

面向重用的 MBD 模型本体知识库构建技术研究

顾 黎,李 澍,王 哲,郭逸婧,周 培

(北京宇航系统工程研究所,北京 100076)

[摘要] 航空领域产生的大量历史 MBD 模型数据,具有很高的重用价值。构建规范化的模型存储数据结构是模型重用中需要解决的首要问题,研究了 MBD 模型数据的组织形式,以本体技术作为模型类型划分和属性信息的知识表示方法,设计了一种集合几何信息与非几何信息的本体数据结构。基于该数据形式将历史模型数据存储为结构化的本体知识库,通过模型关键信息检索试验验证了该技术的可行性,为海量模型数据重用奠定基础。

关键词: MBD; 知识表示; 本体; 重用

Research on Construct Technology of MBD Model Ontology Knowledge Base oriented to Reuse

GU Li, LI Shu, WANG Zhe, GUO Yijing, ZHOU Pei

(Beijing Institute of Astronautical Systems Engineering, Beijing 100076, China)

[ABSTRACT] There are many history MBD models in aviation enterprises, which have great reuse value. It is the key problem to construct normalized model storage data structure in model reuse, we researched on the organizational form of MBD model data, used ontology technology as knowledge expression form of model type division and attribute information, designed ontology data structure including both geometry and non-geometry information. Based on this kind of data form, We transform history model data into structural ontology knowledge base and verify technical feasibility by retrieval of model key information, make preparation for magnanimity model data reuse.

Keywords: MBD; Knowledge expression; Ontology; Reuse

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2017.18.100

随着制造加工技术的不断进步和数字化建模技术的广泛应用,以航空航天为代表的大型装备制造业逐渐采用了基于模型定义 MBD (Model Based Definition) 的全三维数字化设计制造方法^[1]。例如,波音公司在其 737-NX 项目应用 MBD 技术,使其研制周期缩短了 50%,设计更改减少了一半,综合成本降低了 25%,且产品更加满足用户需求^[2]。我国的 MBD 全三维数字化设计在各大企业中广泛应用,不断提出和改进基于三维 CAD 软件的全三维数字化设计规范,尤其在航空航天领域内的应用水平较高,正在逐步打通整个数字化设计制造的数据链。在实际应用过程中,随着时间的积累,企业构建的 MBD 模型变得越来越多,这些数据信息是大量设计研发人员智慧和知识的结晶,其中包含了大量可重用知识信息,如何对这些知识资源进行有效利用,使新产品开发周期更短、成本更节约,全面提高产品构建质量和效率,成为一个亟待解决的问题^[3]。

为了能够搜索到真正适合重用的三维 CAD 模型,

国内外很多学者对面向模型重用的三维 CAD 模型检索算法进行了研究。Li 等^[4]首先利用 CAD 模型构造特征依赖有向无环图,实现了 CAD 模型全局和局部检索; Zehtaban 和 Roller^[5]基于成组技术提出了一种智能的 CAD 模型检索方法,利用形状编码作为 CAD 模型的描述,根据用户输入的成组码进行检索; 张汝珍和周雄辉^[6]提出了一种集成产品信息模型的设计资源检索算法,通过模型的功能、属性信息实现快速检索。这些模型重用方法大多面向传统三维 CAD 模型,只考虑了 CAD 模型的几何信息,有些虽然考虑了模型的非几何信息,但只是将非几何信息作为预筛选条件,而 MBD 模型的几何信息和非几何信息是相互关联的,因而不能完全体现非几何信息的双重价值。同时,这些方法对传统 CAD 模型进行了结构化表示,但没有建立面向集成了几何和非几何全部信息的 MBD 模型,同时也未对这些结构化信息进行规范化、易利用的存储和组织。

近年来,本体技术在 CAD 领域内的应用非常广泛,

可更有效地重用 MBD 模型资源,本文利用本体对 MBD 历史模型进行有效的知识存储与表达,主要分析了 MBD 数据集中几何信息与非几何信息的组织形式,构建 MBD 模型领域本体结构,对本体类间层次结构及属性(数据属性与对象属性)进行描述,实现 MBD 模型知识信息的本体表示,将 MBD 历史模型数据存储为 MBD 模型本体知识库,为 MBD 模型知识重用奠定基础。

1 本体技术

人们从不同的角度和方面对本体的概念进行了定义,Gruber^[7]通过对本体深入的研究,指出“本体是概念模型的明确的规范说明”,这是目前最著名、被引用最广的定义,它主要包括 4 个方面的含义:概念化、明确化、形式化和共享。其可用五元组的形式来表示:DO=(C,R,P,I,H)。式中,DO 为领域本体;C 表示领域内所包含的概念集合;R 表示概念之间的关系,包括整体与部分、继承以及实例关系等;P 表示属性的集合,用来描述概念本身;I 表示概念 C 的实例集合;H 为概念间的层次结构关系,是对概念集的一个领域划分。

2 MBD 模型信息组织形式

MBD 数据集提供了完整的零件或产品信息,集成了以往分散在设计文档和工程图纸中所有的设计和制造信息,作为一个完整 MBD 数据集在进行发布时要包含 MBD 数据集的管理信息、产品制造和检验信息。

2.1 几何数据组织形式

MBD 模型的几何数据,不仅包括描述自身实体模型信息,即模型本身的几何元素信息,还包括了关联设计信息(外部参考),如图 1 所示。

在机械工程领域中,许多学者将特征作为 CAD 模型基本的语义描述符,将其作为描述设计模型的最小单元,充分体现模型中所包含的设计知识,同时,在 MBD 模型中,模型特征通常和制造语义信息相互关联,故本

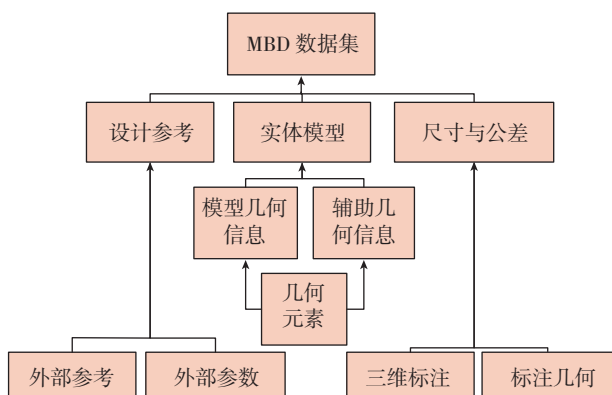


图1 MBD模型几何数据集组成元素
Fig.1 MBD geometry dataset component

文后续将通过基于特征的模型表示方法进行 MBD 模型几何元素信息描述^[8-9]。

尺寸公差信息通常与 MBD 模型特征产生关联关系,通过标注几何或三维标注的形式来实现,图 2 为某 MBD 模型尺寸公差信息标注形式。

2.2 非几何数据组织形式

MBD 数据集是高度集成的产品定义集合,不仅包括了上述提到的几何集数据信息,还包含制造要求和设计要求信息,同时,还应包含产品数据管理系统接口信息以方便数据管理的控制要求^[10]。这些非几何信息,主要通过 MBD 数据集中的工程注释项来表达,工程注释同时在 CAD 系统以及产品数据管理的产品多值属性定义栏环境中定义,图 3 即为某 MBD 模型工程注释信息组织形式,一般分为 Standard Notes (标准说明)、Part Notes (零件注释)、Annotation Notes (标注说明)和 Material Description (材料描述)。

3 MBD 模型本体构建

3.1 MBD模型本体骨架结构

MBD 模型区别于传统的三维 CAD 模型,除了具有几何特征信息,还包含了三维标注信息与工程注释信息,在领域本体结构构建的过程中,需要完整表达上述信息^[11];同时,本体构建以 MBD 模型重用为目的,构建过程应根据可重用信息来构建本体中的类及属性信息。因此,在本体构建过程中,根据波音公司提出的 MBD 数据集规范性定义要求^[12],进行本体类的骨架结

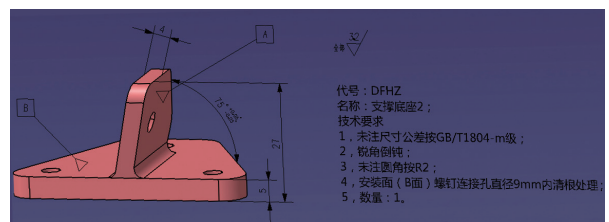


图2 MBD模型尺寸公差信息
Fig.2 MBD model dimensional tolerance

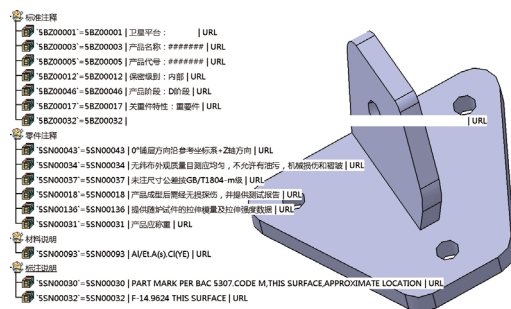


图3 MBD模型工程注释信息
Fig.3 Part MBD dataset

构设计,抽象出 MBD-Model (MBD 模型)类为父类,构建了 Geometry-Features (几何特征)类为子类,用来描述 MBD 模型的实体模型信息和尺寸与公差等信息。Engineering-Notes (工程注释)为另一个子类,描述工程注释信息。

3.2 基于草图的特征

在对 MBD 模型几何信息进行表达时,本文将特征作为信息描述符,因为其可以精确传递特征参数信息,保留设计人员设计意图和设计历史,反映 MBD 模型高层语义信息,具有较高的重用价值。本文的 MBD 模型数据均由 CATIA 系统创建,参考了其对于特征的定义和分类,构建了 Geometry-Features 类的子类结构及其属性。

基于草图的特征是模型所有特征中的重要组成部分,本文重点抽取了 5 类常见特征作为研究对象,包括 Pad (凸台)、Pocket (凹槽)、Shaft (旋转体)、Stiffener (加强筋)和 Hole (孔),进行本体类概念层次关系构建,如图 4 所示。

对于 Pad 和 Pocket 类特征,以 Pad 类为例进行具体说明。按照草图是否为规则图形,将 Pad 类分为 Regular-Pad (规则草图)和 Irregular-Pad (不规则草图)两个子类;对于 Regular-Pad 类,又细分为 Rectangle-Sketch-Pad (矩形草图)、Circle-Sketch-Pad (圆形草图)和 Hexagon-Sketch-Pad (正六边形草图)3 类,定义了相关数据属性如图 4 所示。

对于 Irregular-Pad 类,特征几何信息无法通过统一属性来描述,为此,采用 D2 形状描述子对特征形状信息进行描述^[13](用 n 维向量 $\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 来记录形状描述曲线),对于特征几何尺寸信息,采用最小包围盒 OBB 来描述,通过特征的形状和几何尺寸信息来表达特征的几何信息。

对于 Shaft 和 Stiffener 类,同样可以通过 D2 形状描述子和最小包围方盒来描述。

对于 Hole 类,将其分为 Simple-Hole (简单孔)与 Complex-Hole (复杂孔)。对于 Simple-Hole 类,具有 has-Holedepth (孔深度)和 has-Holediameter (孔直径)两个属性;对于 Complex-Hole,以 Counterbored-Hole (沉头孔)为例,具有 has-Boreddiameter (沉头直径)、has-Boredddepth (沉头深度)、has-holediameter (孔直径)、has-holedepth (孔深度)4 个属性。

MBD 模型中的上述特征类型,通常还标注有公差/表面粗糙度信息,为此还构建了 has-Toleranceclass (公差等级)和 has-Surface Roughness (表面粗糙度)两个公共数据属性来实现上述信息的描述。

3.3 修饰特征

修饰特征作为另一类重要特征类型,本文提取了 Edge Fillet (倒圆角)、Chamfer (倒角)和 Draft Angle (拔模特征)3 种常见类型(对于 Draft Angle 类,通过 D2 形状描述子和最小包围方盒来描述),类及其自身描述属性如图 5 所示。

3.4 个体间关系定义

在完成几何特征自身信息描述的基础上,还需要对特征间的拓扑关系进行描述,才能完成 MBD 模型几何信息表达。本文通过特征依赖关系来表达特征间的拓扑结构,定义了 has-Dependence (依赖于)对象属性(又称关系)表示两特征之间的依赖关系,如图 7 所示。

图 7 中长方形凸台特征 F_2 是在已有的圆形凸台特征 F_1 基础上以 F_1 的上表面为草图平面建立而成,故称特征 F_2 依赖于特征 F_1 ;这种特征间的依赖关系,可以通过我们定义的 has-Dependence 对象属性在本体结构中进行描述。

至此,完成了特征本体分类,特征类型属性和特征间关系定义,实现了 MBD 模型几何信息本体建模。后续在应用过程中,可通过二次开发,获取 MBD 模型的几何特征信息,将每一个特征实例化为本体结构中的一个个体,为个体进行属性赋值,建立个体间关系,实现该模型的本体表示。如图 8、9 为某 MBD 模型的几何信息通过几何特征本体结构来表达。

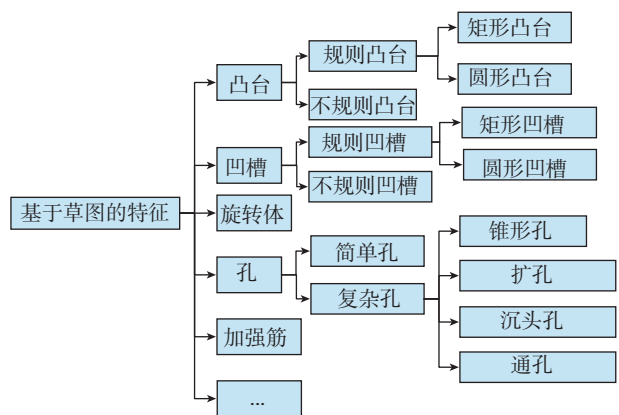


图4 基于草图的特征本体分类及数据属性
Fig.4 Sketch-based feature ontology type and data property

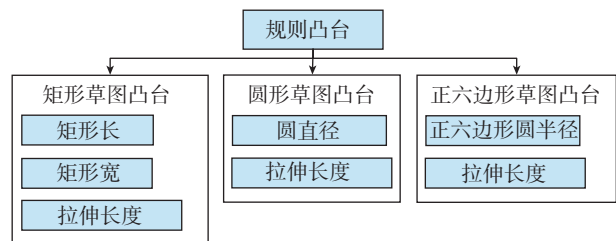


图5 规则草图凸台特征数据属性
Fig.5 Regular-sketch-pad ontology type and data property

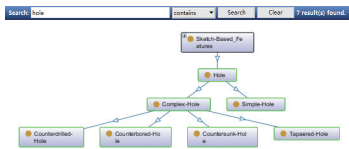


图13 基于关键词的本体结构搜索

Fig.13 Ontology structure search using key words

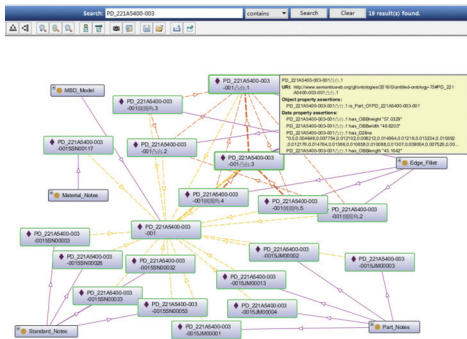


图14 基于关键词的本体知识信息搜索

Fig.14 Ontology knowledge search using key words

识库中记录了MBD模型中各种信息之间的关联关系,在后续研究中可进行知识推理,为今后MBD模型构建提供设计依据,实现设计重用。

参考文献

- [1] ALEMANNI M, DESTEFANIS F, VEZZETTI E. Model-based definition design in product lifecycle management scenario[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2011, 52(1-4): 1-14.
- [2] 冯潼能, 王铮阳, 孟静晖. MBD技术在数字化协同制造中的应用与展望[J]. 南京航空航天大学学报, 2012, 44(S1): 132-137.
FENG Tongneng, WANG Zhengyang, MENG Jinghui. Application and development of MBD in digital collaborate manufacturing[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2012, 44(S1): 132-137.
- [3] 王宏, 于勇, 印璞, 等. 基于关联规则的MBD数据集定义研究与实现[J]. 北京航空航天大学学报, 2015, 41(12): 2377-2383.
WANG Hong, YU Yong, YIN Pu, et al. Research and implementation of MBD dataset definition based on association rules[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2015, 41(12): 2377-2383.
- [4] LI M, FUH J Y H, ZHANG Y F, et al. General and partial shape matching approaches on feature-based CAD models to support efficient part retrieval[J]. ASME, 2008.
- [5] ZEHTABAN L, Roller D. Beyond similarity comparison: intelligent data retrieval for CAD/CAM designs[J]. Computer Aided Design and Application, 2013, 10(5): 789-802.
- [6] 张汝珍, 周雄辉. 基于集成产品信息模型的设计资源检索算法[J]. 上海交通大学学报, 2007, 41(8): 1248-1251.
ZHANG Ruzhen, ZHOU Xionghui. A design resource retrieval algorithm based on integrated product information model[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2007, 41(8): 1248-1251.
- [7] GRUBER T R. A translation approach to portable ontology specifications[J]. Knowledge Acquisitions, 1993, 5(2): 199-220.
- [8] 秦飞巍. 基于语义的异构三维CAD模型检索[D]. 杭州: 浙江大学, 2014.

QIN Feiwei. Semantic based retrieval for heterogeneous 3D CAD models[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014.

[9] LI Z, ANDERSON D C, RAMAINI K. Ontology-based design knowledge modeling for product retrieval[C]//Proceedings of ICED 2005: International conference on engineering design: Engineering design & the global economy. The Institution of Engineers Australia, 2005.

[10] 姜红明, 张丰华, 吴慧杰. MBD技术实施研究[J]. 制造业自动化, 2012, 34(23): 1-3.

JIANG Hongming, ZHANG Fenghua, WU Huijie. Research on putting MBD technology in practice[J]. Manufacturing Automation, 2012, 34(23): 1-3.

[11] BARBAU R, KRIMA S, RACHURI S, et al. OntoSTEP: enriching product model data using ontologies[J]. Computer-Aided Design, 2012, 44(6): 575-590.

[12] 范玉青. 基于模型定义技术及其实施[J]. 航空制造技术, 2012(6): 42-47.

FAN Yuqing. Model based definition technology and its practices[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2012(6): 42-47.

[13] OSADA R, FUNKHOUSER T, CHAZELLE B, et al. Shape distribution[J]. ACM Transactions on Graph, 2002, 21(4): 807-832.

通讯作者: 顾黎, 硕士、工程师, 研究方向为MBD技术数字化仿真,

E-mail: guli443490169@163.com.

(责编 铃兰)

(上接第99页)

CAO Zengqiang. Key assembly technologies of composite structures in developing new aircraft[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2009(15): 40-42.

[4] 刘风雷, 刘丹, 刘建光. 复合材料结构用紧固件及机械连接技术[J]. 航空制造技术, 2012(1/2): 102-111.

LIU Fenglei, LIU Dan, LIU Jianguang. Fastener and mechanical joining technology for composites structure[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2012(1/2): 102-111.

[5] 冯东格, 曹增强. 电磁铆接和锤铆接质量对比分析[J]. 锻压技术, 2012, 37(3): 123-126.

FENG Dongge, CAO Zengqiang. Quality comparing analysis of electromagnetic riveting and pneumatic riveting[J]. Forging & Stamping Technology, 2012, 37(3): 123-126.

[6] 腾云浩. 碳纤维材料构件微缺陷超声波评价系统研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2017.

TENG Yunhao. A research on ultrasonic evaluation system of material defects in carbon fiber reinforced polymer[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2017.

[7] 《航空制造工程手册》总编委会. 航空制造工程手册[M]. 北京: 航空工业出版社, 1993.

The Editorial Board of the Aeronautical Manufacturing Engineering Handbook. Aeronautical manufacturing engineering manual[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 1993.

[8] 邓将华, 李春峰, 于海平, 等. 电磁铆接式样质量分析[J]. 塑性工程学报, 2010, 17(4): 144-147.

DENG Jianghua, LI Chunfeng, YU Haiping, et al. Quality analysis of electromagnetic riveting sample[J]. Journal of Plasticity Engineering, 2010, 17(4): 144-147.

通讯作者: 李静, 硕士、工程师, 研究方向为先进制造技术, E-mail:

lijingmessi@163.com.

(责编 铃兰)