

基于控制点的二值图像边界矢量化算法

张显全 唐振军 王继军

(广西师范大学计算机科学系 桂林 541004)

摘 要 提出一种二值图像边界矢量化算法,实现从图像到图形的自动转换。先通过边界跟踪算法获取二值图像的边界,并利用 SUSAN 方法计算出边界上的角点,根据距离关系计算角点间的普通控制点,最后运用角点和这些普通控制点的 3 次 B 样条曲线拟合边界。实验结果表明算法有效实现了图像矢量化,解决了边界矢量化问题,具有较强的实用性。

关键词 边界,矢量化,控制点,角点

中图法分类号 TP391 **文献标识码** A

Control Point Based Algorithm of Boundary Vectorization in a Binary Image

ZHANG Xian-quan TANG Zhen-jun WANG Ji-jun

(Department of Computer Science, Guangxi Normal University, Guilin 541004, China)

Abstract We proposed an algorithm of boundary vectorization for binary images, which can convert an image into a graphic. The boundary tracing algorithm was exploited to extract the boundary of a binary image, and the SUSAN approach was also applied to detecting the corners on the boundary. In order to approximate the image boundary, the control points between two adjacent corners were determined by their offset distances. The cubic B-Spline curve was used to fit the boundary. The experimental results show that the proposed algorithm can convert a binary image into a graphic and solve the problem of boundary vectorization. It is practical.

Keywords Boundary, Vectorization, Control point, Corner

1 引言

随着信息技术的发展,图像的自动识别成为一个研究热点。在设计和制造行业里存在着大量的设计图纸,如果能利用计算机识别技术将其转化为适合计算机处理的数据格式,则可以将已有的设计成果应用到新的设计中,避免重复工作,有效提高工作效率;同时也有助于促进工程设计自动化技术的研究。近年来,人们对图像矢量化技术进行了探索研究,并根据具体的应用场合提出了相应的解决方案。文献[1]将图像中的一个图形看作一个组件,通过从图像中分离出各个组件并获取其基本信息,实现图像的矢量化。文献[2]通过逐行检测扫描行中的黑游程,提取出相应的黑游程边界点,并用 3 次 B 样条进行曲线拟合达到矢量化目的。文献[3]计算轮廓线上每个点的左导数和右导数,分别用直线段和 Bezier 曲线段对轮廓线进行拟合,实现轮廓矢量化。此外,文献[4]对曲线图表图像的特征进行了研究,提出一种基于节点分布和分类的曲线图标矢量化算法。

本文将对二值图像的边界矢量化进行研究。先用边界跟踪算法记录边界点信息,在边界曲线上运用 SUSAN 方法提取角点,同时根据已提取到的角点确定曲线上的普通控制点,最后利用 3 次 B 样条曲线对边界拟合,建立基于控制点的边界矢量化算法。

2 控制点提取

由于待提取的控制点位于边界上,因此可运用边界跟踪技术获取二值图像边界,在此基础上进一步确定控制点。边界跟踪技术已经比较成熟,关键在于确定跟踪的起始点和跟踪准则^[5],这里不再重复叙述。通常,边界跟踪得到的点较多,使用所有的点表示边界将给矢量化重绘带来较大的计算代价。为了减少计算量必须对边界进行下采样,选取边界上的关键点来表示边界。角点是边界上的一类重要关键点,对边界形状起着决定作用,属于特殊控制点。然而,仅仅通过角点并不能有效表示边界的实际形状;因此,除角点外,还必须提取那些对边界走向起控制作用的边界点以便更好表示边界,称这些边界点为普通控制点。以下是角点和普通控制点的提取方法。

2.1 角点

角点提取^[6]是图像处理中的一个重要任务,人们提出过许多检测方法,如:利用链码跟踪到的轮廓点计算曲率来判定角点^[7],运用方向导数来检测角点^[8]等。本文运用 SUSAN 特征检测原则^[9]提取二值图像中的角点。

SUSAN 角点检测是一种直接利用图像灰度信息进行角点检测的方法,具有方法简单、定位准确、抗噪能力强的特点。方法是用圆形模板在图像上移动,若模板内的像素与模板中

心像素(核)灰度的差值小于一定阈值,则认为该点与核具有相同(或相近)的灰度,满足此条件的像素所组成的区域称为“USAN”(Univalue Segment Assimilating Nucleus),统计 USAN 区域面积,最后将 USAN 区域面积与一个几何门限比较以判断是否为角点。

2.2 普通控制点

对于两个相邻角点之间的边界点,其偏移两角点所在直线越远,对边界走向控制作用越大;因此,可通过计算边界点偏移两角点所在直线的距离来获取普通控制点。

如图 1 所示,曲线 AB 是一段边界曲线,点 A 和点 B 是边界曲线上的两个相邻角点(如果边界上不存在角点,则取纵坐标最大和最小的点替代),他们之间共有 n 个边界点,设 AB 所在直线的方程为 $y=kx+b$,曲线 AB 上的边界点 q_i ,其坐标为 (x_i, y_i) , p_i 到直线 AB 的距离为 $d_i = \frac{|kx_i - y_i + b|}{\sqrt{k^2 + 1}}$ 那么可通过以下方法确定曲线 AB 上的普通控制点。

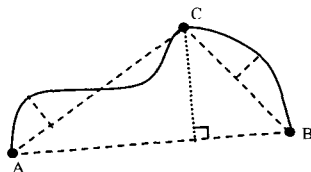


图 1 普通控制点的确定

首先,计算曲线 AB 上的点 q_i 到直线 AB 的距离 d_i ($i=1, 2, \dots, n$);然后找出 d_i 中的最大值 $d_{\max}$ (如图 2 中点 C 所示);如果 $d_{\max}$ 大于距离阈值 Δd ,则点 C 为曲线 AB 上的一个普通控制点。用同样方法确定曲线 AC 和 CB 上的控制点,最后得到曲线 AB 上的控制点。

如图 2 所示,波浪形曲线 DE 不存在一个边界点 p_j 使得 $d_j > \Delta d$;如果 DE 之间不取控制点,则拟合的曲线将失去波浪状,与实际形状有较大区别。为避免这种情况,可在曲线 DE 上选取 m 个控制点对曲线进行 $m+1$ 等分采样。设间距为 Δt ,曲线 DE 间共有 n 个边界点,则 $m=n/\Delta t$,通常取 $\Delta t > \Delta d$ 。

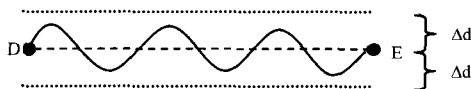


图 2 波浪形曲线

两个相邻角点之间的普通控制点提取可通过分治策略实现,具体算法如下:

```
void DeterminControlPoint(Point bp[], int s, int t)
{
    // bp 为边界跟踪得到的边界点, bp[s] 和 bp[t] 为边界上相邻的两个角点
    for (i=1; i<=n; i++) // n 为两角点间的边界点数
    {
        计算点 bp[s+i] 到点 bp[s] 和 bp[t] 所在直线的距离  $d_i$ ;
        记录最大距离值  $d_{\max}$  及其位置  $i_{\max}$ ;
    }
    if ( $d_{\max} > \Delta d$ ) // 最大距离大于  $\Delta d$  的边界点为控制点
    {
        将 bp[s +  $i_{\max}$ ] 记录为普通控制点
        DeterminControlPoint(bp, s, s +  $i_{\max} - 1$ ); // 确定 bp[s] 与 bp[s +  $i_{\max} - 1$ ] 间的控制点
        DeterminControlPoint(bp, s +  $i_{\max} + 1$ , t); // 确定 bp[s +  $i_{\max} + 1$  与 bp[t] 间的控制点
    }
    else
    {
        在 bp[s] 和 bp[t] 间, 选取 m 个等间距的控制点并记录为普通控制点;
    }
}
```

1] 与 bp[t] 间的控制点

}

else

{ 在 bp[s] 和 bp[t] 间, 选取 m 个等间距的控制点并记录为普通控制点; }

}

3 边界拟合

B 样条曲线^[10]具有局部可控制、几何不变和造型灵活等性质,在图形设计中有着广泛的应用。对于给定 $m+n+1$ 个点 P_i ($i=0, 1, 2, \dots, m+n$), $m+1$ 段 n 次的 B 样条参数曲线定义为: $P_{i,n}(t) = \sum_{k=0}^n P_{i+k} F_{k,n}(t)$ ($0 \leq t \leq 1$)。其中, $P_{i,n}(t)$ 为第 i ($i=0, 1, \dots, m$) 段 n 次 B 样条曲线段, $F_{k,n}(t)$ 为 n 次 B 样条曲线基函数,其形式如下:

$$F_{k,n}(t) = \frac{1}{n!} \sum_{j=0}^{n-k} (-1)^j C_{n+1}^j (t+n-k-j)^n \quad (0 \leq t \leq 1,$$

$k=0, 1, \dots, n$)

本文使用 3 次 B 样条曲线对边界进行拟合,即 $n=3, k=0, 1, 2, 3$; 则 3 次 B 样条曲线为:

$$P_{i,3}(t) = F_{0,3}(t)P_i + F_{1,3}(t)P_{i+1} + F_{2,3}(t)P_{i+2} + F_{3,3}(t)P_{i+3}$$

$$= \frac{1}{6} \begin{bmatrix} t^3 & t^2 & t & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -3 & 0 & 3 & 0 \\ 1 & 4 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_i \\ P_{i+1} \\ P_{i+2} \\ P_{i+3} \end{bmatrix} \quad (0 \leq t \leq 1)$$

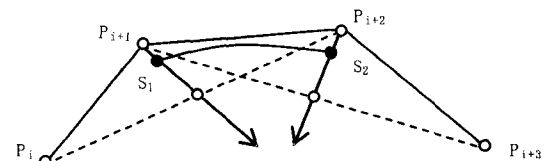


图 3 3 次 B 样条曲线拟合示意图

设 P_i, P_{i+1}, P_{i+2} 和 P_{i+3} 是曲线上的 4 个控制点,那么由 3 次 B 样条曲线拟合得到的曲线为 $S_1 S_2$,如图 3 所示。因此,在使用 3 次 B 样条曲线拟合边界时,为使得拟合的边界通过起始点和结束点,必须在控制点序列的开始和结束处分别附加一个控制点 P_s 和 P_e ,且 $P_s = 2P_0 - P_1, P_e = 2P_{m+n} - P_{m+n-1}$ 。角点附近曲线是边界比较尖锐的地方,如果不加控制而直接用 3 次 B 样条曲线拟合,可能会被拟合成弧线;为了使得拟合的边界与实际更吻合,必须强制曲线通过角点,由 3 次 B 样条曲线性质可知,如果要使拟合曲线通过 P_{i+1} ,只需要 $P_i = P_{i+1} = P_{i+2}$ 即可,因此拟合时只需对角点坐标取值 3 次即可。

4 矢量化算法

边界矢量化时,先用边界跟踪算法获取图像边界,并提取出边界线上的控制点,根据绘制需要对控制点施加变换,最后利用 3 次 B 样条曲线拟合。整个算法如下:

STEP 1 运用边界跟踪方法提取图像边界,依次将边界点记录在数组 BP。

(下转第 189 页)

quality real-time fuzzy control by a simple algorithm[J]. Cybernetics and Systems, 2000, 31(7): 787-802

- [2] Woodard S E, Garg D P. A numerical optimization approach for tuning fuzzy logic controllers[J]. IEEE Trans. Syst., Man, and Cybern., 1999, 29(4): 565-569
- [3] Tao C W, Taur J. Design of fuzzy controllers with adaptive rule insertion[J]. IEEE Trans. Syst., Man, and Cybern., 1999, 29(3): 389-397
- [4] Ying Hao. Some issues in fuzzy control theory and application [J]. Acta Automatic Sinica, 2001, 27(4): 590-592
- [5] Hu Jing-song, Zheng Qilun. Time-varying modifying factor two

layers self-optimizing fuzzy controller[J]. Acta Automatic Sinica, 2002, 28(6): 1006-1011

- [6] Hu Jing-song, Zheng Qilun. Self-optimizing fuzzy controller based on extreme evolution algorithm[J]//Proceeding of IEEE 2003 Congress on Evolutionary Computation. Canberra, Australia, 2003: 2673-2677
- [7] Hu Jing-song, Zheng Qilun. Time-varying modifying factor partly continuous fuzzy controller//Proceedings[J]. The IEEE International Conference on Fuzzy Systems FUZZ-IEEE 2003. St. Louis, MO, USA, 2003: 364-367

(上接第 170 页)

STEP 2 用 SUSAN 方法计算出数组 BP 中的角点。

STEP 3 通过 2.2 节中的方法确定数组 BP 中相邻两个角点之间的普通控制点。

STEP 4 依次取出数组 BP 中的控制点, 其中角点取值 3 次, 普通控制点取值 1 次; 最后在控制点序列的首末各附加控制点 1 个。

STEP 5 根据绘制需要对取出的控制点序列施加相应的平移旋转伸缩变换, 然后利用 3 次 B 样条曲线对控制点序列进行拟合, 得到矢量化图形。

5 实验结果

运用上述算法对各种类型的二值图像进行大量的试验, 矢量化结果均与实际边界形状相吻合, 有效实现了图像边界的矢量化。限于篇幅, 仅选取一例说明, 实验中各参数取值如下: $\Delta d=6$, $\Delta t=10$ 。图 4 是一幅图像的实验结果, 其中图 4(a) 是原图像, 图 4(b) 是边界跟踪的结果, 图 4(c) 是从边界上提取到的控制点, 图 4(d) 是按原图大小直接绘制的矢量化图, 图 4(e) 是原图像边界与矢量化图的匹配结果, 图 4(f) 是对控制点施加伸缩旋转变换后的矢量图, 其中伸缩系数为 1.5 倍, 顺时针旋转 60 度。从图 4(e) 看, 矢量化图与原图的边界几乎一致, 矢量化效果好; 从图 4(f) 看, 变换后得到的矢量化图仍然保持着很好的形状, 没有出现大的形变, 表明了算法有效可行。对于图 4(a) 的外轮廓, 原图像共有 1683 个边界像素, 本文的算法总共提取 166 个控制点即可对其进行表示, 其中角点 22 个, 普通控制点 144 个, 实现了利用少量信息表达图像信息的功能。

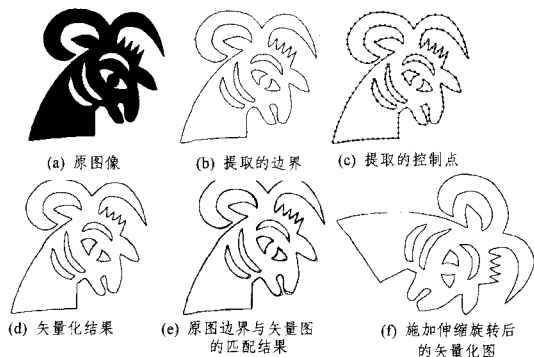


图 4 图像的矢量化

结束语 针对二值图像, 本文提出了一种边界矢量化算法。算法的一个关键是提取控制点, 控制点选取的恰当与否决定了矢量化效果的好坏, 因此所提取的控制点应该能对边界的形状走向起到决定作用, 本文所选取的角点和普通控制点达到了要求; 其次, 控制点的数量是影响算法性能的另外一个因素, 通常控制点越多矢量化效果便越好, 然而数据存储量和计算量也随之增大。关于阈值 Δd 和 Δt , 取值越大所提取到的控制点越少, 反之便越多; 具体取值与实际图像的形状特点有关, 形状变化平缓则 Δd 可取较小的值, 曲线局部范围连续起伏少则 Δt 可取较大的值。下一步, 将研究自适应的矢量化算法, 实现根据边界的局部形状自动调整阈值大小, 在保证矢量化效果的前提下使提取的控制点尽可能少。

参考文献

- [1] 沈立, 张晨曦. 黑白图像的矢量化. 计算机辅助设计与图形学学报, 2003, 12(3): 170-173
- [2] 王金鹤. 扫描图像曲线轮廓关键点的提取及其处理. 中国图像图形学报, 2001, 6(7): 699-702
- [3] 余学军, 彭立中. 二值图像曲线轮廓提取的新算法. 中国图像图形学报, 2002, 7(3): 272-275
- [4] 沈萌红, 崔云峰. 基于节点的曲线图表矢量化算法研究. 计算机工程与应用, 2004(1): 96-98
- [5] Ren Mingwu, Yang Jingyu, Sun Han. Tracing boundary contours in a binary image. Image and vision computing, 2002, 20(2): 125-131
- [6] 张坤华, 王敬儒, 张启衡. 多特征复合的角点提取方法. 中国图像图形学报, 2002, 7(4): 319-324
- [7] Freeman H, Davis L S. A corner finding algorithm for chain code curves. IEEE Trans. on Computers, 1997, 26: 297-303
- [8] Wang H, Brady M. Real-time corner detection algorithm for motion estimation. Image and vision computing, 1995, 13(9): 695-703
- [9] Smith S M, Brady J M. SUSAN-A new approach to low level image processing. Internal Technical Report TR95SMS1. Defence Research Agency, Chobham Lane, Chertsey, Surrey, UK, 1995
- [10] 孙家广, 等. 计算机图形学(第三版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998: 308-318