

几何造型系统与可视化系统的数据交换

Data Exchange between CAD System and Visualization System

李海生 牛文杰 杨 钦 陈其明

(北京航空航天大学机械学院 北京100085)

Abstract This paper presents the basic idea of data exchange between CAD system and visualization system which is designed and implemented. As a test, two complex modeling data of geometrical body are read into the visualization system by means of STL file and are triangulated successfully. The result of transferred geometrical body data from CAD system to visualization system is successfully used in analyzing and showing complicated data field and therefore extends the application fields of the visualization system.

Keywords STL file, Computer Aided-Design, Data exchange, Visualization, Tetrahedral mesh

问题的提出

科学计算可视化(Visualization in Scientific Computing, 简称为 VISC)是当前计算机学科的一个重要研究方向,它是为了高效地处理科学数据和解释科学数据而提出并形成的。它综合利用计算机图形图像技术将数据转换为图,利用人的视觉功能提高人类理解数据的能力。其主要应用领域为医学、地质勘探、计算流体力学、有限元分析、气象学和分子模型构造等^[1]。

本文所讨论的目标系统是一个数据场可视化系统,具有很强的网格剖分功能和图形显示功能,已成功应用于石油地质数据场的可视化,可以准确地描述地质构造和油藏分布。为拓宽本可视化系统(除非特别声明,以下简称可视化系统)的应用范围将其应用于机械零件的应力场和计算流体力学中的 CFD 流场的可视化,首先要解决的问题是几何形体的输入问题。自行开发一套几何造型系统所需费用昂贵且周期较长,而目前国内外比较成熟的三维造型软件,如 Autodesk 公司的 Mechanical Desktop(MDT)、美国 Parametric Technology 公司的 Pro-E、Unigraphics Solutions 公司的 SolidEdge 等,其接口均已标准化,因此,比较切实可行的方法是采用商品化的几何造型系统对机械零件进行造型,然后对可视化系统编制接口,将几何造型系统中构造的实体的几何信息输入到可视化系统中。

STL (Sterolithography) 文件格式是由美国 3D System 公司开发的,已被工业界认为是目前快速自动成型(Rapid Prototype)^[2]领域的准标准零件描述文件格式。它对三维实体描述的解释具有唯一性。几乎所有的几何造型系统都提供 STL 文件的输出功能。本文拟

为可视化系统提供一个基于 STL 文件的数据交换接口,从造型较强的 CAD 系统读入形体的几何数据,在可视化系统中进行四面体剖分,为数据场的分析和显示提供几何模型。

STL 文件的格式

STL 文件有两种存储格式——ASCII 和二进制表示,其内容为一系列用来逼近三维实体表面的三角面片信息——三角面片法矢的方向和三个顶点的几何坐标值。文件格式内含几种约定^[2,3]:

①面取向

由于这些三角面片定义的是三维实体的表面,所以每个三角面片同时也可看作是三维物体内部与表面的分界面,它的法矢始终朝外,它与三顶点连成的矢量方向构成右手法则,如图1所示。

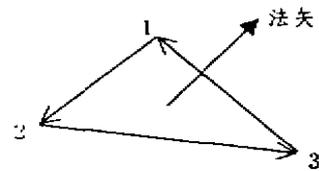


图 1

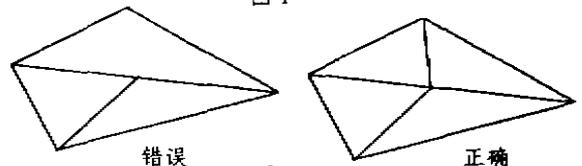


图 2

②顶点法则

每一个三角面片中必须有两个顶点与其相邻的三

李海生 博士研究生,研究方向为计算机图形学和科学计算可视化。

角面片共用,即一个三角面片中的顶点不能落在另一个三角面片的边上,如图2所示,列出了正、反两例。

③量纲

三角面片数据是无量纲的,各顶点坐标均必须是正数。

ASCII 码格式的 STL 文件结构为:

```

solid<name>
  facet normal Nx Ny Nz
    outer loop
      vertex V1x V1y V1z
      vertex V2x V2y V2z
      vertex V3x V3y V3z
    endloop
  endfacet
  .....
endsolid<name>

```

一个三角片
若干个三角片

格式说明如下:黑体字为关键字,由文件格式定义,均为小写; <name> 是该三维实体模型名称,在三维造型阶段由用户确立,此处并无意义; N_x, N_y, N_z 是该三角片的单位法矢三分量值; V_{ix}, V_{iy}, V_{iz} ($i=1, 2, 3$) 是三角片三个顶点的三维坐标值。

数据交换的实现

在可视化系统中,三维几何形体是用四面体集合(表示实体)、三角形集合(表示实体的面)、线段集合及点集合来描述的。这种描述方法的优点在于不仅可以精确地描述实体的表面和内部形状,还可以描述实体的物质特性(如重量、体积、材质等)。它广泛地应用于可视化、有限元分析等计算机辅助分析软件。

由于可视化系统在进行四面体剖分时要求的输入是受限点集合、受限线段集合和受限平面集合,因此,我们读入系统的 STL 文件不能直接作为四面体剖分的输入,必须要从 STL 文件中恢复出组成该实体的体(Shell),面(Face),环(Loop),边(Edge),点(Point)等几何、拓扑和形状信息,将这些信息转化为三个集合——受限点集合、受限线段集合和受限平面集合。下面,我们给出根据 STL 文件恢复出几何实体的边界面的实现算法:

①将 STL 文件中的所有三角形面片存入一个 pSet 链表中;

②对 pSet 链表中的所有三角形进行共面判断:计算两个三角形的法矢的叉乘,若叉乘的模小于给定误差 ϵ ,判断这两个三角形的法矢的方向是相同还是相反,若相同,判断两个三角形是否共面;

③将 pSet 中所有共面的三角形从 pSet 中删除,并将它们放入另一个链表 pAnotherSet 中, pAnotherSet 中的所有三角形就构成了 STL 文件所表示的实体上的一个面;

④判断 pAnotherSet 中的任意两个三角形中是否存在共边的情况;若存在,则说明该边为内部边,若不存在共边,则说明该边是面的边界。找出 pAnotherSet 中所有没有共边的三角形的边,则这些边就组成了该

面上实体的边界(表示成多边形集合来代表受限面,考虑到几何实体内部可能存在孔洞的情况,采用多边形集合来表示受限面)。

⑤如果 pSet 不空,继续从②开始执行,进行上述处理。

经过恢复边界面操作后,我们得到了由多边形集合所表示的几何实体的各个面,为了得到四面体剖分的输入数据,我们进行的剖分预处理工作,称之为规范化操作。规范化操作包括下列处理过程:

①几何实体的边界面就是四面体剖分的受限面,将几何实体的边界面存入受限面集合 pFaceSet 中;

②将每个受限面的各条边存入限定线段集合 pLineSet 中;

③删除限定线段集合 pLineSet 中重合的边;

④将限定线段集合中每个线段的顶点都记入限定点集合 pPointSet 中;

⑤删除限定点集合 pPointSet 中的重合的点。

此时得到的 pPointSet、pLineSet、pFaceSet 就可以作为可视化系统中网格剖分模块的输入来对几何实体进行四面体剖分,从而以 STL 文件为桥梁,实现几何造型系统和可视化系统之间的几何形体的数据交换。对于具有复杂曲面的几何实体,在 CAD 系统中也是采用比较小的三角面片来逼近其复杂形状的,所以我们在由 CAD 系统中输出 STL 文件时,可以通过命令控制设置生成的三角形的外接圆半径大小,得到适当数量的三角形。在可视化系统中恢复 STL 文件所表示的几何实体边界时,可以根据需要确定两三角形法矢叉乘的合适的误差值,从而较好地逼近曲面,采用该方法基本上可满足可视化系统的要求。

数据结构表示

在系统中设计了一个类 CSTLTriangleElement,用于记录从 STL 文件中读出的三角形面片的信息。

```

class EsSTLTriangleElement:public CBaseElement
{
public:
  CPoint3d Normal; //记录三角面片的法矢
  CPoint3d Vertex[3]; //记录三角形的三个顶点
  CPoint3d MaxPt,MinPt; //三角形的包围盒
};
Cpoint3d 类的定义
class Cpoint3d
{
public:
  double x,y,z; //点在三维空间中的坐标
  unsigned short m_iFlagOfPt; //点的标记
  double m_Attr; //点的属性
  ...;
public:
  void SetAttrValue(double v,int index=0); //设置属性值
  double GetAttr Value(int index=0); //取属性值
  ...;
};

```

构造一个包围该实体的凸包围盒,将边界面上的节点加到该凸包围盒中,实现以该凸包围盒为假想

(下转第93页)

点一致性条件(1)(定义3条件(1)),设 a 是 A_c 中的任一结点,若 $dc(a) = \Phi$,从 t_1 的 dl 构造方法知 $dl(f_{a_1}(a)) = \Phi$, $f_{a_1}(a)$ 是叶逻辑结点或者是未分解复合逻辑结点,一定满足逻辑结点分解条件;又 t_c 有效,则 a 有效,有 $a[T_{c_n}] \in T_{c_n}$, f_{a_1} 满足映射规则 R_{a_1} ,规则集 $R(a[T_{c_n}])$ 保证了 $f_{a_1}(a)[T_{c_n}] \in T_{c_n}$,故 $f_{a_1}(a)$ 有效, $f_{a_1}(a)$ 满足结点一致性条件(2)。若 $dc(a) \neq \Phi$, t_1 的 dl 构造方法保证 $f_{a_1}(a)$ 满足结点一致性条件(2)。已经证明对 A_c 中的任一结点 a , $f_{a_1}(a)$ 与 a 一致,结论成立。

对导出抽象逻辑结构图的有效性我们有下面的定理:

定理1 若抽象概念结构图有效,则它的导出抽象逻辑结构图定有效。

证明:设 $t_c = (A_c, dc)$ 表示抽象概念结构图, $t_1 = (A_1, dl)$ 表示 t_c 的导出抽象逻辑结构图。

首先证明 t_1 满足树条件,因 t_c 有效,则 t_c 满足树条件,导出抽象逻辑结构图的构造方法保证 t_1 与 t_c 同

构,所以当 t_c 满足树条件时定有 t_1 满足树条件。

由引理2,我们有 t_1 与 t_c 一致,即存在 $A_c \rightarrow A_1$ 的一一对一映射函数 f_{a_1} ,且对 A_c 中的每一个结点 a ,都有 $f_{a_1}(a)$ 与 a 一致。又 t_c 有效,即 A_c 中的每一个结点均有效,所以对 A_c 中的每一个结点 a ,都有 $f_{a_1}(a)$ 与 a 一致且 a 有效,由引理1得 $f_{a_1}(a)$ 有效, t_1 是 t_c 的导出抽象逻辑结构图, t_1 的构造方法保证 t_1 由 A_c 的 f_{a_1} 函数象集合所组成,即 $A_1 = \{f_{a_1}(a) | a \in A_c\}$,我们可以得出结论: t_1 中的所有结点有效。

由上面两步证明和定义2,我们有 t_1 有效,定理成立。

对抽象逻辑结构的图一致性,我们给出一个必要条件。

定理2 若导出抽象逻辑结构图 $t_1 = (A_1, dl)$ 与导出概念结构图 $t_c = (A_c, dc)$ 一致,则 t_1 中必含 t_c 的导出抽象逻辑结构图。

(下转第104页)

(上接第129页)

边界的初始三角化,最后追踪形体的边界,并删除形体实际边界外的四面体。初始四面体网格可以采用四面体外切球球心处加点的方法细化和拉普拉斯法光滑。其中边界棱边的节点必须一致,以确保拓扑相容;凸包三角化后边界追踪、网格细化、光滑等过程都由可视化

系统完成。图3、图4即为系统读入零件1的 STL 文件并经过转化后在可视化系统中得到的四面体网格和实体网格消隐图。图5、图6是系统读入零件2的 STL 文件所得到的表面网格和实体网格消隐图,可以看出采用这种方法对于复杂曲面仍可以得到较好的剖分结果。

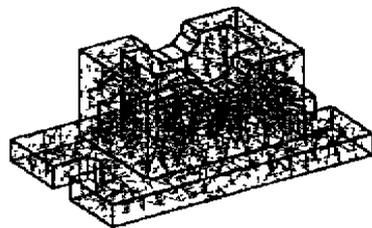


图3 零件1的四面体网格图

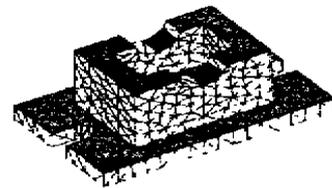


图4 零件1的实体网格消隐图

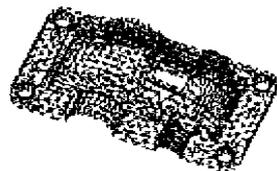


图5 零件2的表面网格图



图6 零件2的实体网格消隐图

结论 本文为可视化系统设计了一个基于 STL 文件的数据转换接口,充分利用了其它 CAD 系统的造型功能和可视化系统的三角网格剖分及图形显示功能,拓宽了可视化系统的应用领域。

参考文献

1 唐序圣,等.三维数据场可视化.清华大学出版社,1999

2 宗贵升.快速自动成型与制造——原理、技术和应用.北京隆源自动成型系统有限公司,1996
3 陈建文.三维规则数据场可视化技术研究:[北京航空航天大学硕士论文].1999
4 MDT 培训手册. Autodesk Inc 1997