

计算机辅助浮雕设计与加工系统

许贤泽

(武汉测绘科技大学电子信息工程与精密机械学院, 武汉市珞喻路39号, 430070)

摘要 介绍一个具有一定特色的 CAD/CAM 系统——DMR 系统。它采用模块化程序设计思想, 各模块相互独立, 用数据文件传递信息。在创成型面时有机地结合 PB 样条曲线理论和 Bezier 曲面理论, 简化了其中的一些计算, 在计算刀具轨迹时又采用简单快速的 Bezier 曲面离散法, 计算速度快、精度高, 能在微机上运行。

关键词 浮雕; 自由曲面; CAD/CAM

分类号 TP391.72

1 DMR 系统的功能与结构

DMR 系统即 Designing and Manufacturing Relief 系统, 首先根据浮雕点的离散信息(型值点及其切矢、导矢)构造一张处处切线连续的双三次光滑曲面, 并用该曲面来表示浮雕的表面。该曲面还可在图像仪上进行检验和校正。对于已设计成的曲面, 通过刀具轨迹的计算和后处理, 可产生加工产品的 NC 指令。

DMR 系统在创成曲面时有机地结合了 PB 样条曲线理论和 Bezier 理论, 大大简化了其中的一些计算。在计算刀具轨迹时, 又采用了简单快速的 Bezier 曲面离散算法, 可在微机上运行并具有较快的计算速度。

DMR 系统采用了模块化程序设计思想, 各模块相互独立, 用数据文件传递模块信息。该系统源程序用 FORTRAN77 写成, 移植性好。系统结构如图1所示。

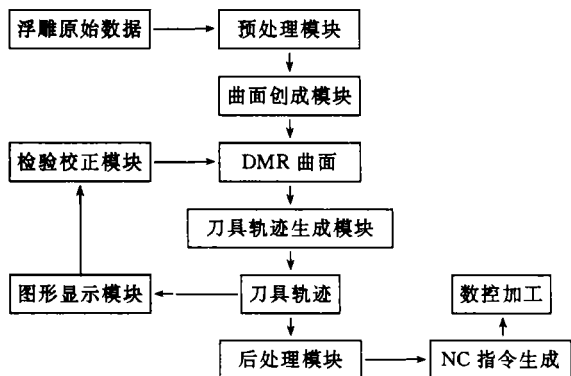


图1

2 DMR 系统中的曲面创成

浮雕是具有自由曲面的型面, 在设计上往往用列表点形式加以定义。要加工出浮雕, 首先必须用数学方程式逼近其轮廓, 即根据这些列表点创成一光滑连续的自由曲面。

首先, 根据所给型值点按纵向、横向构成一系列 PB 样条曲线, 并将与某一网格相对应的 4 条曲线视为将在此网格上构作的双三次 Bezier 曲面片的 4 条边界线。显然, 就此网格上的

Bezier 曲面片而言,只要再求出中间的 4 个控制顶点,该Bezier 曲面片就可唯一决定。因为给定 $(m + 1) \times (n + 1)$ 个空间点列 $V_{ij}(i = 1, \dots, m; j = 0, \dots, n)$, 则 $m \times n$ 次 Bezier 曲面可表示为:

$$P(u, w) = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n V_{ij} B_{im}(u) B_{jn}(w) \quad (0 \leq u \leq 1; 0 \leq w \leq 1)$$

其中 u, w 为归一化参数, $B_{im}(u), B_{jn}(w)$ 分别为 $m \times n$ 次 Bernstein 基函数族, V_{ij} 为控制顶点。逐次用线段连接点列 V_{ij} 中相邻两点组成空间网格即为特征网格。一般取 $m = n = 3$ 时, $P(u, w) = U A \bar{V} A^T W^T$ 。其中 $U = [u^3, u^2, u, 1]$; $W = [w^3, w^2, w, 1]$;

$$A = \begin{bmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -3 & 3 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \bar{V} = \begin{bmatrix} V_{00} & V_{01} & V_{02} & V_{03} \\ V_{10} & V_{11} & V_{12} & V_{13} \\ V_{20} & V_{21} & V_{22} & V_{23} \\ V_{30} & V_{31} & V_{32} & V_{33} \end{bmatrix}$$

为了保证整张曲面处处切线连续,每块 Bezier 曲面片的中间 4 个控制顶点可根据其边界控制顶点给出:

$$\begin{aligned} V_{11} &= V_{10} + V_{01} - V_{00}, V_{12} = V_{13} + V_{02} - V_{03}, \\ V_{21} &= V_{20} + V_{31} - V_{30}, V_{22} = V_{23} + V_{32} - V_{33} \end{aligned} \quad (1)$$

其中 $V_{ij}(i = 0, \dots, 3; j = 0, \dots, 3)$ 为该 Bezier 曲面片的 16 个控制顶点。

由(1)式可以发现,整张自由曲面中的任意两相邻 Bezier 曲面片的特征网格有公共边界,且在其两边的四对多边形的边共线并有相同的比例因子,即满足 Bezier 曲面片间的切线连续条件。因此,对于整块曲面也能保证处处 C' 连续,即切线连续。

但是,如果只按(1)式求取每块 Bezier 曲面片的中间 4 个控制顶点,有可能产生一些奇异情况(由于控制顶点排序的不正规而致使曲面的光顺性很差)。为此,必须对曲面进行局部修正,通过控制顶点的移动而实现曲面的光顺。值得指出的是,为了保持原已创成的曲面的切线连续性,必须考虑控制顶点之间的相互关联性,即每个型值点周围的 8 个控制顶点(边界上相应的 5 个控制顶点)必须同时以相同比例移动。某型值点 P_M 附近的 8 个控制顶点的调整关系为:

$$\begin{cases} \bar{V}_M^{01} = \bar{V}_{h-1l}^{31} = \delta'_M V_M^{01} + (1 - \delta'_M) P_M \\ \bar{V}_M^{10} = \bar{V}_{M-1}^{13} = \delta_M V_M^{10} + (1 - \delta_M) P_M \\ \bar{V}_{h-1l-1}^{32} = \bar{V}_{h-1l-1}^{02} = \delta'_M V_{h-1l-1}^{32} + (1 - \delta'_M) P_M \\ \bar{V}_{h-1l-1}^{23} = \bar{V}_{h-1l}^{20} = \delta_M V_{h-1l-1}^{23} + (1 - \delta_M) P_M \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} \bar{V}_M^{11} = \bar{V}_M^{10} + \bar{V}_M^{01} - P_M, \bar{V}_{h-1l-1}^{12} = \bar{V}_{h-1l-1}^{13} + \bar{V}_{h-1l-1}^{02} - P_M \\ \bar{V}_{h-1l-1}^{22} = \bar{V}_{h-1l-1}^{23} + \bar{V}_{h-1l-1}^{32} - P_M, \bar{V}_{h-1l}^{21} = \bar{V}_{h-1l}^{20} + \bar{V}_{h-1l}^{31} - P_M \\ P_M = V_{lh}^{00} = \bar{V}_{lh}^{00} \bar{V}_{h-1l-1}^{33} = V_{h-1l-1}^{33} = V_{h-1l}^{30} = \bar{V}_{h-1l}^{30} = V_{h-1l}^{03} = \bar{V}_{h-1l-1}^{03} \end{cases} \quad (3)$$

其中 $[V], [\bar{V}]$ 分别为调整前后的控制顶点, δ_M, δ'_M 为权系数(都小于 1)。

事实上,在满足(1)式后若能保证各 Bezier 曲面片的网格正规排列,即互不交叠,整张曲面必定足够光顺。因此,最终创成的曲面为双三次 Bezier 曲面片的拼接形式,其几何连续阶为 C' 。

如果预先给定的型值点不成网格排列,则可按纵向(或横向)对每一列(或行)作相应的预处理,删除、加补或修正一些型值点的位置,使所有型值点成网格排列,以便按上述方法创成整张曲面。

3 DMR 系统中刀具轨迹的生成

球头刀是自由曲面加工中应用最广的一种刀具,只要使球头刀的球心位于所加工曲面的等距面上,不论刀具路线如何安排,均能铣出所要求的曲面形状。为了简单快速地计算刀具轨迹,采用 Bezier 曲面的离散算法。根据 Bezier 曲面的离散定理,将 Bezier 曲面片 $P(u, w)$ 离散为以下4块 Bezier 曲面片:

$$P(u, w) = \begin{cases} \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n G_{ij} B_{im}(\frac{u}{\eta}) B_{jn}(\frac{w}{\delta}) & (0 \leq u \leq \eta, 0 \leq w \leq \delta) \\ \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n Q_{ij} B_{im}(\frac{u}{\eta}) B_{jn}(\frac{w-\delta}{1-\delta}) & (0 \leq u \leq \eta, \delta \leq w \leq 1) \\ \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n R_{ij} B_{im}(\frac{u-\eta}{1-\eta}) B_{jn}(\frac{w}{\delta}) & (\eta \leq u \leq 1, 0 \leq w \leq \delta) \\ \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n W_{ij} B_{im}(\frac{u-\eta}{1-\eta}) B_{jn}(\frac{w-\delta}{1-\delta}) & (\eta \leq u \leq 1, \delta \leq w \leq 1) \end{cases} \quad (4)$$

其中 $G = [G_{ij}]$ 、 $Q = [Q_{ij}]$ 、 $R = [R_{ij}]$ 、 $W = [W_{ij}]$ ($i = 0, \dots, m, j = 0, \dots, n$) 分别是新生成4块 Bezier 曲面片的控制顶点,它们可由 Bezier 曲面片的作图定理求得。

在 Bezier 曲面片的离散算法中,曲面片 u 向和 w 向的离散因子 η 和 δ 常取 $\eta = \delta = 0.5$ 。但对于某一特定的曲面片,两个参数方向上的弯曲程度往往不一样,如圆柱面片,周向的弯曲程度显然要比轴向的弯曲程度大得多,如取 $\eta = \delta = 0.5$,则不合理。为此,在 DMR 系统中引入了双向优化离散法,改“一分为四”的算法为“一分为二”,即取 $\eta = 0, \delta = 0.5$ 或 $\eta = 0.5, \delta = 0$,从而实现了刀具轨迹运动步长的优化。

因此,在一定的离散精度下,可把整张曲面离散成网格形式,网格的大小就体现了曲面在不同位置的弯曲程度。如果取曲面某个参数方向(u 向或 w 向)上的一系列等差束线作为加工时刀具在工件上留下的刻痕,则在网格上进行线性插值,计算刻痕上节点处的点矢和法矢,再考虑铣刀的球头半径后就可计算出刀具轨迹,即球头刀球心的运动路线。为了实现数控加工,DMR 系统在最后把刀具轨迹的几何参数转化为相应的 NC 指令。

NC 自动编程过程是在 APPLICON 系统控制下进行的。在编程过程中,通过刀具加工轨迹的产生和显示,能直观地表明每一个工步进行的加工过程,可以认为是实际加工过程的计算机模拟。模拟通过后的 NC 指令,即可作为后置处理的依据。DMR 系统的后置处理除了需要前置处理生成的刀具运动轨迹数据外,还必须根据工件材料、刀具材料来设定各种切削条件,提供后置处理必要的加工信息数据。该系统通过人机对话方式输入信息进行后置处理。

4 DMR 系统的应用

利用 DMR 系统进行了加工浮雕的实验。它根据给定的浮雕离散信息,在图像仪上进行校验校正,并生成浮雕曲面,然后通过刀具轨迹计算和后置处理产生 NC 指令。加工后所测型值点的综合误差均小于0.05mm。

由此可得出结论:

1) DMR 系统在创成曲面时有机地结合了 PB 样条曲线理论和 Bezier 曲面理论,可以避

免对三角方程组的求解,从而简化了计算。

2) DMR 系统把浮雕的设计加工集于一体,又具备处理自由曲线曲面的能力,是一个具有较强功能的 CAD/CAM 系统。

3) DMR 系统在生成刀具轨迹时采用快速收敛的离散算法,计算速度快、精度高,占用内存不大,为在微机开发 CAD/CAM 系统提供了参考。

参 考 文 献

- 1 余厚安,许贤泽.浮雕造型 CAD 中引入人工智能.武汉工学院学报,1994,16(1):22~25
- 2 金延赞.计算机图形学.杭州:浙江大学出版社,1988.
- 3 [日]竹内芳美.个人计算机的 CAD/CAM 在机械加工中的应用.北京:机械工业出版社,1988.

A CAD/CAM System for Relief

Xu Xianze

(School of Electronic Information Engineering & Precision Mechanics, WTUSM, 39 Luoyu Road, Wuhan, China, 430070)

Abstract This paper presents a CAD/CAM system for free form surface of relief, called DMR system, which uses a modularized idea for designing a program. Every modularization is independent, and transmits messages with the database. In creating the mould surface, a great many calculation can be simplified by combining B-spline and Bezier theory organically. In calculating the path of the cutting tool, the simple and quick Bezier surface dispersion method is used. It improves the calculation speed and precision. The whole system can be debugged on microcomputers.

Key words relief; free form surface; CAD/CAM

科技简讯

由宁津生教授主持研究的国家自然科学基金项目“大地测量学学科发展战略调研报告”最近通过国家自然科学基金委员会地球科学部组织的评审。

该研究从战略高度论述了大地测量对现代社会和经济发展、地球科学和现代国防的重要作用 and 地位,分析了制约我国大地测量学发展的主要因素,提出了我国大地测量学学科发展战略的基本指导思想、方向、目标和重点,提出我国大地测量学学科的优先发展领域和支持课题以及为实现战略目标而采取的基本对策、措施和建议。

专家们认为,该研究成果系统地阐明了国际大地测量学科的发展趋势,客观地分析了我国的成就和现状,内容丰富,资料翔实,立论有据,观点明确,是近年来难得的关于大地测量学科的综合性的战略研究报告,对推动我国这门学科的发展具有重大的科学意义和指导作用。(周)