$$\mu_R(m, w) = \bigvee_{i=1}^n (\mu_{A_i}(m) \wedge \mu_{B_i}(w))$$

\therefore 同理设 $S = \bigvee_{i=1}^n (B_i \times c_i)$, 则

$$\mu_s(w, u) = \bigvee_{i=1}^n (\mu_{B_i}(w) \wedge \mu_{C_i}(u))$$

\therefore 根据模糊关系, 设 $T \odot S$, 则

$$\begin{aligned} \mu_T(m, u) &= \mu_{R \cdot S}(m, w) \\ &= \bigvee_{i=1}^n \{ \mu_{R_i}(m, w) \wedge \mu_{S_i}(w, u) \} \quad (1) \end{aligned}$$

根据控制规则对规则进行激活, 激活原则为, 若某规则的前提条件得到满足, 则该规则激活。设 a 为模糊集 M 的隶属度, 如图 4 所示。

根据式(1)与检测电路所得的脉冲数, 进行模糊推理得到灌溉方式的模糊量, 将灌溉方式的模糊量清晰化, 得到灌溉系统所需的控制信号 μ^* 。

$$\therefore \mu^* = \frac{\int_{\text{MIN}}^{\text{MAX}} u \mu(u) du}{\int_{\text{MIN}}^{\text{MAX}} \mu(u) du}$$

水量控制的模糊推理可参考前面。

3 模糊控制灌溉系统的基本工作过程

通过对定时器的控制, 规定每一段时间对外部环境进行一次检测, 例如每天或每三天, 通过对土壤的情况和空气情况的采样, 进行模糊分析, 得出阀门的控制方式及打开时间的清晰值控制量, 由模糊控制中心对灌溉管的阀门进行控制, 对绿化进行灌溉。

(上接第 77 页)

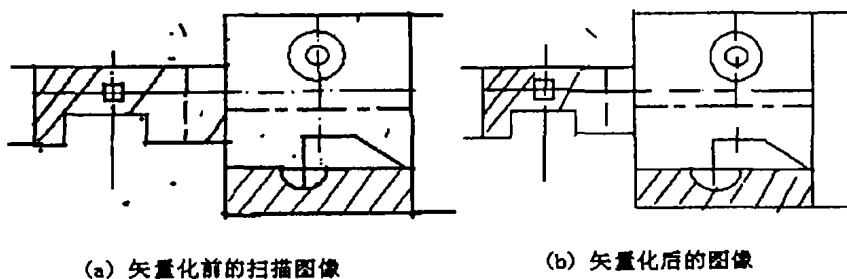


图 5 矢量化结果示例

3 Michiael W, Jeyzel Z. Fitting a second degree curve in the presence of error. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence ,

1 李仁厚. 智能控制理论和方法. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1999
 2 刘增良. 模糊技术及应用. 北京: 北京航空航天大学, 1998
 3 易继镛. 智能控制技术. 北京: 北京工业大学出版社, 1999. 300 ~ 325

1995, 17(2): 206 ~ 211

4 李庆华, 王多强, 陈志勇. 图像的矢量化方法与算法研究. 计算机应用研究, 1995, 7(6): 9 ~ 12

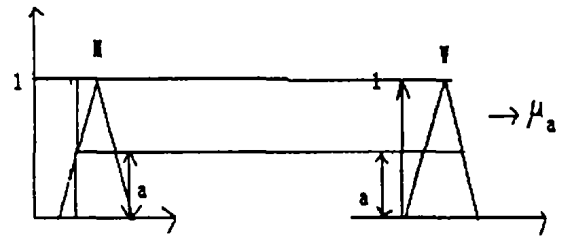


图 4 规则激活方法

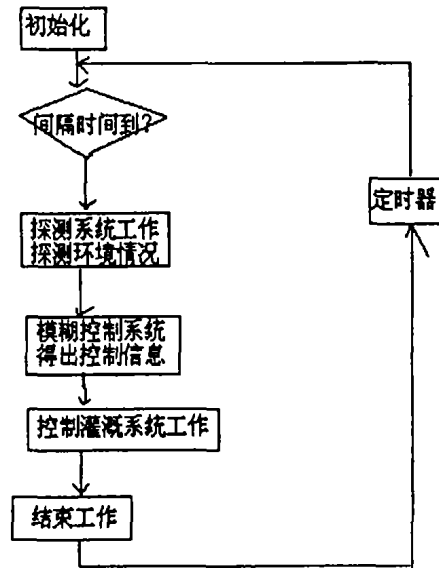


图 5

参考文献