

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2025.01.030

面向数字化工艺设计的 MBD 模型轻量化技术研究

李辉¹, 郑炜¹, 刘琦¹, 邓亚东², 崔海华³

(1. 中航西安飞机工业集团股份有限公司, 陕西 西安 710089;

2. 武汉开目信息技术股份有限公司, 湖北 武汉 430070;

3. 南京航空航天大学, 江苏 南京 210016)

摘要: 由于复杂三维产品模型中, 零部件产品模型数量庞大, 层次结构深, 结构关系复杂, 显示速度慢, 不利于工艺设计过程中对模型的浏览和引用。通过对三维数字化工艺设计模型的研究, 对 MBD 模型的构建进行定义, 采用自适应哈夫曼无损压缩算法对三维模型的数据信息进行压缩处理以达到 MBD 模型的轻量化, 使数据占用内存空间小、传输快, 适应数字化工艺设计应用的要求。

关键词: MBD 技术; 自适应哈夫曼无损压缩算法; MBD 模型轻量化

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5276(2025)01-0143-03

Research on Lightweight Technology of MBD Model Oriented to Digital Process Design

LI Hui¹, ZHENG Wei¹, LIU Qi¹, DENG Yadong², CUI Haihua³

(1. China Aviation Industry Xi'an Aircraft Industry (Group) Co., Ltd., Xi'an 710089, China;

2. Wuhan Kaimu Information Technology Co., Ltd., Wuhan 430070, China;

3. Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: In the complex three-dimensional product model, it is not conducive to browsing and referencing the model in the process of process design due to huge number of component product models, deep hierarchical structure, complex structural relationship and slow display speed. The research on the three-dimensional digital process design model is carried out to define the construction of the MBD model, and with the Adaptive Huffman lossless compression algorithm, the data information of the three-dimensional model is compressed and processed to achieve the lightweight of the MBD model, so that the data takes up less memory space and transfers fast, which meets the requirements of digital process design application.

Keywords: MBD technique; adaptive Huffman loss-free compression algorithm; lightweight of MBD model

0 引言

MBD(model-based-definition)是采用集成的三维实体模型来准确、规范、完整有效地表达产品定义信息的方法^[1]。在产品的数字化定义中,以三维产品数模为基础,集成了尺寸标注、公差要求、加工制造要求、检验要求等特征信息,在取消二维图样工程定义的情况下,实现对产品特征描述、共享,以满足数字化制造信息直接传递的需求。MBD 技术可有效地关联设计、制造、检验等工程特征,并将蕴涵于其中的知识通过标准的数字化方式表达。

1 MBD 模型的构建

MBD 技术是以三维模型为载体把产品定义的信息进行详细呈现,包括三维实体模型中产品的定义、公差的标注规则、工艺信息的表示形式等。三维 CAD 产品模型是基于单个零件到子装配体,再到总装配体逐渐搭建起来的,其结构显示为树状结构,如图 1 所示。一个完整 MBD 模型在发布时要包含 MBD 数据集的管理信息、产品制造和检验信息^[2]。

MBD 模型的表达方式可分为两种,一种为实体模型,另一种为网格模型。

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFB17075001)

第一作者简介: 李辉(1980—),男,陕西西安人,高级工程师,本科,研究方向为数字化装配工艺设计和数据管理,30038694@qq.com。

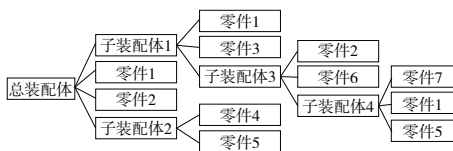


图1 装配体实例

1) 实体模型

实体模型可以分为边界表示法 (boundary representation, B-Rep)、构造实体几何法 (construction solid geometry, CSG) 和扫描法 3 大类表示方法。大多数三维 CAD 系统 (Pro/E、UG、Catia、Inventor 等) 建立的三维模型都为实体模型。

2) 网格模型

网格模型是一种采用大量多边形面片来逼近物体几何形状的非精确模型表达方法。网格模型存在多种文件格式,如 STL、VRML、PLY、OBJ 等,其中最常见的是 3DSystems 公司推出并加以推广的 STL 文件格式。STL 文件以三角面片的形式来描述模型的几何形状,每个三角面片记录了三角形的法矢以及三角形顶点的位置坐标。

2 MBD 模型数据信息的获取及提取

2.1 MBD 模型数据信息获取

XML (extensible markup language) 是一种简单的可扩展标记语言,可进行不同数据格式之间的互操作^[3]。XML 可用于描述数据和数据结构,在任意两个标准模式的应用系统间进行数据交换和信息传递,且各系统接收数据信息后又可根据需要自行处理。本文基于 XML 的优势,把 MBD 模型以轻量化模型文件格式 (.hsf) 保存后,将其转化为 XML 语言,完成 MBD 模型数据信息的获取。MBD 模型数据获取流程如图 2 所示。

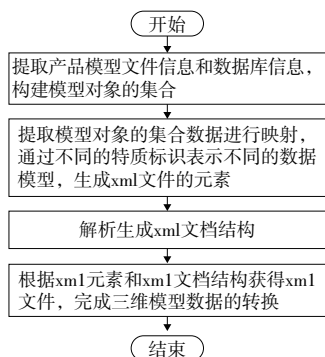


图2 MBD 模型数据获取流程图

2.2 MBD 模型的数据压缩

数据压缩算法有两种,无损压缩和有损压缩。

无损压缩算法占用的内存空间大,压缩比不高,但它却能百分之百保存原始信息,完全不受信号源影响,用尽可能少的比特率来表示三维模型的几何信息。有损压缩算法在压缩的过程中,会导致部分信息的丢失。因此,本文选择自适应哈夫曼^[4] (Adaptive Huffman) 无损压缩算法对三维模型的数据信息进行压缩处理。在压缩、解压缩过程中,不仅涉及到字符串重复查找其判断字符、编码树的构造,还涉及到编码、解码相关过程,以二进制的“0”、“1”形式存储数据,达到数据占用存储空间小且轻量化传输快的目的。整体思路框图如图 3 所示。

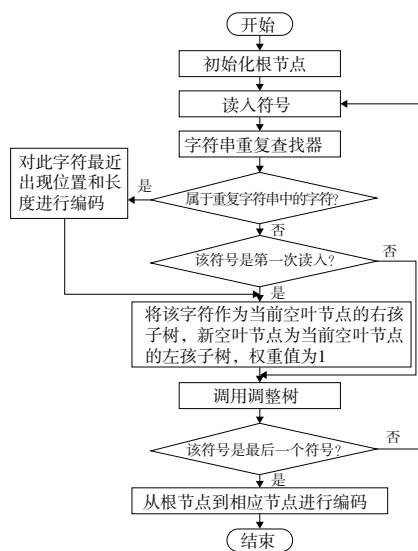


图3 改进的自适应哈夫曼编码过程流程图

3 MBD 模型轻量化方法设计

3.1 模型轻量化设计方案

MBD 模型轻量化与应用技术思路如图 4 所示。首先分析三维 CAD 模型中各种不同类别特征信息的结构性冗余,然后对冗余特征进行针对性的模型等效转换或按给定精度进行几何逼近计算、模型编码与压缩,最后将编码压缩模型文件按渐进传输方式进行分类打包及远程传输,并在客户端进行模型解码及重构。重构后的轻量化模型被计算机辅助工艺设计系统 (CAPP) 中的各设计、分析应用工具使用。

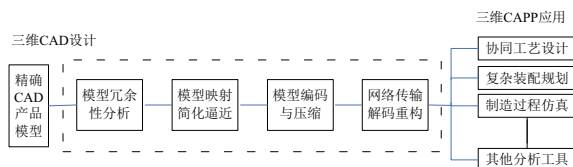


图4 MBD 模型轻量化与应用技术路线

3.2 轻量化模型的实现

1) 三维模型信息冗余分析

为解决装配体中的数据冗余问题,分别用不同文件记录装配信息、零件显示与几何信息。装配体以装配信息为主,零件以实现产品快速浏览的几何模型显示数据为主,以实现几何信息精确查询的几何数据为辅。文件结构关系如图5所示。

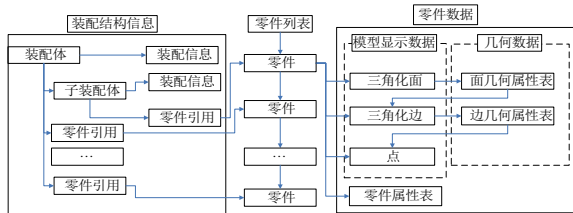


图5 轻量化文件数据结构

2) 显示数据压缩技术

显示数据中对三角面片记录信息进行了数据

压缩,数据压缩方法采用当前流行的带状数据压缩和扇形数据压缩方法混合表示。在轻量化文件中,为了实现图6所示的三角化面片的数据表示,以零件的几何信息为基础,对三角面片的数据以不同的数据格式压缩。如图7(a)所示的零件,在三角化之后总共有9892个三角面片(图7(b)),其中带状三角面片表示的有7224个(图7(c)),占据三角面片总数的73%,扇形三角面片表示的有1475个三角片(图7(d)),难以简化的有1193个独立的三角面片(图7(e))。

法矢列表	点列表	面列表			
N_1	P_1	带状三角面片列表	I_1	I_2	...
N_2	P_2	扇形三角面片列表	J_1	J_2	...
...	...	独立三角面片列表	D_1	D_2	...
N_k	P_n				

图6 三角面片压缩数据表示

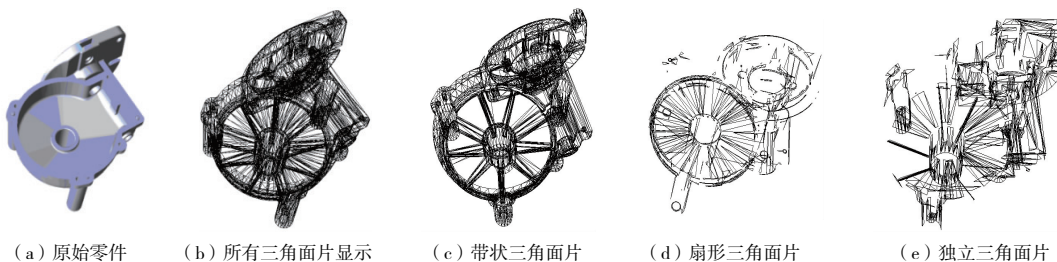


图7 数据压缩示例

3) 显示数据的细节层次 (levels of detail, LOD) 技术

为了提高产品数据的显示性能,在三角面片数据中采用多分辨率表示,方便数据的快速显示,减少加载等待时间,同时也方便对轻量化模型的快速旋转、查看。

4 轻量化模型的生成

根据本文基于MBD模型轻量化技术研究内容,利用三维CAD系统提供的二次开发工具以实现当前所有流行三维软件的轻量化文件生成接口。通过分析MBD模型中各种不同类别特征信息的结构性冗余,然后对冗余特征进行针对性的模型等效转换或按给定精度进行几何逼近计算,模型编码与压缩,生成轻量化模型。轻量化输出的文件包含结构化信息文件以及非结构化文件。其中结构化文件中包含零件模型的属性、位置信息、零部件的层级关系、连接定义模型的节点以及

位置信息、MBD信息等。非结构化文件包括模型几何特征、装配特征、产品制造信息。

轻量化模型生成具体流程如图8所示。



图8 轻量化模型生成流程

5 轻量化模型验证

通过工艺设计软件,将轻量化模型特征与原

(下转第157页)

同时引入莱维飞行机制对金枪鱼个体位置进行更新迭代,与其他 3 种算法的仿真对比表明:改进金枪鱼群算法在光照突变到局部阴影的情况下能够跳出局部最优点,找到系统的最大功率点,使系统的鲁棒性更好,实现更高的能量转换率。

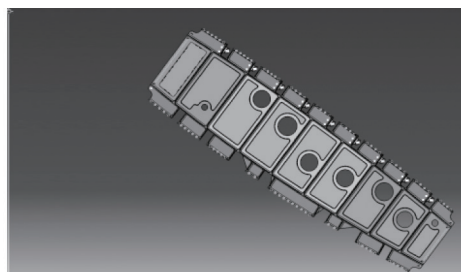
参考文献:

- [1] 肖佳,梅琦,黄晓琪,等.“双碳”目标下我国光伏发电技术现状与发展趋势[J].天然气技术与经济,2022,16(5):64-69.
- [2] 郭世初,尹航帅,刘冬冬.基于扰动观察法的光伏电池 MPPT 控制算法优化[J].无线互联科技,2022,19(21):152-155.
- [3] XIE L, HAN T, ZHOU H, et al. Tuna swarm optimization: a novel swarm-based metaheuristic algorithm for global optimization [J]. Computational Intelligence and Neuroscience, 2021; 9210050.
- [4] 王豪,王宏华.基于改进 PSO 的局部阴影下光伏阵列 MPPT 控制[J].机械制造与自动化,2020,49(1):198-201.
- [5] 朱煜伟,刘梁挺.光伏电池输出特性及 MPPT 仿真[J].电子制作,2022,30(19):73-76.
- [6] 郭强,李红霞,李玉晓.基于改进粒子群算法的数控加工参数优化研究[J].机械制造与自动化,2021,50(3):132-135.
- [7] 李涵,李文敬.混合策略改进的金枪鱼群优化算法[J].广西科学,2023,30(1):208-218.
- [8] 党克,李鹏举,刘闯.基于变步长天牛须搜索算法的光伏系统 MPPT 控制研究[J].吉林电力,2019,47(5):27-31,36.
- [9] 梁田,曹德欣.基于莱维飞行的改进简化粒子群算法[J].计算机工程与应用,2021,57(20):188-196.
- [10] FU C X, ZHANG L X. A novel method based on tuna swarm algorithm under complex partial shading conditions in PV system [J]. Solar Energy, 2022, 248: 28-40.

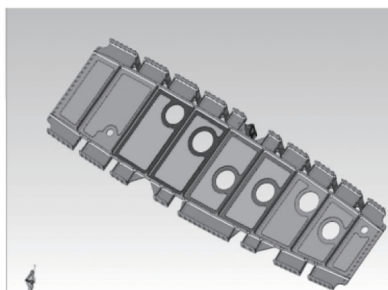
收稿日期:2023-10-25

(上接第 145 页)

始 MBD 模型的特征进行对比。验证表明轻量化模型中的连接关系、孔位属性、工程注释、模型属性定义、模型审签等信息,与 MBD 模型信息完全一致。轻量化模型数据为原模型大小的 7% 左右,满足了数字化工艺设计与仿真需求,如图 9 所示。



原始MBD模型



轻量化模型

图 9 基于 MBD 模型的轻量化处理

6 结语

本文针对 MBD 模型数据进行轻量化处理,对提取算法和压缩算法进行了研究并设计了数据轻量化硬件结构。采用改进的自适应哈夫曼压缩算法压缩数据,达到数据轻量化的目的,完成基于 MBD 模型轻量化处理和轻量化模型的生成,从而达到模型文件体积小、读取速度快、节约内存并在工艺设计过程中可快速浏览及应用的目的。

参考文献:

- [1] 周秋忠,范玉青.MBD 技术在飞机制造中的应用[J].航空维修与工程,2008(3):55-57.
- [2] 顾黎,李澍,王哲,等.面向重用的 MBD 模型本体知识库构建技术研究[J].航空制造技术,2017,60(18):100-105.
- [3] 罗爱民,殷国富,魏万迎,等.基于 Hausdorff 距离区域生长的缺陷边缘重建方法[J].机械工程学报,2007,43(4):132-137.
- [4] 董可静,陈伟,万渝,等.基于 Windchill 的三维装配大纲编辑及流程控制技术研究[J].机械制造与自动化,2022,51(4):152-156.

收稿日期:2023-05-26