

基于 DXF 文件格式的三次参数样条曲线的生成

张剑英¹, 许 徽¹, 陈 娟², 韦文思³, 夏 杰³

(1.中国矿业大学 信电学院, 江苏 徐州 221116;

2.中国矿业大学 材料科学与工程学院, 江苏 徐州 221116;

3.河南煤业化工集团焦煤公司计讯处, 河南 焦作 454002)

摘要: 介绍了三次参数样条曲线的研究现状和 AutoCAD 软件接口, 提出了以 DXF 文件格式为桥梁实现 AutoCAD 三次样条图形与 VC++ 之间的数据交换。运用 VC++ 编程提取出该文件中各个三次样条曲线的起始端点和终止端点切向、型值点总数和各型值点坐标, 运用给出的三次参数样条曲线生成原理和方法, VC++ 编程实现了三次参数样条曲线的参数化绘制。

关键词: DXF; 三次参数样条曲线; 参数化

中图分类号: TP391

文献标识码: A

Generating cubic parametric spline curve based on DXF file format

ZHANG Jian Ying¹, XU Hui¹, CHEN Juan², WEI Wen Si³, XIA Jie³

(1.School of Information and Electrical Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China;

2.School of Material Science and Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China;

3.Jiaozuo Cool Company, Henan Cool and Chemical Industry Group Co., Ltd., Jiaozuo 454002, China)

Abstract: The paper introduced present research status of cubic parametric spline curve and software interfaces of AutoCAD, and put forward a data-exchange between figures containing cubic spline curve drew by AutoCAD and VC++ via DXF file format, and then abstracted target information, which was tangential values of start point and end point, number of fitting points and values of corresponding fitting points in the DXF file by VC++ program, and achieved parametric generation of cubic spline curve via applying generation principle of cubic parametric spline curve presented.

Key words: DXF; cubic parametric spline curve; parametric

样条函数自提出以来, 以其构造简单、易于计算、及很好的力学背景等特点被广泛用于科学计算、工程设计和计算机辅助设计等领域, 从而成为最重要的曲线和曲面构造方法之一^[1]。

三次样条曲线在使用中存在局限性, 且表示方法缺乏几何不变性^[2]。即当平面直角坐标系中的型值点发生旋转等几何变形时, 其曲线的形状也发生变形, 严重时甚至不能保证满足 $x_1 < x_2 < \dots < x_n$ 的条件, 对表现曲线的几何形状极为不便; 在使用 AutoCAD 中 spline 命令绘制样条曲线时, 可能导致各型值点的横坐标也不能满足 $x_1 < x_2 < \dots < x_n$ 的条件。为了解决这些问题, 一些学者运用向心参数法在周期性三次样条曲线拟合控制多边形时, 取得了较小的偏差^[3]; 基于累加弦长的三次参数样

条曲线插值在数控系统中取得了较好的效果^[4], 但是以累加弦长为参数的三次参数样条曲线插值和基样条的函数插值在各分段曲线两端曲率的符号相同的情况下都有可能产生这段曲线上的拐点, 造成曲线不光顺。因此一些准则提出检查多余的拐点^[5], YE J 等人修正了 Kjellander 的方法^[6], 并从累加弦长参数化和光顺函数两方面消除了三次参数样条曲线的振荡和回折^[7]。章虎冬等人提出了基于离散曲率的三次参数样条曲线的自动光顺算法^[8]。

本文以三次样条曲线的第 i 段的弦长为参数实现该段的三次样条曲线的参数化绘制。

1 AutoCAD 接口和 DXF 文件信息提取

AutoCAD 提供了多种软件接口^[9], 包括 Auto LISP

技术与方法 Technique and Method

(Auto List Progressing), ADS(AutoCAD Development System, C-based), DCL(Dialog Control Language), ARX(AutoCAD Runtime Extension, C++based), VBA(Visual Basic for Applications)和 COM/OLE/ActiveX 来实现 AutoCAD 与其他软件的数据交换。HAO J P 等人采用 AutoCAD 和 VBA 的可靠性分析可视化系统^[10]。于代俊等人在 AutoCAD 平台上和 VC++开发环境下, 利用 ObjectARX 开发工具包完成了基于三次参数样条曲线等高线的矢量化绘制^[11]。ObjectARX 开发的应用程序是动态链接库(DLL), 该程序与 AutoCAD 共享一个地址空间, 并可直接调用 AutoCAD 的内部函数, 直接访问 AutoCAD 数据库结构、图形系统以及 AutoCAD 几何造型核心, 实现快速、稳定、实时扩展 AutoCAD 的功能。本文以图形交换文件(DXF)格式实现 AutoCAD 与 VC++之间的数据交换。

DXF 是 AutoCAD 领域的一种标准数据交换格式, 其包含了所有图层的几何形状和几何尺寸, 该格式对于提取 AutoCAD 文件的几何信息提供了强有力的支持。本文将 AutoCAD 绘制的三次样条图形导出形成 DXF 格式文件之后, 提取出各三次样条曲线的起始端点切向、终止端点切向、型值点数及相应的型值点的坐标值, 然后利用提取出的数据绘制三次参数样条曲线。

图 1 所示为运用高级软件 VC++ 编程提取 DXF 文件中三次样条曲线的数据和参数绘制三次样条曲线的流程图。

2 三次参数样条曲线的生成

三次参数样条函数的基本要求是: 已知 n 个型值点 $P_i (i=1, 2, \dots, n)$, 且相邻型值点不重合; 若 $P(t)$ 满足下列条件: (1) 型值点 P 在函数 $P(t)$ 上; (2) $P(t)$ 在整个 $[P_i, P_{i+1}]$ 上二次连续可导; (3) 在每个子区间 $[P_i, P_{i+1}]$ 上 ($i=1, 2, \dots, n-1$), $P_i(t)$ 都是参数 t 的三次多项式, 而参数 t 以相邻型值点之间的弦长为取值变化范围。则称 $P(t)$ 是过型值点的三次参数样条曲线。

$$P_i = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix}, P(t) = \begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \\ z(t) \end{bmatrix}$$

如果取消了这些向量中的 z 分量, 就变成了二维曲线。

2.1 三次参数样条曲线的生成原理及方法

由于本文绘制二维的三次参数样条曲线, 所以第 i 段的三次参数样条曲线的表达式为:

$$P_i(t) = B_1 + B_2 t + B_3 t^2 + B_4 t^3, t \in [0, L_i]$$

L_i 为第 i 段的弦长, 且有:

$$L_i = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2 + (z_{i+1} - z_i)^2}$$

根据定义中给出的已知条件, 确定其各待定系数。

对 $P_i(t)$ 2 次求导有:

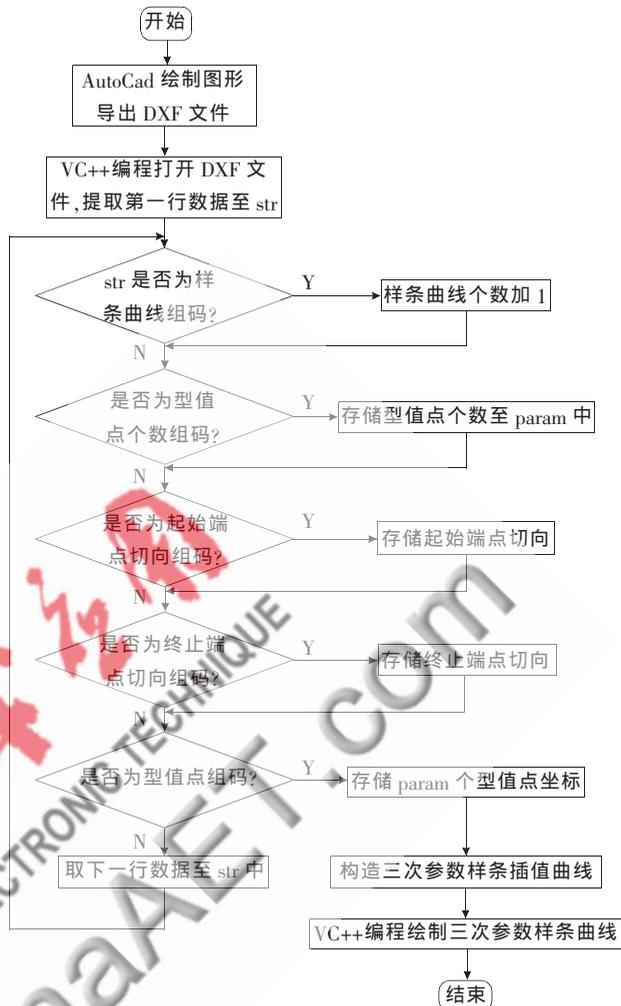


图 1 提取 DXF 文件中三次样条曲线数据流程图

$$P_i(t)' = B_2 + 2B_3 t + 3B_4 t^2$$

$$P_i(t)'' = 2B_3 + 6B_4 t$$

当 $t=0$ 时, 第 i 段子曲线对应于端点 P_i , 则

$$P_i(0) = P_i = B_1$$

当 $t=L_i$ 时, 第 i 段子曲线对应于端点 P_{i+1} , 则

$$P_i(L_i) = P_{i+1} = B_1 + B_2 L_i + B_3 L_i^2 + B_4 L_i^3$$

设第 i 段子曲线在型值点 P_i 处的二阶导数向量为

M_i , 则有:

$$P_i'(0) = M_i = 2B_3$$

$$P_i'(L_i) = M_{i+1} = 2B_3 + 6B_4 L_i$$

由上述 4 式可求得各系数向量为:

$$B_1 = P_i$$

$$B_2 = \frac{1}{L_i}(P_{i+1} - P_i) - L_i \left(\frac{M_i}{3} + \frac{M_{i+1}}{6} \right)$$

$$B_3 = \frac{M_i}{2}$$

$$B_4 = \frac{1}{6L_i}(M_{i+1} - M_i)$$

因此可得第 i 段型值点处的二阶导数向量, 该段三次参数样条函数为:

$$P_i(t) = P_i + \left[\frac{1}{L_i}(P_{i+1} - P_i) - L_i \left(\frac{M_i}{3} + \frac{M_{i+1}}{6} \right) \right] t + \frac{M_i}{2} t^2 + \frac{1}{6L_i}(M_{i+1} - M_i)t^3$$

利用函数 $P(t)$ 的一阶导数连续求解各型值点处的二阶导数向量 M_i 。

$$\text{又 } P'_{i-1}(L_{i-1}) = P'_i(0)$$

$$\text{令 } \lambda_i = \frac{L_{i-1}}{L_{i-1} + L_i}, \mu_i = 1 - \lambda_i$$

$$D_i = \frac{6}{L_{i-1} + L_i} \left(\frac{P_{i+1} - P_i}{L_i} - \frac{P_i - P_{i-1}}{L_{i-1}} \right)$$

则有 $\lambda_i M_{i-1} + 2M_i + \mu_i M_{i+1} = D_i, i=2, 3, \dots, n-1$

在 AutoCAD 中, 用 spline 命令绘制三次样条曲线时, 采用边界约束为夹持端, 所以

$$\mu_1 = 1, \lambda_n = 1$$

$$D_1 = \frac{6}{L_1} (P_2 - P_1 - P'_1), D_n = \frac{6}{L_{n-1}} (P'_n - \frac{P_n - P_{n-1}}{L_{n-1}})$$

$$\text{端点切向量 } P' = \begin{bmatrix} dx/dl \\ dy/dl \\ dz/dl \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha \\ \cos \beta \\ \cos \gamma \end{bmatrix}$$

此时各型值点的二阶导数向量 M_i 可用矩阵表示如下:

下:

$$\begin{bmatrix} 2 & \mu_1 & & & & & \\ \lambda_2 & 2 & \mu_2 & & & & \\ & \lambda_3 & 2 & \mu_3 & & & \\ & & \dots & \dots & \dots & & \\ & & & \lambda_{n-1} & 2 & \mu_{n-1} & \\ & & & & \lambda_n & 2 & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \\ M_4 \\ M_5 \\ M_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \\ D_4 \\ D_5 \\ D_6 \end{bmatrix}$$

用三对角矩阵的追赶法^[2]求得二阶导数向量 M_i 的值, 从而写出第 i 段弦长为参数的三次参数样条曲线函数表达式。

2.2 三次参数样条曲线的显示

本文用 VC++ 编程从 AutoCAD 将绘有三次样条曲线图形导出 DXF 格式文件, 并从该 DXF 格式文件中提取所有三次样条曲线的起始端点切向、终止端点切向、拟合点数与拟合点的坐标值。编程求出所有三次样条曲线各段三次参数样条曲线函数表达式, 最后用所求的表达式将各三次样条曲线绘制出来。如图 2(除外面边框外)、图 4(除外面边框和中心的两圆外)所示的图形都是用 AutoCAD 的 spline 命令绘制的三次样条曲线。图 3、图 5 分别为图 2、图 4 在 AutoCAD 中用 DXFOUT 命令导出形

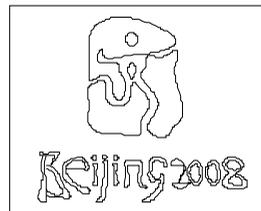


图 2 AutoCAD 绘制的三次样条曲线



图 3 VC++ 绘制的三次参数样条曲线

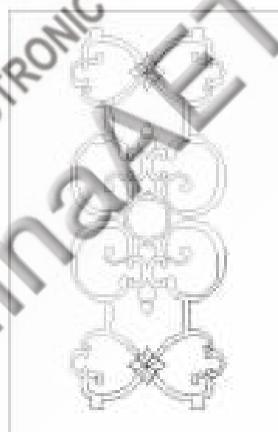


图 4 AutoCAD 绘制的三次样条曲线

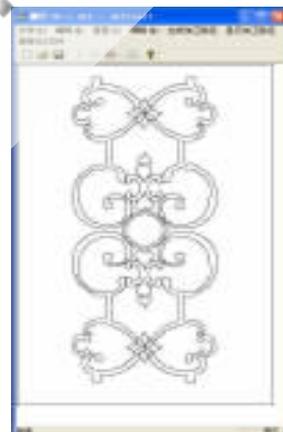


图 5 VC++ 绘制的三次样条曲线

成 DXF 文件格式, 并用 VC++ 编程提取出来的 DXF 文件信息绘制的三次参数样条曲线图。

本文介绍了三次参数样条曲线的研究现状和 AutoCAD 软件接口, 提出了以 DXF 文件格式为桥梁, 实现 AutoCAD 图形与 VC++ 之间的数据交换, 并运用高级语言 VC++ 编程从 DXF 文件中提取出各三次样条曲线的起始端点切向、终止端点切向、型值点数及相应型值点坐标。同时, 提出了三次参数样条曲线的生成原理, 并应用该原理 VC++ 编程实现了三次参数样条曲线的绘制。从曲线生成原理及最后结果可以看出, 该方法有效地解决了三次样条曲线的参数化绘制, 准确地再现了真实的图形。

参考文献

- [1] 张彩明.高精度三次参数样条曲线的构造[J].计算机学报,2002,25(3):262-268.
- [2] 魏海涛.计算机图形学[M].北京:电子工业出版社,2001.
- [3] MISCHAEEL S, Floater. On the deviation of a parametric cubic spline interpolant from its date polygon [J]. Computer Aided Geometric Design, 2008,25:148-156.
- [4] 谈勇,王治森,闫晓婧.基于累加弦长的三次参数样条曲线的插补控制[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2004,27(6):619-622.
- [5] 苏步青.关于三次参数样条曲线的一些注记[J].应用数学学报,1976(1):49-58.
- [6] KJELLANDER J A P. Smoothing of cubic parametric splines[J]. Compute Aided Des, 1983,15:175-179.
- [7] YE J, QU R. Fairing of parametric cubic splines[J]. Mathematical and Computer Modeling, 1999,30:121-131.
- [8] 章虎冬,蒋大为.三次参数样条曲线的自动光顺算法[J].陕西邮电学院学报,2006,11(3)116-118.
- [9] MANSOUR N, MOHAMMAD J, DREES I. Cost estimation of structural skeleton using an interactive automation algorithm: A conceptual approach [J]. Automation in Construction, 2007,16:797-805.
- [10] HAO J P, YU Y L, XUE Q. A maintainability analysis visualization system and its development under the AutoCAD environment[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2002,129:277-282.
- [11] 余代俊,耿留勇.三次参数样条曲线在等高线矢量化中的应用[J].测绘与空间地球信息,2007,60(6):153-155.
- [12] 关治.数值分析[M].北京:清华大学出版社,2006.

(收稿日期:2009-09-03)

作者简介:

张剑英,女,1963年生,教授,主要研究方向:信号处理,模式识别等。