

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.08.045

车身覆盖件 CAD 模型曲面缝合技术*

狄 驰¹ 田原嫫¹ 郑国君² 郭 威²

(1. 东北电力大学机械工程学院, 吉林 132012; 2. 吉林大学材料科学与工程学院, 长春 130025)

【摘要】 修复车身覆盖件 CAD 数据是有限元分析前处理中的重要步骤, 针对车身覆盖件 CAD 模型中曲面缝隙问题, 采用 NURBS 技术对曲面缝合加以研究, 通过管柱算法快速判定匹配边界, 以基于特征的曲线合并方法完成曲面缝合, 并开发出曲面缝合算法模块。通过对汽车翼子板零件的缝合验证了算法的有效性。

关键词: 车身覆盖件 几何模型 曲面缝合 管柱算法

中图分类号: TP391.72 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)08-0223-04

Healing Method of CAD Geometric Model for Automobile Panels

Di Chi¹ Tian Yuanyuan¹ Zheng Guojun² Guo Wei²

(1. College of Mechanical Engineering, Northeast Dianli University, Jilin 132012, China

2. College of Materials Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130025, China)

Abstract

Repairing of panel CAD geometric model is an important pre-processing step of the finite element analysis, and widely used in the computer-aided geometric design field. This paper focused on the surface healing method of panel CAD model, which was proposed and analyzed by NURBS technology. Firstly, matching-curves border was determined fast through the pipeline method, the surfaces were stitched by the matching-curves method with characteristics. On the basis of the algorithm, a surface stitching program module was developed. The validity of algorithm was verified by healing automobile front fender parts.

Key words Automobile panels, Geometric model, Surface healing, Pipeline method

引言

车身覆盖件 CAD 模型的几何形状比较复杂^[1], 常常在其设计及格式转换中产生一些数据错误, 较为常见的如 CAD 模型缺少完整的拓扑信息导致相邻实体在公共实体上可能存在不同函数表达, 在图形显示结果中就表现出实体不连续; 再如目前 CAD 模型的数据存储存在多种格式, 如 IGES、STEP、SAT 等, 这导致文件格式转换的模型重建过程中出现信息错误或者丢失问题。模型的数据存在错误会导致后续的数据处理, 如有限元网络的自动生成、模具工

艺设计等很难进行, 因此, 对覆盖件的 CAD 模型进行修复很重要。

目前对 CAD 模型的修复可以分为基于网格的数据修复^[2-3]和基于几何模型的数据修复^[4-8]两种方式。前者首先将覆盖件 CAD 模型进行有限元网格生成, 之后通过网格识别、节点合并等处理方式, 消除其中错误的网格数据, 最终生成符合有限元计算要求的网格模型, 但对 CAD 模型的修复作用不大。后者直接针对 CAD 模型, 修复其中的几何错误或者补足拓扑缺失^[5,7], 目前这一类方法的主要问题是修复前匹配实体的判断繁琐且复杂, 这也是本

收稿日期: 2009-07-01 修回日期: 2009-09-16

* 国家自然科学基金重点资助项目(19832020)和东北电力大学博士科研启动基金项目(BSJXM-200906)

作者简介: 狄驰, 副教授, 博士, 主要从事材料加工工程研究, E-mail: di.yichi@gmail.com

通讯作者: 郭威, 教授, 主要从事覆盖件板材冲压成型研究, E-mail: guowei@jlu.edu.cn

文主要解决的问题。

本文针对车身覆盖件 CAD 模型中最常见的曲面片间缝隙问题进行研究,讨论一种基于覆盖件 CAD 模型的快速曲面缝合方法。

1 基于几何模型的曲面缝合

曲面缝合的目的是为消除几何模型中错误信息以便于生成符合有限元计算使用的网格模型,同时建立几何模型的完整拓扑信息。根据几何模型的特性,基于几何模型的缝合曲面所采用的方法一般为:首先根据模型中各个曲面特征,判断出每个曲面的相邻曲面信息;之后将各个曲面的边界曲线一一离散,通过计算离散点距离大致估测曲线间距的方式来确定匹配曲线,然后再根据离散点相对情况判定匹配曲线的拓扑关系;最后通过合并匹配曲线的离散点,重新生成公共曲线的方式将曲面缝合在一起,消除曲面间缝隙^[4-8]。其过程如图 1 所示。这种缝合方式的不足在于,计算匹配曲线过程中要循环计算极大数量的离散点间距,以便依据给定的容差值判断曲线是否匹配以及匹配曲线的拓扑关系,处理简单模型尚可,面对车身覆盖件这种由上万曲面曲线构成的几何模型,计算效率不够理想。并且由于覆盖件几何模型具有复杂性,因此相邻曲面边界曲线离散点是否能够完全对应而不发生错位,给定的容差值能否满足所有匹配曲线判断要求,等等,都是亟待解决的问题,这些都不可避免的影响整体算法的效率,增大了误差产生的可能。

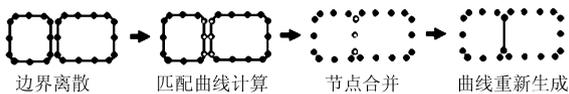


图 1 传统曲面缝合方法示意图

Fig. 1 Traditional healing method

基于上述考虑,若能够通过几何算法直接判定匹配曲线,然后再通过离散方式合并曲线(图 2),则整体算法更易于处理,效率也可以得到提升。

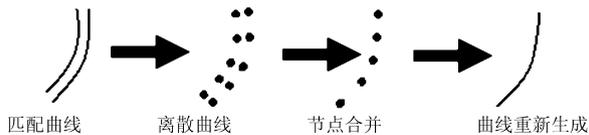


图 2 基于几何算法的曲面缝合方法

Fig. 2 Healing method based on the geometric method

2 匹配曲线搜索

匹配曲线的搜索是曲面缝合过程中关键步骤,确定了匹配曲线,也即确定了待缝合的曲面间缝隙位置。从几何特征看,两条曲线匹配的充要条件为:①两条曲线属于相邻的两个曲面。②两条曲线可能

处于相离、重叠或者相交状态。③两条曲线 Coedge 的方向相反,并且至少部分形态相似,曲线间距极小。根据这 3 个条件,可以判断两条曲线是否匹配。

根据条件①,可以首先判断几何模型的每个曲面的相邻曲面信息,对于当前曲面的每条边界曲线,仅需在当前曲面的相邻曲面中寻找相应的匹配曲线,这也就有效的减少了匹配曲线的搜索范围,提高了其搜索效率。相邻曲面的搜索较为简单,采用经典的包围盒算法即可。

根据条件②、③,搜索匹配曲线可表示为求解问题:已知当前曲线 l_1 及其所属曲面 S_0 、 S_0 的相邻曲面集合为 $\{S_i | 1 \leq i \leq n\}$,对于 S_i ,其所有边界曲线集合为 $\{l_{i,j} | 1 \leq j \leq m\}$,求解 a, b ,使得 $l_{a,b}$ 为 l_1 匹配曲线。

本文提出“管柱算法”予以求解,如图 3 所示,算法原理如下:

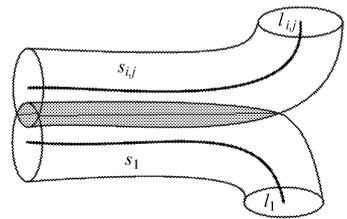


图 3 管柱算法示意图

Fig. 3 Pipeline method to judge the matching curves

首先从读入的几何模型数据可知 l_1 的 B 样条表达式为

$$p_1(u) = \sum_{i=0}^n d_i N_{i,k}(u) \quad (1)$$

式中 d_i ——控制顶点

$N_{i,k}(u)$ ——基函数, $u \in [0, 1]$

则以 l_1 始点为扫掠圆环圆心, ε 为半径, l_1 为脊线生成的管曲面 s_1 可表示为

$$d(x, p_1(u)) = \varepsilon \quad (x \in S_{s_1}, u \in [0, 1])$$

即
$$\begin{cases} (x - p_1(u))p_1'(u) = 0 \\ |x - p_1(u)| = \varepsilon \end{cases} \quad (u \in [0, 1]) \quad (2)$$

化简式(2),可得 s_1 表达式为

$$s_1(u, v) = p_1(u) + \varepsilon [\cos v N_1(u) + \sin v B_1(u)] \quad (u \in [0, 1], v \in [0, 2\pi]) \quad (3)$$

$N_1(u) = \frac{\dot{p}_1 \otimes \ddot{p}_1}{|\dot{p}_1 \otimes \ddot{p}_1|}$, $B_1(u) = \frac{\dot{p}_1 \otimes \ddot{p}_1}{|\dot{p}_1 \otimes \ddot{p}_1|} \otimes \frac{\dot{p}_1}{|\dot{p}_1|}$, 分别为 $p_1(u)$ 的主法向量和从法向量。

对曲线段 $l_{i,j}$ 进行同样处理,可获得其管柱面 $s_{i,j}(u, v)$ 方程表达式

$$s_{i,j}(u, v) = p_{i,j}(u) + \varepsilon [\cos v N_{i,j}(u) + \sin v B_{i,j}(u)] \quad (4)$$

联立式(3)和(4),即将参数曲面 $s_1(x(u, v), y(u, v), z(u, v))$ 代入式(4)中,只需判断其是否有

解即可。若有解,则可断定 l_1 与 $l_{i,j}$ 为匹配曲线,令 $a=i, b=j$,则问题获解。若无解,则令 $j=j+1$,若 $j=m$,则令 $i=i+1$,循环上述过程直至问题获解。

综上,匹配曲线搜索算法如下:

(1) 读取几何模型曲面信息。

(2) 若曲面信息正常,则其环(Loop)向依照右手原则为逆时针方向,以此方向依次取出边界曲线并将其赋予全局唯一 ID 值。

(3) 使用包围盒算法确定每个曲面的相邻曲面信息,并存放入各个曲面相邻曲面 vector 数据中。

(4) 对当前曲面的每条边界曲线与相邻曲面的边界曲线做管柱曲面并判断其是否有解。若有解,则可确定当前处理曲线的匹配曲线,中断当前循环,将两条确定为匹配的曲线各自标记保存并开始处理下一条曲线;若无解,则循环处理其余相邻曲面曲线,重复步骤(4),直到确定当前曲面所有曲线的匹配曲线;若边界曲线无匹配曲线则表明此曲线为几何模型的边界曲线。

(5) 循环处理步骤(4),直到完成所有曲面边界曲线匹配边判断。

一般来说,几何模型中大部分曲线匹配情况为完全匹配,即两条曲线段大致等长且形状相似,因此在进行管柱曲面求交之前,可首先判断当前两条曲线首末端点间距是否小于容差 Δ ,以有效减小搜索算法复杂度(图 4)。另外每条曲线的匹配曲线可能并非唯一,但是此时利用管柱算法仍然只需循环判断一次即可。

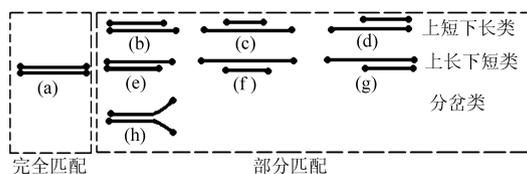


图 4 匹配边拓扑关系

Fig. 4 Topological matching relationship

3 基于特征的曲线合并

两条匹配边之间的关系如图 4 所示,其中上面曲线为当前处理曲线,下面曲线为其匹配曲线。在实际应用中,绝大部分待缝合的两条曲线为图 4 中 (a) 所示的完全匹配关系,少部分为图 4 中其他部分完全匹配(简称部分匹配)情况,而部分匹配关系可以进一步总结为两条匹配边为“T”型拓扑关系(图 5)。此时就必须由一条曲线的端点找到其在另一条曲线上的映射点(也



图 5 “T”型拓扑关系

Fig. 5 “T” type relationship

可称为匹配点),在匹配点处将曲线打断,将完全匹配部分合并为一条曲线,而剩余的不匹配部分再与其它匹配曲线合并,从而完成曲面缝合。

判断两条匹配边关系如下:若两条匹配边为 l_1 和 l_2 ,首末节点分别为 $A(x_1, y_1, z_1)$ 、 $B(x_2, y_2, z_2)$ 和 $C(x_3, y_3, z_3)$ 、 $D(x_4, y_4, z_4)$,因为两条匹配边的 Coedge 方向相反,因此,判断式为

$$l_{AD} = \sqrt{(x_1 - x_4)^2 + (y_1 - y_4)^2 + (z_1 - z_4)^2} \leq \varepsilon \tag{5}$$

$$l_{BC} = \sqrt{(x_2 - x_3)^2 + (y_2 - y_3)^2 + (z_2 - z_3)^2} \leq \varepsilon \tag{6}$$

若式(5)和(6)都成立,则可判断两条匹配边为完全匹配。若式(5)或者式(6)成立,则可判定两条匹配边为部分匹配,且属于图 4 中情况(b)、(d)、(e)、(g)或者(h),此时只需计算一个匹配点。若式(5)和式(6)均不成立,则可判定两条匹配边属于图 4 中情况(c)或者(f),此时需要计算出两个匹配点,并将匹配点所在的曲线打断为 3 段,分别合并。

4 实例

为验证算法的有效性,绘制方盒模型如图 6a,其中最长边 75.599 mm,最小边 32.786 mm,最大曲面缝隙 3.518 mm,因此,取容差参数 $\varepsilon = 4.00$ mm,经过曲线缝合之后,几何模型如图 6a 所示(模型显示利用 KMAS 的 CAD 系统平台)。为了充分显示本

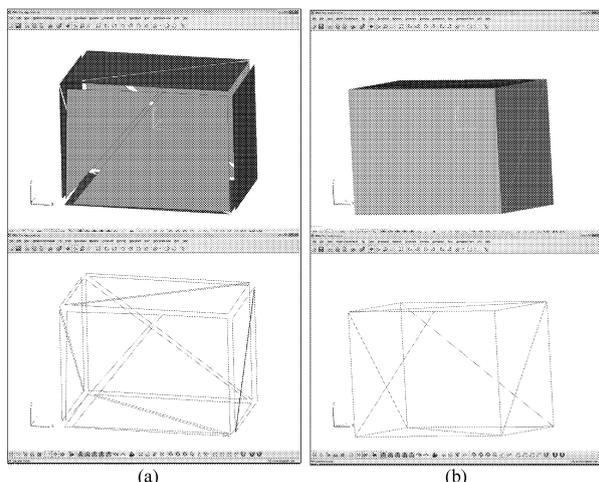


图 6 立方体模型曲面缝合结果

Fig. 6 Surface healing example of cube model

(a) 曲面缝合前 (b) 曲面缝合后

文算法效果,又取典型某车型车身覆盖件翼子板零件(图 7)予以缝合处理,缝合计算数据如表 1 所示。

5 结束语

车身覆盖件 CAD 模型中最常见数据错误为构

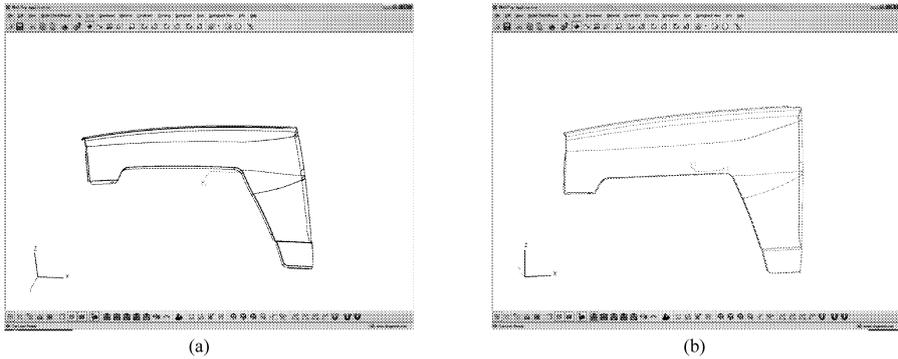


图7 翼子板零件模型缝合结果

Fig.7 Surface healing example of fender model

(a) 曲面缝合前 (b) 曲面缝合后

表1 缝合数据表

Tab.1 Healing process

几何模型	数据格式	缝合时间 /s	缝合状态	曲面数目	曲线数目	顶点数目
方盒	IGES	5.7	缝合前	12	37	37
			缝合后	12	18	9
翼子板	IGES	21.4	缝合前	97	356	287
			缝合后	97	317	225

成几何模型的曲面片间存在缝隙,这阻碍了对覆盖件模面设计的各项操作,同时也无法生成符合有限元计算需要的网格模型。讨论了一种基于CAD模型的快速曲面缝合方法,提出一种“管柱算法”快速判断曲面间匹配曲线,结合基于特征的曲线合并方法完成曲面缝合。在本文算法基础上开发出曲面缝合程序模块,通过汽车翼子板零件的成功缝合验证了算法的有效性。

参 考 文 献

- 1 龚科家,胡平. 汽车覆盖件模面设计中补充曲面的生成方法[J]. 吉林大学学报:工学版,2006,31(2):63~66.
Gong Kejia, Hu Ping. Method for generating additional surface in die face design of automotive panel[J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2006, 31(2):63~66. (in Chinese)
- 2 Mihailo R, Djordje B, Surya H. CAD-based triangulation of unordered data using trimmed NURBS models[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2000, 107(1):60~70.
- 3 Volpinf O, Sheffert A, Bercovier M, et al. Mesh simplification with smooth surface reconstruction[J]. Computer-Aided Design, 1998, 30(11):875~882.
- 4 Ribo R, Bugeda G, Onate E. Some algorithms to correct a geometry in order to create a finite element mesh[J]. Computers and Structures, 2002, 80(16):1399~1408.
- 5 Barequet G, Kumar S. Repairing CAD models[C]//Proceedings, IEEE Visualization '97, 1997:363~370.
- 6 Gill B, Micha S. Filling gaps in the boundary of a polyhedron[J]. Computer Aided Geometric Design, 1995, 12(2):207~229.
- 7 张苏,施法中. 多裁剪自由曲面的修补缝合功能的实现[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2005,17(4):699~703.
Zhang Su, Shi Fazhong. Repair and stitch in multiple trimmed free surfaces[J]. Journal of Computer Aided Design & Computer Graphics, 2005, 17(4):699~703. (in Chinese)
- 8 Barequet G. Using geometric hashing to repair CAD objects[J]. IEEE Journal of Computational Science and Engineering, 1997, 4(4):22~27.