

NURBS 三参数实体造型及 在模具 CAD/CAM 中的应用

孙善忠 刘晓强 阮雪榆

(上海交通大学塑性成形工程系 国家模具 CAD 工程研究中心 上海 200030)

摘要 在大量 CAD/CAM 应用类问题中,不但需要描述实体的外形,也要求表达实体的内部信息.针对这个要求,本文提出了 NURBS 三参数实体造型方法和形体构筑技术.本文将此方法应用于模具 CAD/CAM 系统中,如有限元建模中的形体三维有限元网格生成及相应的应力分析、质量特性计算等问题.

关键词 三参数实体造型,超曲面片,NURBS,有限元建模,质量特性.

由于比线框模型和曲面模型拥有更多的几何信息和拓扑信息,为产品和模具设计、制造的自动化和集成化提供了技术上的保证,实体造型方法广泛应用于各类 CAD/CAM 系统中.^[1,2]但是,以 CSG 树和边界表示等为代表的造型方法尽管有较强的外形表达能力,却无法表达实体内部信息.举个例子,计算机动画里需要构建一个人体模型,外皮的描述就足够了;但在生物医学应用中,就需描述内部元件,如骨节等,骨头的材料是骨质,它象复合材料中的纤维,还有网状骨,都需要人体模型的内部信息.模具 CAD/CAM 系统的实体模型中,金属在模具内成形的有限元分析、质量特性计算以及复合材料建模等,都不仅需要实体的边界外形,同时需要定义实体的内部.

1 NURBS 三参数实体的数学表达

就象双参数曲面可看作单参数曲线的运动轨迹那样,实体可看成是双参数曲面的运动轨迹.由此可知,实体可用三参数矢函数表示

$$P = P(u, v, w) \quad (u, v, w) \in R \quad (1)$$

它定义在空间域 R 上,这样定义的参数实体称为超曲面片.

超曲面片中的面可以是平面或圆柱面,但一般情况下是自由曲面.^[3]不失一般性,我们将超曲面片用映射关系定义为:

• 作者孙善忠,1970年生,博士生,主要研究领域为计算机图形技术,实体造型及在金属塑性成形中的应用.刘晓强,1960年生,博士后,讲师,主要研究领域为曲面实体造型.阮雪榆,1933年生,教授,中国工程院院士,博士生导师,主要研究领域为金属塑性成形理论,模具 CAD/CAE/CAM.

本文通讯联系人:孙善忠,上海 200030,上海交通大学塑性成形工程系

本文 1995-12-28 收到修改稿

$$P(u, v, w) = \sum_{k=1}^4 \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^4 S_{ijk} u^{4-i} v^{4-j} w^{4-k} \quad (2)$$

注意这种映射把一单元立方体通过参数映射成三维空间,如图1所示.映射域(也称参数空间)有轴 u, v 和 w ,模型空间有 x, y 和 z .映射的阶对于每个变量都是3次,所以超曲面片方程是一个三三次函数,共有64个矢量函数(192个标量).

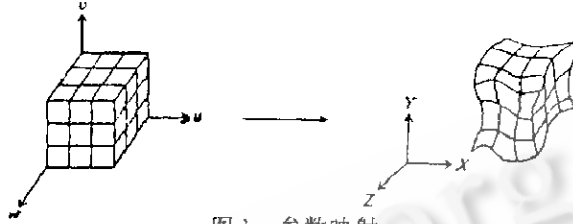


图1 参数映射

由于超曲面片通过实体域上参数多项式来表达实体,所表达的实体结果不仅描述了边界,同时也描述了实体的内部信息.实体内部的信息由超曲面片方程中的24个系数提供,另外的自由度用来控制超曲面片内部的映射,设定更多的信息来描述实体内真实的情况.

非均匀有理B样条(NURBS)具有映射不变性、能统一表示解析曲线和自由曲线等优点,所以我们提出了基于NURBS的映射关系,这样依据式(2)可写出NURBS三参数实体的方程式:

$$P(u, v, w) = \frac{\sum_{i=0}^l \sum_{j=0}^m \sum_{k=0}^n w_{ijk} d_{ijk} N_{ip}(u) N_{jq}(v) N_{kr}(w)}{\sum_{i=0}^l \sum_{j=0}^m \sum_{k=0}^n w_{ijk} N_{ip}(u) N_{jq}(v) N_{kr}(w)} \quad 0 \leq u, v, w \leq 1 \quad (3)$$

式中 d_{ijk} 为控制顶点, w_{ijk} 为权因子, $N_{ip}(u), N_{jq}(v), N_{kr}(w)$ 为分别以 u, v, w 为变量的 p, q, r 阶规范B样条基函数.它们分别由3个参数的节点矢量 $U = [u_0, u_1, \dots, u_{l+p+1}]$, $V = [v_0, v_1, \dots, v_{m+q+1}]$, $W = [w_0, w_1, \dots, w_{n+r+1}]$ 按德布尔递推公式确定.3个节点矢量的端节点分别具有 $p+1, q+1, r+1$ 的重复度.^[4,5]

2 实体构筑技术

由曲面片或超曲面片构筑形体时,可以充分利用其它实体造型方法的优点.例如,应用CSG树原理,将一比较复杂的形体先分解成若干个NURBS实体,然后进行非折叠的拼合.

其它有一些实用的构筑技术.图2所示将两曲面片用直线连接,连接时用相同的参数坐标,生成直纹实体,这种构造方法实际上是直纹面的拓广,它直接连接曲线上的参数点;另外一种有用的构造技术如图3所示,将曲面在法向加一厚度,从而产生实体,图3中厚度在表面上是呈双线性变化的;图4是将曲面绕一直线轴扫刮成一实体,这种由曲面扫刮而成的回转体类零件在工程设计中经常用到.

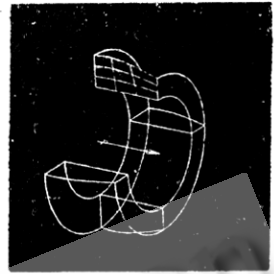
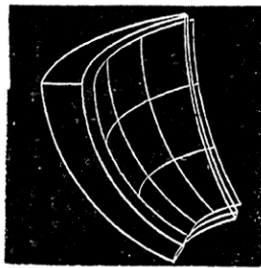
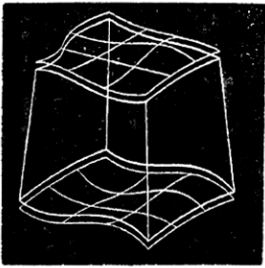


图2 两曲面连成的直纹实体 图3 法方向加厚生成的实体 图4 曲面扫刮而成的实体

3 在模具 CAD/CAM 系统中的应用

3.1 三维有限元建模

工件在模具内发生塑性变形时,内部的应力和温度分布会出现不均匀,局部地区过大的应力或温度差异过大会使产品产生缺陷,而基于 NURBS 的三参数实体造型方法能知晓产品内部的信息及变化,在图形处理中,我们往往用颜色来代表工件的密度、温度和应力分布情况。^[6]

尽管目前计算机辅助几何设计和有限元分析方法都发展得比较成熟,但三维有限元建模中的网格生成过程,即将几何体离散成面向分析的单元,既费时又易出错,而基于 NURBS 三参数实体造型方法,则在形体成形前先生成带网格的实体,当金属塑性变形时,随着 NURBS 控制顶点的变化,网格也随着变化,图 5 所示为一变形后的带网格实体,而变形前为一长方体毛坯。

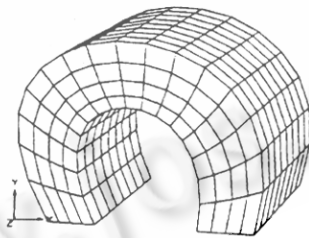


图5 带网格的变形后实体

3.2 质量特性计算

质量特性计算归结为重积分问题,虽然积分函数一般比较简单,但积分域随形体的不同而往往非常复杂。^[7]但是,由式(2)或(3)描述的超曲面片在参数空间 (u, v, w) 里是立方体,这样,计算积分可将超曲面片从笛卡尔坐标空间映射到参数空间,从而大大简化积分域:

$$\iiint_{\text{超曲面片}} f(x, y, z) dx dy dz = \iiint_{\text{立方体}} f(u, v, w) |J| du dv dw \quad (4)$$

式中 $[J]$ 是雅可比矩阵 $[J]$ 的行列式, $[J]$ 可由下式得到:

$$[J] = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial u} & \frac{\partial y}{\partial u} & \frac{\partial z}{\partial u} \\ \frac{\partial x}{\partial v} & \frac{\partial y}{\partial v} & \frac{\partial z}{\partial v} \\ \frac{\partial x}{\partial w} & \frac{\partial y}{\partial w} & \frac{\partial z}{\partial w} \end{bmatrix} \quad (5)$$

4 结 论

与其它实体造型方法相比, NURBS 三参数实体造型方法无疑扩大了应用领域, 为模具及产品的设计、测试和成形分析一体化提供了手段, 而且假如不需刻画物体内部信息时, 从三参数实体上可以“剥离”出它的有界面, 形成壳体, 这为实体造型与曲面造型的统一描述找到了衔接点. 但是也应看到, 这种造型方法存在着求交和裁剪困难等问题, 有待于进一步地研究.

参 考 文 献

- 1 Piegl L. Key developments in computer aided geometric design. CAD, 1989, (5): 262~274.
- 2 唐荣锡. CAD/CAM 技术. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1994. 99~149.
- 3 Barr A H. Global and local deformations of solid primitives. CG, 1984, (3): 21~30.
- 4 Lamousin Henry J, Waggar Warren N. NURBS-based free form deformations. IEEE CG&A, 1994, (November): 59~65.
- 5 Coquillart S. Extended free form deformation: a sculpturing tool for 3D geometric modeling. CG, 1990, (4): 187~193.
- 6 Nahas M, Huitric H. Animation of a B-spline figure. The Visual Computer, 1988, (5): 272~276.
- 7 Lein S L, Kajika J T. A symbolic method for calculating the integral properties of arbitrary nonconvex polyhedra. IEEE CG&A, 1984, (October): 35~41.

NURBS TRI-PARAMETRIC SOLID MODELING AND ITS APPLICATION IN CAD/CAM OF DIES

SUN Shanzhong LIU Xiaoqiang RUAN Xueyu

(Department of Metal Forming Shanghai Jiaotong University
National Die & Mould CAD Engineering Research Center Shanghai 200030)

Abstract In many application problems of CAD/CAM, people not only need to describe the exterior of solids, but also want to know the information within the solids. In the light of this situation, this paper displays the method of NURBS tri-parametric solid modeling and some construction techniques. Also the paper discusses some applicational problems in CAD/CAM of dies, such as 3-D finite element mesh generating and mass properties calculation, which are based on this method.

Key words Tri-parametric solid modeling, hyperpaches, NURBS, finite element modeling, mass properties.