

基于 Freeman 链码的 B 样条曲线轮廓拟合^①

吴桐树, 张瑞林, 邹敏

(浙江理工大学 信息学院, 杭州 310018)

摘要: 提出了一种 Freeman 链码与 B 样条曲线误差控制相结合实现轮廓拟合的算法, 首先利用 Freeman 链码法进行边界跟踪, 根据相邻像素点间的不同的链码变化关系, 排除伪特征点, 提取出轮廓中绝大多数特征点, 然后结合基于误差控制的 B 样条曲线法, 取得能够精确表示轮廓信息的特征点. 本文算法即避免了使用曲率来进行求取特征点的复杂计算, 提高了特征点检测速度, 又提取出能够精确拟合轮廓的局部支撑点, 实现了基于误差控制的轮廓曲线拟合. 实验结果证明了本文算法的正确性.

关键词: Freeman 链码; 特征点; 误差控制; B 样条曲线; 曲线拟合

B-Spline Curve Fitting Silhouette Based on Freeman Chain Code

WU Tong-Shu, ZHANG Rui-Lin, ZOU Min

(School of Information Science and Technology, Zhejiang Science and Technology University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: This paper presents a contour fitting algorithm which combine Freeman chain code and error control of B-spline curves. Firstly, it uses Freeman chain code boundary tracking method, based on the difference between adjacent pixels variation of chain code, eliminate false feature point, the vast majority of the extracted contour feature points, and then combined with error control based B-spline curve method, to obtain feature points which can accurate represent contour information. This method of avoiding the use of strike curvature characteristic points for complex calculations to improve the feature point detection speed, and the extracted contour to precisely fit the local support points, error control based on the realization of the profile curve fitting. Experimental results show that the algorithm is correct.

Key words: Freeman chain code; characteristic points; error control; B-spline curves; curve fitting

轮廓特征提取和拟合是计算机视觉中的重要技术, 由于目标轮廓特征点能够很好地表述目标特征信息, 可以通过特征点对图像的目标信息进行分析 and 描述, 故轮廓特征提取可以看作是对目标轮廓特征点的提取过程. 拟合过程中呈现目标轮廓信息时, 可以采用以提取的目标轮廓特征点为基准点, 用光滑性较好的可局部修改的样条曲线进行拟合的方法.

本文算法的一个重要部分是轮廓特征点的提取过程, 目前已有文章对基于 Freeman 链码的特征点提取方法进行了研究: 基于 Freeman 链码和质量评价因子的特征点提取方法能够简洁快速的提取出特征点^[1]; 一种基于改进的链码来表示曲率极值点的方法^[2]能够提取出曲线变化剧烈部分的特征点; 运用差别累加值及链码差来进行拐角点的提取和非拐角点的剔除的方

法^[3]在提取特征点的同时会剔除非特征点. 本文在提取过程中运用了新的链码变化关系分析方法, 既能提取出文献[1-3]中所述的多数情况的特征点, 又能排除文献[1-3]中提到的非必要特征点, 保证了用链码进行边界跟踪的准确性.

另一重要部分是根据已有特征点对拟合曲线进行修正, 提高拟合的精度. 当前采用一种基于最小距离的误差控制方法^[4]能够得到表征轮廓信息的必要型值点. 对根据相邻点之间的离散曲率符号变化情况及相近点之间的曲率值和曲率差分关系自动识别特征点进行研究, 提出了基于逼近误差的特征点插入算法^[5]. 目前的误差控制的方法虽然能够提高拟合精度, 但是对于找到精确描述轮廓细节特征的特征点问题还没有得到很好的解决, 本文提出了一种新的误差控制方法,

①收稿时间: 2013-12-11; 收到修改稿时间: 2014-01-06

并与过控制顶点的 B 样条曲线相结合, 有效地找出能够描述轮廓的特征点, 进而对轮廓曲线进行拟合, 此方法大大减少了由型值点反求控制点过程中的计算量, 提高了拟合速度, 并保证了拟合的精度.

1 Freeman链码法特征点提取

1.1 边界跟踪

链码是通过一个指定长度与方向的直线段的连接序列来表示一条连线, 同一条二值曲线轮廓可由不同的链码序列来表示, 选取不同的起始点, 根据相应的规则进行轮廓跟踪, 可以得到表示这条连线的不同点集序列.

Freeman 链码^[6,7]是具有这种链码特性的八方向链码, 每个像素点四周共有八个相邻像素点, 从右边相邻像素点开始逆时针排列, 到右下方的像素点为止, 数字顺序分别用 0~7 八个数字依次与之对应, 从 0 方向开始逆时针旋转, 每旋转 45°链码加一. Freeman 链码的分布如图 1 所示; 图 2 中 i 为像素索引值, 如果当前的像素是 P_i , b_7 是曲线上的下一个像素, 则链码 a_i 值为 7. a_i 表示由像素(i)指向像素($i+1$)的链码方向, 最终 n 条链的曲线链码表示为 $\{a_i\}_n$.

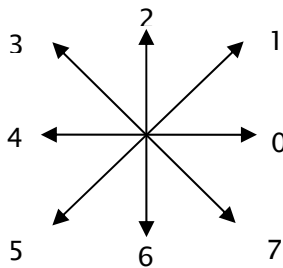


图 1 链码八方向取值

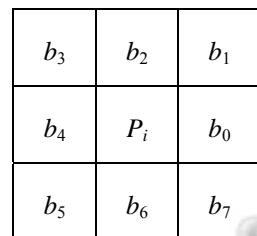


图 2 链码指向

由一个起始点和一个链码序列表示的轮廓是唯一的, 因此每一条数字化的二值轮廓曲线都可以用一个起始点和一串 Freeman 链码来描述, 图 3 给出了用点集序列间的链码关系表示轮廓曲线的过程:

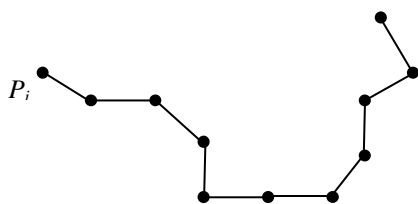


图 3 链码序列表示轮廓

图中每一黑点表示一个像素点, 以左上角的点 P_i 为起点, 搜索其邻域, 发现右下角有与之相连的点, 依图 1 链码图确定两点间的链码为 7, 如此类推, 得出这一小段线段的链码为 7076001213.

按传统的方法, 在轮廓点的跟踪过程中需要对每个边界点八个方向的像素点依次进行检查, 这种方法虽然能准确地找出所有边界像素点, 但是在选定下一像素点的时候容易发生误判或者死循环, 引发上述两种情况的像素点相对位置如图 4 所示.

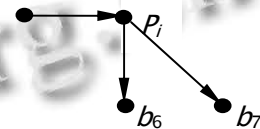


图 4 像素点相对位置

本文的轮廓点跟踪方法既能提取出呈现轮廓外形的外围边界点又能避免误判和死循环的问题, 跟踪方法的具体步骤如下:

① 选定起始点: 由于图像扫描方向为由左至右、自下而上, 所以选定边缘左下角的边界像素点作为起始点.

② 初始方向选定: 设定整体的轮廓搜寻方向按照顺时针方向, 故初始方向链码值设为链码值为 3 的方向, 开始寻找下一边界像素点.

③ 找到新的边界点后, 以这一链码方向逆时针旋转 45°的方向作为搜寻下一点的起始方向, 继续顺时针旋转对相邻边界像素点进行判断.

以后的每个边界点搜寻方法都重复上述过程, 记录每个边界点, 直到回到起始点或没有相邻像素点为止.

1.2 特征点判断

用起始点和链码序列能够表示轮廓, 但是需要处理的数据量很大, 往往链码序列中的一些并不是必要的. 因此, 在描述轮廓时, 我们只要能够找出那些能表征轮廓曲线细节特征的必要点(特征点)即可, 而不需要把所有的点全部记录下来, 这样既节约了存储空间, 也提高了处理速度.

本文的特征点都是基于链码的变化关系提出来的.

定义 d_i 为相邻像素链码差.

根据差值的不同可把特征点分类, 规则如下:

1) 当 $|d_i|$ 值为 1 或 3 的时候, 相邻链码间变化的相对角度为 45° , a_i 所指向的特征点为锐角特征点或钝角特征点.

2) 当 $|d_i|$ 值为 2 时, 相邻链码间变化角度为 90° , a_i 所指向的特征点为直角特征点.

3) 当 $|d_i|$ 值为 0 或 4 时, 相邻链码间变化角度为 0° 或 180° .

本文自定义变量 K 为辅助参数, Q 为相邻像素链码差累加和, 以它们为标准, 与以上三个规则中能够出现的链码间变化关系相结合精确的提取特征点. 令:

$$K_i = \begin{cases} 1 & , |d_i| = 3 \\ |d_i| & , \text{其他} \end{cases}$$

$$Q_1 = K_i + K_{i+1} + K_{i+2}$$

$$Q_2 = K_{i-1} + K_{i-2} + K_{i-3}$$

$$Q = K_i + K_{i+1} + K_{i-1} + K_{i-2}$$

提取过程中满足以下四种情况的像素点判定为特征点:

- 1) K_i 值为 2;
- 2) Q_1 等于 0;
- 3) Q_2 等于 0;
- 4) Q 小于等于 1.

这种方法能很好地处理直线数字化、噪声对边缘检测的影响造成的多处链码拐弯问题, 如图 5 所示:

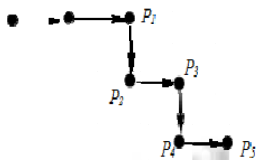


图 5 链码拐弯的情况

图 5 中的链码变化关系是由直线数字化、噪声对边缘检测的影响导致的, 按传统提取特征点的算法提取到的像素点顺序为 $P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3 \rightarrow P_4 \rightarrow P_5$, 经过本文所述算法提取到的像素点顺序变为 $P_1 \rightarrow P_3 \rightarrow P_5$, 这样便有效的抑制了链码出现多处拐弯的情况. 并且根据本文算法, 提取到的特征点只为 P_1 , 有效的减少了提取到的特征点数据量, 基于这种方法提取出的特征点也包含了传统提取方法中的拐角点、曲率极值点等表示轮廓特性的点.

2 B样条曲线误差控制方法提取局部支撑特征点

2.1 算法思想

B 样条曲线具有很好的光滑性, 而且具有可局部修改的特点, 因此在曲线拟合方面被广泛应用.

对于轮廓变化平缓的曲线, 边界链码间并没有发生明显的突变, 根据链码间的变化关系分析方法不能提取出完整表征此轮廓形状的特征点, 这样在我们进行 B 样条曲线拟合时就会使拟合曲线与原轮廓线形成较大的偏差. 所以我们需要再提取出一些能够表示轮廓细节特征的点作为曲线拟合的控制点. 这就需要我们自己设定一个误差, 并给出一种误差控制的方法, 进而提取出能够精确表示轮廓的必要特征点.

本文算法的基本思想是: 用链码间变化关系提取出的特征点, 利用过控制点的 B 样条曲线拟合出一条曲线, 这条曲线可以体现原轮廓线明显变化的部分, 然后对于变化不明显的部分用 B 样条曲线误差控制法提取出必要的特征点, 对这条已拟合的曲线进行修正, 这样我们就可以得到一条高精度的拟合曲线.

2.2 B 样条曲线误差控制原理

传统的 B 样条拟合过程会采用反求算法, 即根据型值点反求控制点再根据控制点来生成拟合曲线的方法. 这种方法当型值点数增加时会导致反求方程组的阶数大, 进而产生计算量太大的问题.

本文中我们用三次均匀 B 样条曲线进行拟合, 采用改进的 B 样条基函数, 使 B 样条曲线直接通过型值点, 在减小计算量的基础上增加了新的误差控制的方法.

提取的特征点列记为 $P = \{p_i\}_{i=0}^n$, $p_i (i=1; \dots; n-1)$, 取点列中的三个点 p_{i-1}, p_i, p_{i+1} , 令 α_i 为线段 $p_{i-1}p_i$ 沿长线与线段 $p_i p_{i+1}$ 之间的夹角. 如图 6 所示.

文献[8]中已证明, 给定平面点列 $P = \{p_i(x_i, y_i)\}_{i=0}^n$ 如果均满足 $\alpha_i \leq \pi/6$, 用三次样条曲线来插值这些点列时局部偏差将很小, 因此我们使用这个限制条件来求得曲线上其他控制点. 具体步骤如下:

1) 从由 Freeman 链码取得的特征点中取任意两个相邻特征点, 分别求得这两个点的 x 坐标差值和 y 坐标

$$d_i = \begin{cases} |a_{i+1} - a_i| & , \text{if } |a_{i+1} - a_i| < 4 \\ |a_{i+1} - a_i| - 8 & , \text{if } |a_{i+1} - a_i| > 4 \\ 4 & , \text{if } |a_{i+1} - a_i| = 4 \end{cases}$$

差值.

2)以差值大的坐标为基准,取差值坐标间线段中点,选取与这个点坐标最相近的边界点作为判断点。

3)判断这个点与两相邻特征点形成的控制误差的大小,当角度大于限定的误差时以新点为基准重复上述过程,直到偏差在控制误差范围内为止。

4)记录每次增加的像素点,最后以所有提取的点作为拟合时的控制点,用改进的 B 样条曲线拟合轮廓。误差控制原理如图 6 所示:

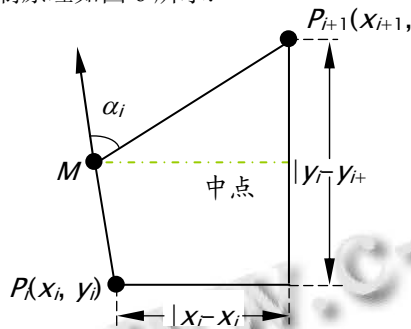


图 6 误差控制

图 6 中 $P_i(x_i, y_i)$ 、 M 、 $P_{i+1}(x_{i+1}, y_{i+1})$ 三点是原轮廓上的三个边界点,其中 $P_i(x_i, y_i)$ 、 $P_{i+1}(x_{i+1}, y_{i+1})$ 是由 Freeman 链码变化分析法提取出的两个特征点,图中 Y 坐标下的差值较 X 下的大,故取两特征点的 Y 坐标下差值线段的中点,以此点的纵坐标为标准找到原边界上与之相近的边界点 M ,再根据我们设定的控制误差 α_i 来判定是否为必要特征点。

2.3 B 样条曲线轮廓拟合

本文进行轮廓拟合采用的是均匀三次 B 样条曲线^[9]:

$$p(u) = \sum_{i=0}^n d_i N_{i,k}(u)$$

B 样条曲线方程为

其中 $d_i(i=0, 1, \dots, n)$ 为控制顶点, $N_{i,k}(u)$ 为 B 样条基函数。

等距分布节点的 3 次(4 阶)B 样条函数为

$$N_{i,3}(u) = \begin{cases} 0 & x \in (x_i, x_{i+4}) \\ \frac{1}{6}u^3 & x \in [x_i, x_{i+1}] \\ \frac{1}{6}(1+3u+3u^2-3u^3) & x \in [x_{i+1}, x_{i+2}] \\ \frac{1}{6}(4+6u^2-3u^3) & x \in [x_{i+2}, x_{i+3}] \\ \frac{1}{3}(1-u)^3 & x \in [x_{i+3}, x_{i+4}] \end{cases}$$

式中 $u = x - x_i, u \in [0, 1] (j=i, i+1, i+2, i+3)$

改进后的 B 样条,将理论控制点 d_i 直接用实际控制点 p_i 表示,把用于插值 $n+1$ 个数据点 $p_i(i=0, \dots, n+3)$ 的三次均匀 B 样条写为

让其满足 $S_i(0) = p_i(i=0, \dots, n)$

由上式表示出理论控制点和实际控制点的关系,加入边界条件,然后解方程,这样便可通过实际控制点求出理论控制点^[10],继而拟合轮廓。

3 实验验证

原图像轮廓线如图 7 所示,图 8 为用本文算法进行拟合的结果:

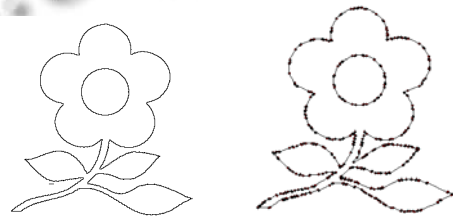


图 7 原二值轮廓曲线 图 8 本文算法拟合结果

将整个轮廓分为两部分,一部分是上部中心圆,另一部分是外围轮廓,使用本文算法提取出的特征点个数以及原轮廓线边界像素点总个数如表 1 所示:

表 1 本文算法提取出的特征点个数以及原轮廓线边界像素点总个数

	上部中心圆	外围轮廓
原二值轮廓线	215	1742
拟合曲线	44	387

本文算法还对其他图像的轮廓进行试验验证:



图 9 多处出现链码拐弯的情形

图 9 中字母 A 的轮廓属于轮廓拐点多,并出现连续多处链码发生拐弯的情形,本文算法对于链码连续拐弯的现象进行了有效抑制。

图 10 中字母 G 的轮廓顶部和底部像素点发生重叠,不易识别,本文算法可以提取出必要的像素点,对于轮廓变化平缓的部分,提取出了能够控制轮廓形

状的像素点。

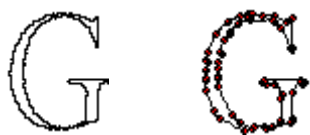


图 10 像素点重叠

图 11 中字母 T 的轮廓顶部边缘像素点密集程度高, 并且有大部分的直线部分. 本文算法能够实现轮廓的精确拟合.

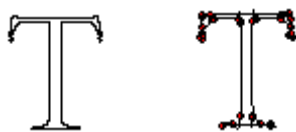


图 11 直线部分

由实验结果得出: 在轮廓曲线变化剧烈的部分, 边界像素点间链码变化较快, 这样就会在局部出现多个描述这种变化的像素点, 本文链码变化分析方法即能够找到描述这种变化的像素点, 也能有效的剔除多余的像素点, 在轮廓曲线变化平缓的部分, 这种方法能够保留变化相对剧烈的像素点, 并结合误差控制方法找到描述曲线平缓部分的像素点.

4 结语

本文的算法思想是以一种新的方法将 Freeman 链码与 B 样条曲线相结合提取特征点, 进而拟合二值轮廓曲线.

由于图像预处理过程中采用的方法不同, 加之噪声等的影响, 得到需要拟合的二值轮廓曲线会出现连续多处链码拐弯、局部像素点密集程度高, 不同轮廓像素点发生重叠的现象. 本文对轮廓的相邻像素点间的链码变化进行分析, 给出作为轮廓特征点的判定条件, 实现轮廓特征点的提取, 这种方法可以有效的避免生成二值轮廓曲线过程中出现的问题, 并且能够提

取出表征轮廓明显变化的特征点.

轮廓拟合过程中能够完整的表述轮廓信息是非常重要的, 经过链码间变化特征提取的特征点虽然能够表示轮廓变化明显的部分, 但是对于边缘变化平缓的部分不能完整呈现, 因此本文采用了一种 B 样条曲线误差控制方法, 提取出能够表征轮廓变化平缓部分的特征点.

本文算法通过链码变化关系分析方法提取特征点, 用过控制顶点的 B 样条曲线进行拟合, 不仅提高了拟合精度, 还避免了通过计算曲率提取特征点和利用 B 样条曲线拟合反求控制点导致的计算量大的问题.

参考文献

- 1 黄琼丹.一种基于轮廓分析的图像特征点检测方法.微计算机信息,2009,25:123-125.
- 2 邓伟,何云飞.基于改进链码的新型手形图像分割方法.电子测量技术,2013,(1):51-54,64.
- 3 余博,郭雷,赵天云,钱晓亮.Freeman 链码描述的曲线匹配方法.计算机工程与应用,2012,(4):5-8.
- 4 叶铁丽,李学艺,曾庆良.基于误差控制的自适应 3 次 B 样条曲线插值.计算机工程与应用,2013,(1):199-201,216.
- 5 徐进,柯映林,曲巍巍.基于特征点自动识别的 B 样条曲线逼近技术.机械工程学报,2009,(11):212-217.
- 6 Freeman H. Computer processing of line drawing images. ACM Computing Surveys, 1974, 6(1): 57-97.
- 7 Hermilo SC, Ernesto B, Ramon MRD. Efficiency of chain codes to represent binary objects. Pattern Recognition, 2007, 40(6): 1660-1674.
- 8 SU BQ, LIU DY. Computational Geometry Curve and Surface Modeling. Boston: Academic Press,1989.
- 9 施法中.计算机辅助几何设计与非均匀有理 B 样条(CAGD & NURBS).北京:北京航空航天大学出版社,1994.
- 10 林意,熊汉伟,骆少明,张湘伟.过控制顶点的 B 样条曲线.江南大学学报,2003,6:553-556.