

基于本体的复杂产品协同设计知识库建设及验证

席文奎, 韩勇, 尹雪芹, 袁小阳

(西安交通大学现代设计与转子轴承系统教育部重点实验室, 710049, 西安)

摘要: 采用本体化知识库开发方法与技术, 构建了高速旋转机械转子轴承系统协同设计知识库, 并对其功能进行了验证. 利用 Protégé 本体开发平台, 对高速旋转机械转子轴承系统多学科设计知识进行了本体论建模, 并开发了采用 OWL 语言描述的设计知识本体库. 采用 Jena 技术框架, 通过本体库与知识库的映射, 完成了该类复杂产品协同设计知识库的建设. 以两跨转子轴承试验台的设计作为工程应用案例, 通过实现设计知识共享、重用和异构系统的互操作, 对知识库原型系统的摩擦学设计模块、仿真及试验数据协同分析模块的功能进行了验证, 验证结果表明, 基于本体理论构建的知识库可有效服务于复杂产品的协同设计.

关键词: 知识库; 本体; 转子轴承系统; 协同设计

中图分类号: TH11 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2010)03-0072-05

Construction and Verification of Knowledge Repository of Complex Product Collaborative Design Based on Ontology

XI Wenkui, HAN Yong, YIN Xueqin, YUAN Xiaoyang

(Key Laboratory of Education Ministry for Modern Design and Rotor-Bearing System,

Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: A high speed rotary machine rotor-bearing system collaborative design knowledge repository is constructed by ontological method and technology, and the functions of knowledge base prototype system are verified. The ontological models are made for multi-disciplinary field design knowledge of high speed rotary machine rotor-bearing system and ontology web language format design knowledge ontology repository is developed based on protégé ontology development platform. Then the complex product collaborative design knowledge repository is established with Jena technical framework, by mapping and data transferring from ontology repository to knowledge repository. Taking with the design of two-span rotor test-bed as an engineering example, the knowledge repository prototype system functions of tribology design and collaborative analysis module of simulated and experimental data are verified by implementing knowledge sharing, reuse and interoperability of heterogeneous system.

Keywords: knowledge repository; ontology; rotor-bearing system; collaborative design

现代产品设计是以知识为基础, 大规模知识获取为中心^[1]的活动. 以汽轮发电机组为例, 由于产品的复杂性以及设计知识的多源性, 因此设计是涉及机械、控制、动力、材料等多领域多学科的协同决策过程^[2], 也是复杂的多源知识获取、融合的过程.

在计算机支持协同工作(CSCW)环境下进行的复杂产品协同设计, 企业联盟及其内部成员跨平台跨系统进行的大规模知识共享、管理与重用, 均对构建知识系统的模型与知识表示方法提出了更高的要求. 早期的知识库开发只关注特定问题的求解, 使知

识模型只应用于狭窄的领域,知识表示方法难以统一且不具备描述知识语义信息的能力,造成了知识共享和重用的困难,不能满足复杂产品协同设计的需要.因此,在构建大型知识库系统时,需从系统建模的角度研究知识库构建框架^[3-4].在当今知识库系统的建模框架中,以知识分析和设计系统(KADS)及其后续发展的 Common KADS 最具代表性,KADS和 Common KADS 提出的“知识模型”在知识库系统建模中占有十分重要的地位^[5]. Gruber^[6]给出了第 1 个在信息科学领域被广泛接受的本体的正式定义,即本体是对概念模型的明确规范说明.

本文采用本体化协同设计知识库开发方法与技术框架,首先在 Protégé^[7] 平台上开发了高速旋转机械转子轴承系统领域设计知识的本体库,然后以本体化知识模型作为基础,通过本体库与知识库的映射转换和数据传递,开发了 B/S3 层结构下的转子轴承系统协同设计知识库.最后,以两跨转子轴承试验台的设计作为工程应用案例,对基于本体构建的知识库原型系统的摩擦学设计模块,以及仿真与试验数据协同分析模块的功能进行了验证,实现了设计知识的共享、重用和异构系统的互操作.

1 基于本体的协同设计知识库建设

1.1 开发技术框架

在知识建模和知识表示方面,知识库是根据知识模型,利用知识表示方法表示的领域知识^[8].采用具有统一语法格式、明确语义^[9]的 OWL 语言对本体模型进行描述,是领域知识的正确反映,可极大地方便计算机的处理.

如图 1 所示,开发基于本体的协同设计知识库,首先需要开发领域知识本体库,这是整个知识库建设的核心和基础.然后,实现本体库与知识库的映射

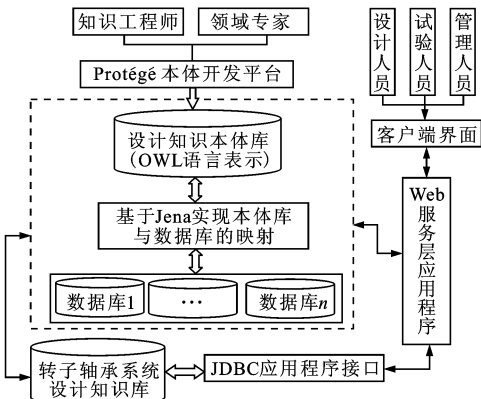


图 1 协同设计知识库开发技术框架

匹配,将本体模型映射为结构化的知识,并有序存储在知识库里面.最后,应用计算机网络、数据库等技术,开发知识库的原型系统,实现网络服务并进行系统验证.

本体模型描述了知识的固有结构和属性,通过重用本体化知识并进行属性赋值和映射转换,可得到数据库等具体应用知识,这是第 1 层次的知识重用.在设计过程中,需调用知识库中各实例化知识来进行计算分析,基于本体建立的实例化知识具有统一的结构和形式,使大规模知识共享、重用和操作极为便利,这是第 2 层次的知识重用.

1.2 领域知识本体库开发

本文基于 Protégé^[7] 本体开发平台,建立了高速旋转机械中转子轴承系统的设计知识本体库,如图 2 所示.图 2a 描述了零部件之间的子类/父类及整体/部分层次关系,图 2b 则描述了与设计相关的类的组成.在本体库中,将最抽象的概念作为抽象的类位于倒置树形结构的根部,沿着倒置树逐层依次向下细化,树上的每个节点表示一个抽象的或者具体的类,而相邻 2 层类之间的关系为父类-子类或整体-部分.类具有继承性,即子类继承父类的所有属性(槽).

采用基于框架的知识模型使得 Protégé^[7] 具有很强的扩展性,可将本体库中的知识模型转换成多种形式的输出格式,包括 XML、OWL 等多种语言(见图 3).

1.3 本体库与知识库映射

在开发本体库的基础上,通过重用本体知识并经过映射转换便可构建知识库.本文通过 Java 软件包 Jena^[10] 模块对 OWL 语言描述的本体知识进行操作,然后通过 JDBC 与数据库进行连接,并对数据库进行操作,实现了本体库与知识库的映射和知识库中各实例化知识的建立.图 4 主要涉及了 Jena 模



(a) 部分零部件类 (b) 部分设计类

图 2 本体库中类的层次结构示意图

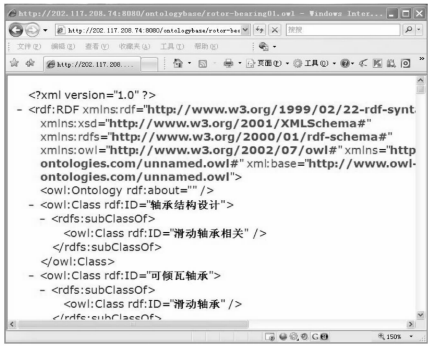


图 3 领域本体知识的 OWL 语言描述

块和 JDBC 的关键技术,首先 Web 服务层应用程序获取客户端输入的设计知识底层类的相关信息,然后通过 Jena 模块对本体库中 OWL 语言形式的本体模型进行推理,将客户输入信息转化为本体库中的相关类和属性,并对属性变量进行赋值.最后,通过 JDBC 应用程序接口将本体库中相关知识映射为 SQL Server 形式的结构化知识进行有序存储,实现本体库与知识库之间的数据传递,从而完成设计知识库的构建.

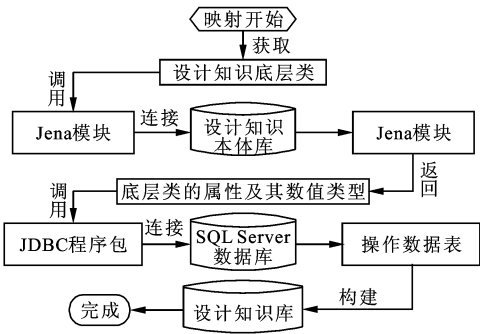


图 4 映射算法流程图

本文构建的知识库有效地实现了设计知识的共享、重用和异构系统的互操作. Web 服务层的应用程序接受用户请求以后,对本体库中类的属性进行赋值,并映射转换为数据库形式的实例化知识,通过 JDBC 应用程序接口负责数据库与应用程序之间的数据传递,实现本体实例知识的共享和重用. 另外,应用程序还对数据库形式的实例化知识进行操作处理,并对用户请求做出响应.

2 设计实例简介

本文以多功能故障诊断与振动试验两跨转子-轴承系统试验台的设计为例,进行协同设计知识库的验证工作. 试验台由 5 段转子、10 个可倾瓦滑动

轴承以及轴承座等组成,其中 4 段转子用于轴承的振动模拟,另一段用于模拟烟气轮机. 将所设计的试验台采用单跨转子、两跨转子和多跨转子试验模块的形式,并以安置单盘和 3 盘的两跨转子轴承系统设计为例进行了验证. 两跨、多圆盘转子试验台模型如图 5 所示,试验台全景如图 6 所示.

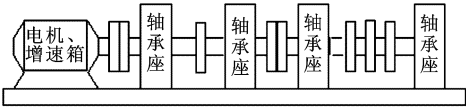


图 5 试验台模型示意图

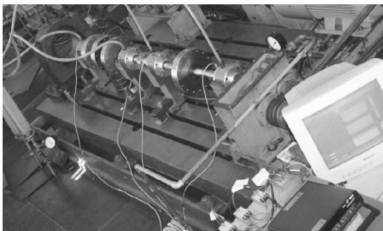


图 6 试验台全景

试验台的基本参数如下:轴颈直径为 50 mm,工作转速为 8 000 r/min,最高转速为 15 000 r/min,轴心距平台的高度为 300 mm,系统采用了 5 瓦可倾瓦轴承. 由计算分析获得了仿真数据,试验数据主要包括测得的转子振动信号,以及在此基础上分析获得的临界转速.

3 基于知识库的仿真数据获取与分析

为了获取试验台支承轴承的静力学和动力学特性,仿真数据可通过重用知识库中的相应数据库知识,经计算分析得到. 试验台各段转子采用 5 瓦可倾轴承作为支承,由于在转子轴承系统的设计知识本体库中已构建了滑动轴承本体化模型,因此通过重用可倾瓦轴承类知识,可对各属性变量进行赋值(实例化),从而得到试验台轴承的计算参数(见表 1).

Web 服务层的应用程序根据客户端输入,通过 JSP 技术和 Jena 模块对可倾瓦类的属性进行赋值,并将其转换为 SQL Server 数据表的形式存储在知识库里面. Java 应用程序通过 JDBC 应用程序接口调用知识库中 SQL Server 数据表中的属性实例值进行计算,将计算结果以 SQL Sener 数据表的形式进行存储,并通过 JSP 技术将运算结果返回给客户端的设计人员. 如图 7 所示,通过系统摩擦学设计模块的计算,获得了轴承在转速 n 下的静特性参数(见

表 2),得到了水平与垂直主刚度 K_{XX} 、 K_{YY} ,交叉刚度 K_{XY} 、 K_{YX} ,水平与垂直主阻尼 C_{XX} 、 C_{YY} 和交叉阻尼 C_{XY} 、 C_{YX} (见表 3)。

表 1 可倾瓦轴承类的主要属性及其赋值

瓦块/个	5	瓦块包角/(°)	48
直径/mm	50	承载方式	瓦间加载
长径比	0.4	瓦块支点系数	0.5
预负荷系数	0.3	润滑油牌号	N32
最小间隙比/%	0.14	进油温度/℃	40
轴瓦材料	45 钢	供油方式	集中供油



图 7 摩擦学设计结果输出界面

根据可倾瓦轴承类和转子类主要属性的实例,设计人员可进行转子轴承系统的动力学分析.图 8 为单圆盘和三圆盘转子系统的第 1 阶涡动速度 v 随转速的变化图,从图中可以看出,单圆盘转子的 1 阶

临界转速为 5 513 r/min,三圆盘转子的 1 阶临界转速为 4 151 r/min,均符合设计要求.设计人员调用转子轴承系统协同设计知识库相关模块,将仿真数据传递至 SQL Server 数据库进行存储和管理,以供上一级设计人员访问.

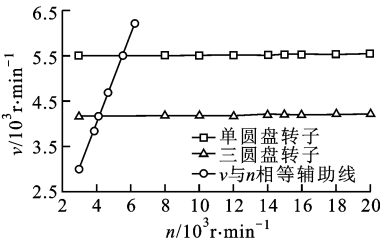


图 8 涡动速度随工作转速的变化

4 试验数据的获取与分析

如图 9 所示,通过电涡流传感器获得振动位移信号,通过接测速装置获得转动速度信号,试验人员在计算机上进行信号的采集、存储、分析和

管理.在启、停机的过程中,随着转速的不断变化,尤其是通过临界转速时,得到了振动幅值、相位的变化信息.将两跨转子分别在 $n_0=3\,000\text{ r/min}$ 与 $n_0=3\,700\text{ r/min}$ 的工况下进行动平衡,获得的转子振幅 A 随转速变化的信息如图 10 所示.可以看出,第 1 跨转子的 1 阶临界转速约为 5 500 r/min,第 2 跨转子的 1 阶临界转速约为 4 100 r/min,将试验数据存储至 Access 数据库中供上一级设计人员访问.

表 2 2 种转速下可倾瓦轴承的静特性参数

转子类型	$n/\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$	偏位角/(°)	偏心率	最小油膜厚度/mm	承载力/N	流量/ $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$	功耗/kW
单圆盘	8 000	0	0.118	0.026 3	186.4	1.277	0.440
单圆盘	15 000	0	0.065	0.028 2	186.4	4.467	1.538
三圆盘	8 000	0	0.225	0.022 4	411.3	1.328	0.457
三圆盘	15 000	0	0.136	0.025 6	411.3	4.512	1.554

表 3 2 种转速下可倾瓦轴承的动特性参数

转子类型	$n/\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$	$K_{XX}/\text{MN}\cdot\text{m}^{-1}$	$K_{XY}\cdot K_{YX}^{-1}$	$K_{YY}/\text{MN}\cdot\text{m}^{-1}$	$C_{XX}/\text{kN}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$	$C_{XY}\cdot C_{YX}^{-1}$	$C_{YY}/\text{kN}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$
单圆盘	8 000	16	1 710	18.3	4 650.0	0.933	49.4
单圆盘	15 000	28	707	28.8	4 530.0	-0.028	46.3
三圆盘	8 000	21	5 000	30.6	5 250.0	4.450	62.7
三圆盘	15 000	31	3 470	37.0	47.2	0.930	51.1

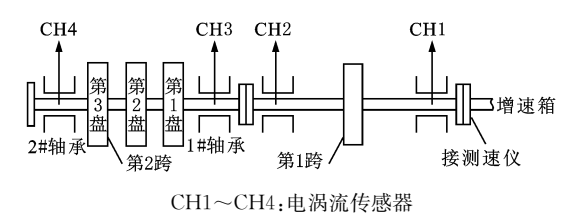


图9 两跨转子试验台的传感器布置

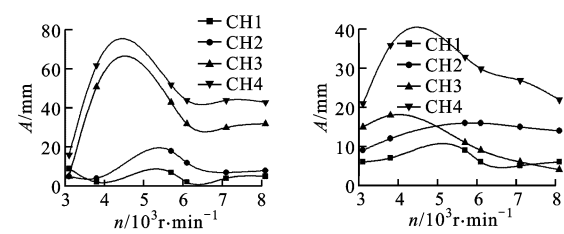


图10 转子振动峰峰值随转速的变化

5 仿真数据与试验数据的协同分析

上一级设计人员获取相关数据以后,进行仿真和试验数据的协同分析,最后将分析结果反馈给轴承设计和试验人员.如图11所示,设计人员通过输入零部件类的名称、相关属性和实例,以及属性实例的取值类型,进行检索条件的约束.设计人员还可以对检索结果进行一定的约束,以获得关心的全部或部分属性值.有关类和属性的信息可参见邻域本体库.



图11 仿真数据和试验数据的协同分析

设计人员要获取转子的1阶临界转速,需同时获得仿真数据和试验数据,输入转子的约束条件为:项目名称为试验台设计,转子型号为0001,通过Web服务层的应用程序进行试验与仿真数据的协同分析,结果如图11b所示.通过异构数据的协同分析,设计者可准确获得试验台第1跨转子的前2阶临界转速.针对复杂产品协同设计的需求,由开发接口程序实现对SQL Server和Access异构数据库的协同管理,并对相应的协同管理模型和算法进行了验证,将这些数据库从逻辑上连接起来,通过使用相同的方式进行数据交互访问和处理,从而实现了异构数据库的协同管理、互联、互操作和协同工作.

6 结 论

本文提出了基于本体理论开发复杂产品协同设计知识库的方法和技术路线,以高速旋转机械转子轴承系统协同设计为例,构建了设计知识本体库和知识库.通过工程实例,验证了知识库原型系统的摩擦学设计模块和异构数据库协同管理模块,本体理论的引入实现了知识共享、重用和异构系统的互操作,可为复杂产品协同设计提供有效的知识服务.

参考文献:

[1] 谢友柏. 现代设计理论和方法的研究 [J]. 机械工程学报, 2004, 40(4): 1-9.
XIE Youbai. Study of the modern design theory and methodology [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2004, 40(4): 1-9.
[2] 袁小阳, 谢友柏, 张优云, 等. 大型轴承摩擦学及动力学设计的知识表达方法 [J]. 西安交通大学学报, 1998, 32(4): 89-93.
YUAN Xiaoyang, XIE Youbai, ZHANG Youyun, et al. A knowledge representation method for tribological and dynamic design in large rotor-bearing system [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 1998, 32(4): 89-93.
[3] STUDER R V. Richard Benjamins dieter fensel knowledge engineering: principles and methods [J]. Data & Knowledge Engineering, 1998, 25(1/2): 161-197.
[4] 朱承, 曹泽文, 张维明. 知识库系统建模框架的发展与现状 [J]. 计算机工程, 2002, 28(8): 3-5.
ZHU Cheng, CAO Zewen, ZHANG Weiming. Development and status quo of modelling frameworks of knowledge-based systems [J]. Computer Engineering, 2002, 28(8): 3-5.
[5] SCHREIBER A T, WIELINGA B J, HOOG R D, et

- al. Common KADS: a comprehensive methodology for KBS development [J]. IEEE Expert, 1994, 9(6): 28-37.
- [6] GRUBER T R. Towards principles for the design of ontologies used for knowledge sharing [J]. International Journal of Human Computer Studies, 1995, 43(5/6): 907-928.
- [7] Stanford Center for Biomedical Informatics Research. protege 3.3.1 [EB/OL]. (2008-06-01)[2008-09-12]. <http://protege.stanford.edu/download>.
- [8] 倪益华. 基于本体的制造企业知识集成技术的研究 [D]. 杭州: 浙江大学机械与能源工程学院, 2005.
- [9] DEAN M, SCHREIBER G. OWL web ontology language reference W3C recommendation [EB/OL]. [2008-09-11]. <http://www.w3.org/tr/owl-ref>.
- [10] CARROLL J J, DICKINSON I, DOLLIN C, et al. Jenna: implementing the semantic web recommendations [C]// Thirteenth International World Wide Web Conference Proceedings, WWW2004. New York, USA: Association for Computing Machinery, 2004: 806-815.

(编辑 管咏梅)