

基于多域集成映射的飞机部件及其夹具模型

徐开元^{1,2}, 曲蓉霞¹, 王健熙³

(1. 东北大学 流程工业综合自动化国家重点实验室, 辽宁 沈阳 110819;

2. 东北大学 机械工程与自动化学院, 辽宁 沈阳 110819;

3. 中国人民解放军驻沈阳黎明航空发动机公司军事代表室, 辽宁 沈阳 110043)

摘 要: 面向装配信息数据表达与飞机零部件装配夹具协同设计问题, 阐述了飞机装配对象及其夹具多域集成建模过程, 该建模过程给出了多域集成模型的知识框架。其次, 定义各领域信息构成, 全面系统地描述了装配工艺规划的所有数据。提出了装配对象与装配夹具之间互映射机理, 详细阐述了互映射过程中所需的4个关键知识点。最后以翼尖小翼为实例, 证明建模方法的可行性与有效性, 使夹具设计更加系统化, 提高了飞机结构、装配工艺规划和工装设计的协同设计效率和响应速度。

关 键 词: 飞机装配夹具设计; 特征建模; 翼尖小翼; 多域集成映射

中图分类号: V 261

文献标志码: A

文章编号: 1005-3026(2015)05-0704-05

Aircraft Part and Its Assembly Fixture Model Based on Multi-domain Integrated Mapping

XU Kai-yuan^{1,2}, QU Rong-xia¹, WANG Jian-xi³

(1. State Key Lab of Integrated Automation for Process Industry, Northeastern University, Shenyang 110819, China;

2. School of Mechanical Engineering & Automation, Northeastern University, Shenyang 110819, China;

3. Military Representative Office of PLA, Shenyang Liming Aero-Engine Co., Shenyang 110043, China.

Corresponding author: XU Kai-yuan, E-mail: ky198511@qq.com)

Abstract: Considering the problem of aircraft part assembly fixture collaborative design and assembly data expression, the modeling process of aircraft assembly object and its fixture multi-domain integration was discussed. The modeling process provides the knowledge framework of multi-domain integration model. The information composition of all domain, and describe all the data in the assembly process field were defined. At the same time, the mapping mechanism between assembly object and assembly fixture, and elaborate four key knowledge points included in mapping process was proposed. Finally, the effectiveness and feasibility of the method are demonstrated by winglet example, making it more systematic and improving the response speed & the collaborative design efficiency of aircraft structure, assembly process planning, and tooling design.

Key words: aircraft assembly fixture design; feature modeling; winglet; multi-domain integrated mapping

飞机装配夹具设计紧密依靠工程师经验、设计规则惯例、以往设计实例等知识, 没有系统明确的夹具模型构建流程, 会导致夹具设计过程反复、设计效率低等问题。目前装配建模方法有: 基于特征的飞机装配夹具模型^[1], 基于有色集合的装配关系模型^[2-3], 各种形式化建模方法^[4-5], 基于设

计结构矩阵的模型^[6]和面向对象方法^[7-8], 基于语义表达或实例的方法^[9-10]。

上述方法应用在装配体基本属性、夹具结构更改、装配工艺方案、夹具映射等方面, 解决某一类问题具有很好适用性, 但所形成模型没有全面地集成描述飞机装配领域中所有数据以及这些数

据之间的关联关系,所涉及的学科领域较为单一,设计有局限性.同时未见多个装配知识领域间互映射机理研究.

基于此,本文着重对夹具信息模型表达和多域映射过程展开研究.首先,提出飞机装配夹具建模过程.其次,定义各领域信息构成,实现不同领域信息共享.最后,研究基于知识的装配对象与夹具多个领域映射过程,映射过程中引入通用夹具设计方法,实现映射过程规范化,减少设计反复迭代次数,有效提高装配对象设计、装配工艺规划、装配工装设计的协同设计效率与设计质量.

1 夹具建模描述

夹具建模是一个反复迭代、逐步逼近的过程,也是夹具设计过程,需要各个领域知识协同配合,产品数模为工艺制定提供依据,工装设计人员依据装配对象结构特征与装配工艺,设计其工装夹具.建模步骤为:第一步,分析装配结构关键特征;第二步,确定装配工艺方案,生成语义属性文件;第三步,构建装配对象实例模型;第四步,确定夹具总功能;第五步,夹具构形设计;第六步,夹具安装设计,良好的装配产生于优良的设计与牢固的连接技术;第七步,构建夹具实例模型.以上每一步都需要相关领域知识的支持,由此形成了多域模型表达的框架.

2 多域模型信息表达

集成模型包含装配工艺、结构、仿真、夹具功能、装配对象特征、夹具制造、语义域.

2.1 语义域

语义域描述飞机装配体和装配夹具的非几何结构类数据存储信息,包括曲弧平面、弧度、螺接方式、装配基准、机型代号、飞机部件类别、重心位置、定位件等属性.

2.2 几何结构域

几何结构域定义为

$SF = \langle PHYSICS\ INFORMATION, STRUCTURE\ MODEL, MODEL\ TREE, DIMENSION, RELATION \rangle$.

式中:PHYSICS INFORMATION 为物理属性信息;STRUCTURE MODEL 为三维结构 CAD 模型;MODEL TREE 为装配物理对象结构组成模型;DIMENSION 为夹具结构的关键尺寸信息;RELATION 为飞机装配体中零部件间的常规关

系.

2.3 装配对象特征域

特征域(PART/FEATURE)表述飞机结构件的关键几何特征,特征域定义为

$PFF = \langle FEATURE\ MODEL, FEATURE\ INFO, FEATURE\ DIMENSION \rangle$.

式中:PFF 为零件特征域;FEATURE MODEL 为特征模型;FEATURE INFO 为特征信息;FEATURE DIMENSION 为特征尺寸.

2.4 装配工艺域

装配工艺域描述飞机装配工艺方案、装配工艺树模型、工艺划分依据、工艺内容等.其中飞机装配工艺方案描述结构件工艺布置、装配基准、连接方法等工艺项;装配工艺树包含装配序列、中间过渡体等信息;工艺划分依据为输送、支撑定位、连接、调整检验等.

2.5 夹具概念功能域

概念功能表述夹具设计目标、总功能、功能树等信息.采用直接分解方法进行功能分解,构造出装配夹具功能树.通过功能映射出夹具工艺动作,再根据工艺动作确定夹具结构构成.

2.6 夹具仿真校验域

通过有限元来仿真模拟夹具实际工作情况,获得夹具结构稳定性、刚度、强度、可靠性等性能数据.仿真模型包含两种:数学模型(描述仿真结构的数量、数值结果、载荷大小)和有限元模型.

2.7 夹具装配域

夹具装配域阐述飞机装配工艺夹具安装制造所需的连接方法、装配基准、工艺步骤等信息,合理构造夹具构件之间的物理连接方式具有重要意义.装配域定义为

$MF = \langle INSTALL\ METHOD, CONNECTION\ DESIGN, MANUFACTURE\ INFORMATION \rangle$.

式中:INSTALL METHOD 为夹具安装方法;CONNECTION DESIGN 为连接设计,表述夹具各部分连接方式、连接部位等;INFORMATION 为夹具装配相关信息,包含生产成本、周期.

3 多域集成映射模型

装配对象与装配夹具相关域的映射需要相关设计知识的支持,该过程所包含的关键知识点如下所列:

1) 特征—夹具规划.装配对象结构特征是进行夹具元件设计的直接依据.提取 CAD 建模常

装配夹具设计过程是极其复杂的,任何一个问题都是具体的,本文着重夹具元件/骨架等核心

结构阐述映射机理. 图1描述装配对象—几何特征—夹具元件—骨架—仿真—夹具安装等多域间互映射, 详细阐述了所需的映射知识. 当夹具出现误差导致无法安装, 将调解夹具安装顺序或者进行精加工, 误差较大时, 可以重新设计骨架结构尺寸, 仿真干涉、结构刚度差也需要重新设计骨架, 此为映射逆过程.

4 建模实例

以飞机典型的复杂构件——翼尖小翼为研究对象建立装配夹具集成模型.

1) 建立翼尖小翼模型. 翼尖小翼为单曲度壁板类部件, 该装配体由内部骨架与上下蒙皮构成,

内部骨架由4个筋隔板与1个筋端板通过角片连接而成. 蒙皮与筋隔板采用铆接连接, 角片与端板、隔板采用螺接方式. 翼尖小翼具有4个关键几何特征: 曲线、曲面、工字端筋与桁条. 最后依据装配对象语义域内容, 确定翼尖小翼的语义域属性. 综合以上步骤, 构建翼尖小翼集成模型, 如图2所示.

2) 夹具功能映射与结构设计. 结合现有夹具设计常识以及该翼尖装配工艺规划方案, 确定装配夹具总功能, 总功能逐层分解得到装配夹具功能树, 基于功能树映射出工艺树, 再根据工艺动作规划夹具部件的结构方案, 最后基于翼尖小翼模型与映射知识, 以元件→骨架→辅助构件为顺序展开结构方案详细设计.



图2 翼尖小翼集成模型

Fig. 2 The integrated model of winglet multi-domain

3) 夹具装配设计. 翼尖夹具结构简洁, 根据夹具结构特点, 分别确定夹具的安装方法、夹具各部分连接方式与制造工艺等方面的属性信息, 如图3中夹具制造域所示.

4) 构建翼尖小翼夹具的模型. 结合以上步骤, 补充夹具语义信息, 例如夹具设计基准为产品

的局部基准, 安装基准为元件基准, 材料为高质钢材, 零件编号 YJJJ-025. 基于以上4个步骤, 构建装配夹具模型如图3所示, 形成技术文档. 夹具结构简洁、定位准确、研制成本低、简单实用, 具备良好的稳定性与可靠性. 验证了所提方法的操作性与有效性.

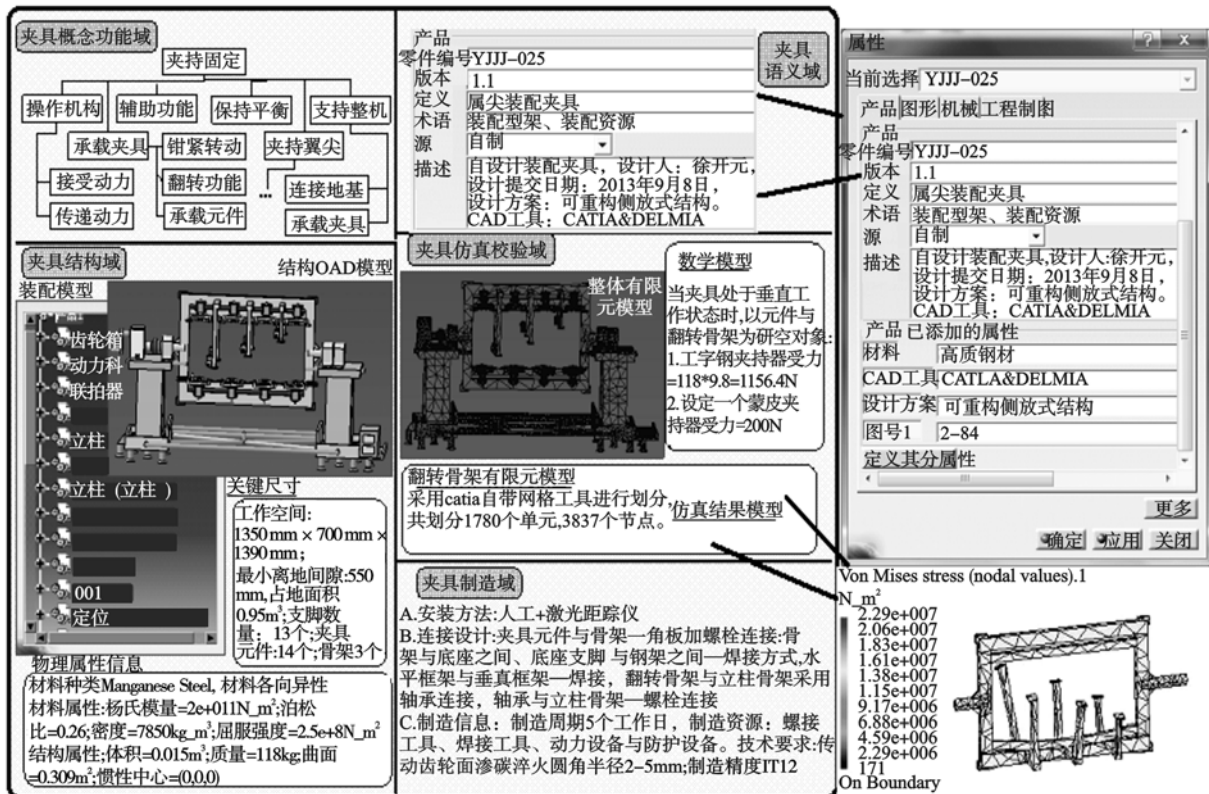


图3 翼尖小翼装配夹具集成模型

Fig. 3 The integrated model of assembly fixture for winglet multi-domain

5 结 论

1) 基于多域集成映射方法首次建立了完备的翼尖小翼及其装配夹具模型,系统全面地描述了翼尖小翼的装配结构、几何特征、约束构成、装配工艺信息、语义信息,解决了装配夹具映射过程中数据混乱、过度依赖于CAD模型以及工程师设计经验的问题。将装配体部件间诸多复杂关系显性化,表达夹具方案中所蕴含的设计知识,为后续方案评审、结构优化设计、夹具配置设计提供了信息。

2) 提出了基于知识的飞机装配对象与装配夹具的映射模型,直观表达各视域信息之间的映射关系。提出了夹持系数的概念,减少飞机装配夹具映射过程中反复更改的次数,有效缩短了设计周期。

参考文献:

- [1] Zhou Y B, Li Y. A feature-based fixture design methodology for the manufacturing of aircraft structural parts [J]. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2011, 27 (5): 986 - 993.
- [2] 张博, 张洪涛, 赵珊珊, 等. 基于多色集合理论的产品装配规划建模与算法研究 [J]. *西安交通大学学报*, 2005, 39 (11): 1254 - 1258.
(Zhang Bo, Zhang Hong-tao, Zhao Shan-shan, et al. Product assembly planning modeling and algorithm based on polychromatic sets [J]. *Journal of Xian'an Jiaotong University*, 2005, 39 (11): 1254 - 1258.)
- [3] Xu Z J, Li Y. A dynamic assembly model for assembly sequence planning of complex product based on polychromatic sets theory [J]. *Assembly Automation*, 2012, 32 (2): 152 - 162.
- [4] Courvoisier V. Control of flexible production systems and Petri nets [J]. *Informatics*, 1982, 66: 264 - 267.
- [5] Peng G L, Wang G D. A desktop virtual reality-based interactive modular fixture configuration design system [J]. *Computer-Aided Design*, 2009, 42 (5): 432 - 444.
- [6] Sudarsan R. A model for capturing product assembly information [J]. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, 2006, 3 (6): 11 - 22.
- [7] Neng W, Zhan W. An intelligent fixture design method based on smart modular fixture unit [J]. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2013, 69 (12): 2629 - 2649.
- [8] Papastathis M T N. Towards an intelligent fixturing system with rapid reconfiguration and part positioning [J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2008, 2 (1): 198 - 203.
- [9] Wang H, Xiang D, Duan G H, et al. Assembly planning based on semantic modeling approach [J]. *Computers in Industry*, 2007, 58 (1): 227 - 239.
- [10] 徐开元, 王成恩, 张闻雷. 基于多域集成设计的飞机装配资源模型 [J]. *计算机集成制造系统*, 2014, 20 (2): 351 - 360.
(Xu Kai-yuan, Wang Cheng-en, Zhang Wen-lei, et al. Aircraft assembly resource kind and attribute model building based on multi-domain integrated design method [J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2014, 20 (2): 351 - 360.)