

MESSAGE——具有自由曲面造型 功能的立体造型系统

方晓芬 高曙明 彭群生

(浙江大学 CAD & CG 国家重点实验室,杭州)

摘 要

MESSAGE 是一具有自由曲面造型功能的立体造型系统,它能够处理二次曲面、旋转曲面、广义 *sweeping* 曲面、自由曲面以及由平面和上述曲面围成的三维物体,系统以平面及双三次有理 B 样条曲面为基本曲面模型,提供了布尔运算、*glue* 运算及多种局部修改运算。系统还具有一个独立的几何数据库,可以支持一些重要的工程应用。

关键词: 立体造型,曲面造型,自由曲面,布尔运算。

一、引 言

曲面造型和立体造型是计算机辅助几何设计的两个主要分支。在历史上,这两个分支几乎是独立发展的,彼此之间没有什么联系。曲面造型主要研究在计算机内如何描述一张曲面,如何对它的形状进行交互式的显示与控制。立体造型主要研究在计算机内如何定义、表示一个三维物体,如何从简单的物体构造出实用复杂的物体。由于立体造型系统提供了对体的完整的几何拓扑定义,因而可以随时提取所需的信息,支持 CAD/CAM 过程的任一方面。七十年代后,立体造型得到迅速发展。现在世界上已有上百个造型系统,而且有些已经应用于工业生产中。

然而,立体造型系统发展到今天,它在工业部门取得的地位和成就却远远低于人们的估计。这里有多方面的原因:几何造型手段贫乏,用户界面差,体的布尔运算不可靠、耗时间长等均是用户常常抱怨的话题。而且,现有的立体造型系统大都只能构造、表示由平面、圆柱面、圆锥面、球面、圆环面等二次曲面组成的物体,而塑料模具、汽车、飞机等工业却常需对具有自由曲面的物体进行计算机辅助几何设计。八十年代以来,人们在研制开发具有自由曲面功能的立体造型系统方面作出了很大的努力,但成功者仅是少数^[1],大多数设计者难以解决下面两个问题:

- 如何方便、灵活地输入自由曲面物体? 如何便于用户交互控制、修改曲面形状?
- 曲面如何求交? 如何表示、处理 *trimmed* 曲面使其满足给定的精度?

值得指出的是自由曲面物体的拼合运算远比多面体、二次曲面体的拼合运算复杂,虽

然已相继出现了基于离散 B 样条理论的自由曲面求交算法^[3], 但它的运行效率和可靠性仍未达到令人满意的程度。

MESSAGE (Modeling Environment for Surfaces, Solids and Geometric Entities) 是一个具有自由曲面造型功能的立体造型系统。该系统以双三次有理 B 样条曲面为其内部的基本曲面模型, 将一些常用二次曲面、旋转面、广义 sweeping 曲面和自由曲面统一成一种形式; 同时采用曲面片三角化、线性八叉树、离散与数值迭代相结合等技术改进了布尔运算的可靠性和速度; 系统包含的各种局部运算使得曲面及体的局部修改十分方便和快速。

二、系统结构和表示方法

1. 系统结构

MESSAGE 系统是一个具有自由曲面造型功能的立体造型系统, 其目的是为计算机图形学和工程应用提供三维几何形状设计的工具和环境。系统用一个在 Rdb 数据库管理系统上开发的几何数据库进行数据存贮和交换。MESSAGE 为用户提供三种方式的界面, 即菜单驱动的交互见面方式、系统命令方式和子程序方式, 它们分别适用于无经验的用户、有经验的用户及进一步研究和开发的程序员。MESSAGE 系统的工作流程如图 1 所示。

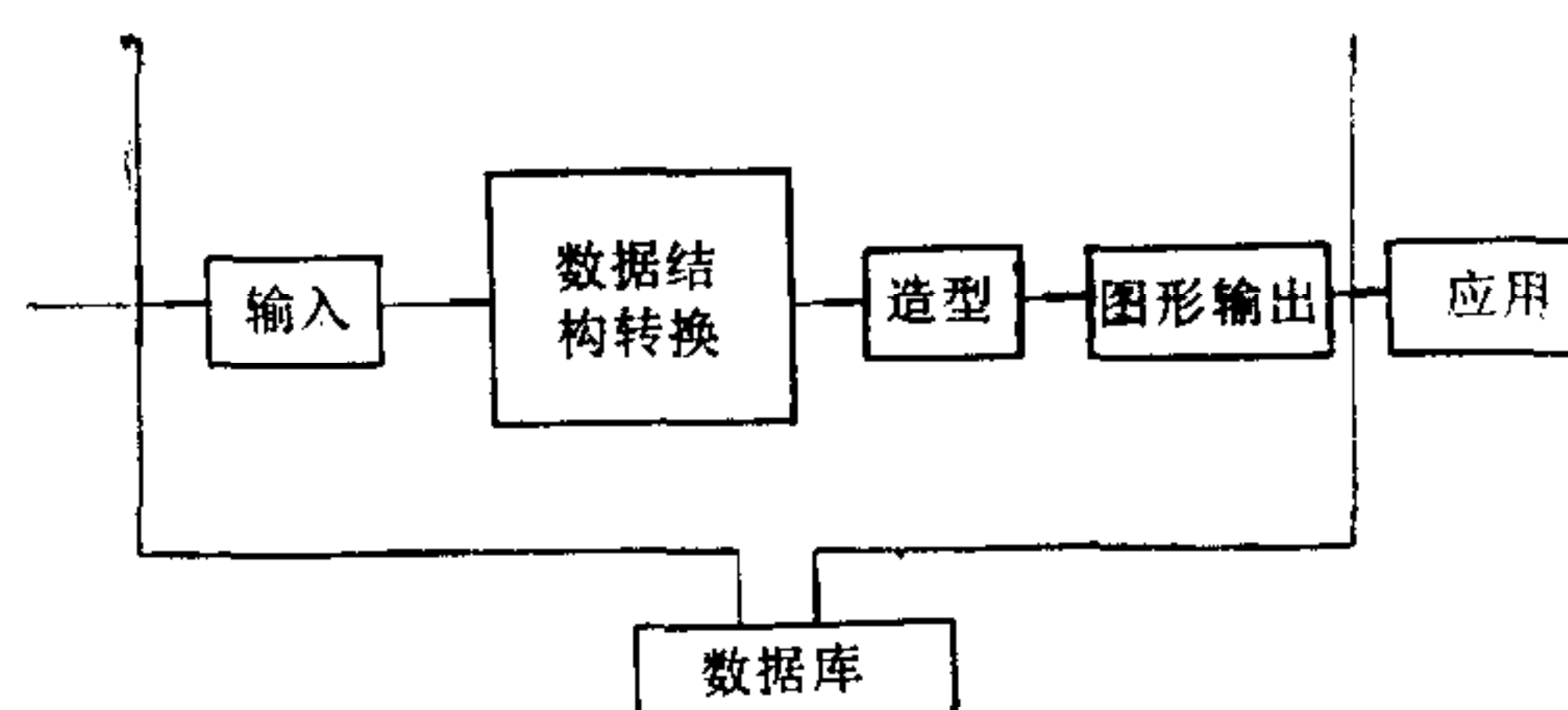


图 1 系统工作流程图

2. 体的表示方法

边界表示方法^[4]是 MESSAGE 系统主要的物体表示法。体的信息分为几何信息与拓扑信息两种。在拓扑上, 体由它的边界曲面片组成; 曲面片由一个或多个环组成; 每一环由一系列边界线首尾相接、封闭形成; 边界线由其两端点所定义。在几何上, 曲面片、边界线及点均还带有其几何信息。曲面片的几何信息就是它所在的解析曲面的解析描述; 边界线的几何信息是指它所在的解析曲线的解析描述; 点的几何信息即为点的坐标值。

在带有自由曲面边界的体中, 以上这种通常的边界表示法还是不够的。因为当一个环是由同一条首尾相重的封闭曲线所形成时, 体的边界表示是不唯一的, 因此有必要将这种重合的点区分开来。MESSAGE 中采用了点在曲面上的参数值来唯一确定一个点, 即在边界线还保存有其首尾点在曲面上的参数值, 从而唯一确定了边界线的方向, 避免了边界表示的二异性。

三、曲面造型

在 MESSAGE 系统中,与用户见面的曲面模型是多种多样的,如圆柱面、圆锥面、旋转面和广义 sweeping 曲面等。但它们都在系统内部被转化为统一的双三次有理 B 样条曲面形式,以便系统只需处理平面和双三次有理 B 样条曲面两种形式的曲面。双三次有理 B 样条曲面具有很好的计算和设计特性,如分割算法、凸包性、几何不变性及控制顶点对曲面影响的局部性等。它同 B 样条曲面一样非常适合于形状的设计和计算^[5],同时还具有 B 样条曲面所不具备的性质,即可以精确表示很多工程应用中常用的曲面如圆柱、圆锥、圆环等一般旋转面,这个性质使得 MESSAGE 系统能够将各种常用的曲面统一成一种形式进行处理。

MESSAGE 系统还定义了一种广义 sweeping 曲面,它是由一条母线沿一条给定的轨迹曲线按某一种方式扫描后形成的,母线在运动过程中可以用某种规则改变它的形状和尺寸^[6]。广义 sweeping 曲面几何上直观,表现能力很强,是一种较好的自由曲面输入方式。由于 MESSAGE 系统中对母线和轨迹曲线均采用三次有理 B 样条曲线,故其广义 sweeping 曲面能被精确地表示成双三次有理 B 样条曲面,这就保证了它也能被系统所统一处理。

四、体的局部运算

由于布尔运算非常复杂,耗费的时间、空间很大,而很多体的操作只是一些局部的修改或一种特定规律的变动,因此 MESSAGE 系统提供了一些简单易行的局部运算,以避免过多地调用布尔运算^[7]。

1. 平移 sweeping 运算

平移 sweeping 运算定义为将体的某一边界曲面片沿一指定方向扫描出一段距离。

2. 旋转 sweeping 运算

旋转 sweeping 运算定义为将体的某一边界曲面片绕一旋转轴旋转一个角度。

3. 反射运算

反射运算定义为体沿某一反射平面的镜面反射,此时体必须在反射平面的一侧。当反射平面为体的边界曲面时,则是体的一种变动,否则将产生另一反射体。

4. 局部磨光运算

局部磨光运算又称为过渡面运算,它是将体的某一些棱边和顶点用双三次 Bezier 曲面进行 G^1 光滑过渡^[8]。

局部磨光运算分为棱边磨光和角点磨光两种。在角点磨光时,MESSAGE 系统目前还只能对那些邻接平面多边形的角点进行磨光,对曲面的情形有待理论上的进一步研究^[8]。

5. 粘合运算

在很多应用领域中,复杂物体是由一些简单物体堆积而成,这种堆积的过程就是粘合

运算的过程。

五、体的布尔运算

体的布尔运算是立体造型系统中最重要和最强有力的运算,为立体造型系统所必备。目前,具有平面与二次曲面功能的立体造型系统的布尔运算已经比较成熟^[7,9,10],但具有自由曲面物体的布尔运算仍是一个棘手的问题,还没有成熟的算法,其主要困难是在空间和时间的效率及算法的可靠性上。

MESSAGE 系统定义了十种基本体素,它们是正方体、长方体、棱柱体、棱锥体、棱台体、球体、圆柱体、圆锥体、圆台体和圆环体。系统可调用任一基本体素或系统已生成的任一自由曲面物体进行并、交、差的布尔集合运算。

算法分成如下四个步骤:

第一步。通过 BOX 粗判,对有可能相交的边界曲面片进行三角化。三角形对曲面的逼近程度满足一个给定的误差范围,三角形结构中保存有其顶点在曲面上的参数值。系统还同时建立了一种线性八叉树结构,对三角形在八叉树中的位置进行了编码。

第二步。根据三角形的八叉树编码,迅速对可能相交的三角形求交,求交算法保证每条边界仅求交一次,算法对求出的交点建立起相应的交点表,表中存放有生成交线及边界修改所必需的信息。

第三步。生成交线。具体算法如下:

- 1) 根据交点表中的信息用连续求交的思想将各交点连成交线。
- 2) 对每条交线上的交点进行一次数据压缩、除去那些冗余点,仅保留对交线形状有较大影响的点。
- 3) 为了保证求交精度,对交线上的交点用数值迭代法使交点进一步逼近两相交曲面。由于交点在两曲面上的近似参数值已知且已被限定在一定的误差范围内,因此这种进一步的逼近是快速和可靠的。

4) 利用已求出的交线和交点的信息,通过欧拉算子修改参加求交的曲面片的边界。

第四步。根据给定的布尔算子,搜索修改过的边界曲面片,建立起新生成物体的数据结构。

上述布尔运算算法由于采用了三角形结构,所以简单可靠且易于硬件实现。与同类算法相比,其特点是明显的,八叉树的引入加速了曲面求交的过程,曲面片三角化的方法使布尔运算通用于各种曲面模型,同时由于这种三角形结构只是在曲面求交过程中产生,并不长驻系统,所以算法不会给系统在空间上增加很大压力。

六、结 束 语

MESSAGE 系统的程序全部用 C 语言写成,程序规模小,效率高,易于在微机上实现。目前运行在 Micro VAX-II 主机和 VMS 操作系统上,可在 PS300 图形系统上进行图形输出。

本文的工作是在梁友栋教授和金通洸教授的指导下完成的, 部分研究生参加了系统的软件设计工作。

参 考 文 献

- [1] Requicha, A. A. G and Voelcker, H. B., Solid Modeling: Current Status and Research Directions, *IEEE CG&A*, 3(1983), 9—24.
- [2] Miller, J. R., Sculptured Surfaces in Solid Models: Issues and Alternative Approaches, *IEEE CG&A*, 6 (1986), 37—48.
- [3] Peng, Q. S., Volume Modeling for Sculptured Objects, Ph. D Thesis, Univ. of East Anglia, (1983).
- [4] Casale, M. S., Free-Form Solid Modeling with Trimmed Surface Patches, *IEEE CG&A*, 7(1987), 33—43.
- [5] Tiller, W., Rational B-Splines for Curve and Surface Representation, *IEEE CG&A*, 3(1983), 61—69.
- [6] Shani, U. and Ballard, H., Splines as Embeddings for Generalized Cylinder, *CVG&IP*, 27(1984), 129—156.
- [7] Braid, I. C., Notes on a Geometric Modeller, *CAD Group Document*, Univ. of Cambridge, No. 101, 1979.
- [8] Liang, Y. D., Ye, X. Z. and Fang, X. F., G' Smoothing Solid Objects by Bicubic Bezier Patches, *Proc. of Eurographics*, 218—230, (1988).
- [9] Requicha, A. A. G. and Voelcker, H. B., Boolean Operations in Solid Modeling: Boundary Evaluation and Merging Algorithm, *Proc. IEEE*, 30—44, (1985).
- [10] Mäntylä, M., Boolean Operations of 2-Manifolds through Vertex Neighborhood Classification, *ACM Tran. on Graphics*, 5(1986), 1—29.
- [11] Yamaguchi, F. and Tokieda, T., A Solid Modeling System: Freedom II, *Computer and Graphics*, 17 (1983), 20—30.
- [12] Carlson, W. E., An Algorithm and Data Structure for 3D Object Synthesis Using Surface Patch Intersections, *Computer Graphics*, 16(1982), 255—263.

MESSAGE—A SOLID MODELER WITH FREE-FORM SURFACE FACILITIES

FANG XIAOFEN GAO SHUMING PENG QUNSHENG

(CAD & CG National Lab., Zhejiang University, Hangzhou)

ABSTRACT

MESSAGE is a solid and surface modeling environment. It can deal with a wide range of surfaces such as quadric and rotational surfaces, generalized cylinders and free-form surfaces as well as any solid figure bounded by planar and curved surfaces mentioned above. Surface modeling and solid modeling are consistent in MESSAGE. The basic surface models of the system are bicubic rational B-spline surfaces. A number of operations on surfaces and solid objects are provided. Some important applications can be supported by MESSAGE.

Key words: Solid modeling; surface modeling; free-form surface; Boolean operation.