

基于本体的飞机设计知识组织模型^①

关煜杰, 赵 罡, 吕炎杰, 周 雷

(北京航空航天大学 机械工程及自动化学院, 北京 100191)

摘要: 为了解决飞机设计中知识信息量大和表现形式多样的问题, 提出了一种基于本体的知识组织模型构建方法. 起初论述了知识组织和本体的有关概念, 然后在此基础上提出基于本体的 ABC 反馈方法, 并构造飞机设计知识模型来验证研究成果的正确性和有效性, 同时描述了基于本体构建知识模型的优点.

关键词: 本体; 知识组织模型; 飞机设计知识; 知识管理

Ontology-Based Knowledge Organization Model for Aircraft Design

GUAN Yu-Jie, ZHAO Gang, LV Yan-Jie, ZHOU Lei

(School of Mechanical Engineering and Automation, Beihang University, Beijing 100191, China)

Abstract: In order to solve the issues of the large scale and various forms of the knowledge information in the aircraft design, a model construction method of the knowledge organization based on ontology is proposed. Firstly, the concepts of the knowledge organization and the ontology are introduced. Then an ABC feedback method based on ontology is proposed. An application example of the knowledge organization in aircraft design is also given to verify the correctness and validity of the modeling method. Finally, the advantages of the ontology-based knowledge organization model are summarized.

Key words: ontology; knowledge organization model; design knowledge of aircraft; knowledge management

航空工业是典型的知识密集、技术密集、多学科集成的高科技产业, 尤其是飞机设计作为一个跨学科涉及多个领域的复杂系统工程, 面临着诸多挑战^[1]. 传统的方法已无法满足设计数字化和智能化的要求. 近年来, 随着信息技术的飞速发展, 多学科方法的综合与集成已在飞机设计中广泛应用, 由此也产生了大量的数据, 如技术规范, 设计标准, 设计文件, 设计手册, 专家经验等, 这些知识有的以文档等非结构化形式存在, 有的则以图形形式存在, 还有的存在于设计人员头脑中^[2]. 如何快速的提取运用这些已有的知识, 并将其转化为未来设计中有用的知识, 同时为飞机产品设计提供大力支持, 是目前研究的热点之一^[3,4]. 这些问题不但可以解决当前飞机设计知识管理中资源严重短缺的知识问题, 也可以解决隐性知识的显性化, 显性知识结构化的问题.

近些年, 国内外学者越来越认识到知识组织的重要性, 并做了大量深入的研究. 屠立等研究了基于知识模板的复杂产品设计知识组织方式, 用知识模板来描述复杂产品设计阶段的功能—行为—结构模型^[5]; 吴鹏等结合身管产品设计实例, 研究基于本体的机械产品设计需求分析和建模方法^[6]; Cisternino 等研究了根据本体组织产品设计知识的方法^[7]; U. Jayaram 等提出了一种语义的方法, 以产品设计和装配知识为研究对象, 使用本体来分享知识与产品数据^[8]; Chen Y J 提出了一种基于隐性知识的表示和推理的本体论方法^[9]; Dahab 等利用语义模式库自动进行本体概念及其关系的获取, 从而构建知识本体^[10].

本体作为一种可以通过语义和知识层描述知识系统的构建模型工具, 为知识显性化和结构化表示提供了有利的方法. 虽然这些研究提出了不同的基于本体

^① 基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)(2009AA043306)

收稿时间: 2014-04-15; 收到修改稿时间: 2014-05-07

知识组织模型构建方式,但目前的知识表示方式没有系统地考虑自动知识获取及组织知识的问题,并且这些知识组织方式没有按照逻辑关系组织起来,不利于快速、高效、全面的获取所需知识。

考虑到飞机设计知识复杂性、涉及范围广以及形式多样性特点,但现已有的研究主要将本体应用于产品开发领域模型或者构建语义骨架网络模型,而缺乏在飞机设计领域的应用,因此本文提出了一种全新的基于本体的知识组织模型构建方法,以飞机设计知识为例构建实例,用活动分解条理化方式表示复杂知识,实现设计飞机时知识的共享和重用。

1 本体在知识组织系统中的应用

1.1 知识组织

知识组织是按照知识的内在逻辑联系,运用一定的组织工具、方法和标准,通过整理、加工、表示、控制等一系列的有序化、系统化的活动,揭示知识的本质,实现知识的关联的过程和方法^[11]。知识组织的本质是通过一定的技术,如本体、主题图等,将知识体系中反映知识组织结构的概念体系组织成一个可以有效获取知识的知识网络。

知识组织的重点和精髓在于知识及知识的关联进行有效描述、处理和表示^[12,13]。由此产生的本体可以很好实现对知识结构的描述与揭示,解决飞机设计知识管理中知识资源不足问题。

1.2 本体的概述

本体(Ontology)最早是一个哲学的范畴,研究物质世界存在的本质,后来随着人工智能的发展,被人工智能界予以新的定义^[14]。本体现已广泛的应用在知识描述方面,它是领域知识概念化形式化明确化的描述。因此基于本体可以形式化和可重用的表示飞机复杂产品知识,使知识得到高效利用。

1.2.1 本体的定义

本体通过规范化地对概念、术语及其相互间关系进行语义描述,从而得到知识领域内的基本知识体系和描述语言,实现知识共享^[15]。

1.2.2 本体的分类

目前较为通用、广泛的本体分类方法主要按照研究内容划分顶层本体、任务本体、领域本体、应用本体和科研本体五类^[16]。

本文的主要研究对象是领域本体,是对飞机设计

领域知识中概念的属性、概念及关系以及彼此的约束,反映了在该领域的一般模式和知识,并提供该领域中概念和概念的关系集合。

1.2.3 本体的组成要素

本体是对存在的领域实体本质的抽象,一个本体代表一个领域,并能表达和反映那个领域中实体间的关联。本文中本体的组成要素由五部分组成:概念、关系、实例、公理、函数^[17]。

(1) 概念表示的是飞机设计知识领域中知识和规则的集合,从不同层次对飞机设计知识进行的抽象描述。

(2) 关系是实体的属性之间的关系,包括在本文中4个基本关系: part-of(部分与整体的关系), instance-of(概念和概念实例间的关系), kind-of(概念间父类和子类的从属关系)和 attribute-of(某个概念是另一个概念的属性)。

(3) 实例代表飞机设计知识概念中的具体事物,如起落架。

(4) 公理代表限制实例和概念的范围。本体中,属性、关系和函数具有的一定的约束和关联就是公理。

(5) 函数是本体中关系一种特殊的表达式,如映射关系,表示一个概念到另一个概念的推理。

2 基于本体的知识模型构建方法

模型是对所研究系统、过程或概念等某一部分有目的的抽象表达,而创建模型是抽象模型过程,是创建描述研究对象方式的过程^[18]。因此,知识模型即用于解决研究对象问题知识的一种共性抽象。传统的本体建模方法,如骨架法、评估法、Bemaras法、METHONTOL-OGY法、SENSUS法等^[19],虽然对利用本体建立模型有一定指导意义,但是模型创建过程对专家的依赖性较强。

本文参考已有的本体模型构建方法、构建原则和软件开发方法,并且考虑本体共享和重用的特点,以此提出一种ABC(Activity Breakdown Cycle)反馈法,该方法将产品设计知识按照逻辑关系组织起来,并用它指导复杂产品设计知识模型的构建过程,以便快速、高效地自动获取知识。

应用此方法构建产品设计知识组织模型,领域专家只需在本体建模概念化与本体评价阶段参加,降低对领域专家的依赖性,以此建立符合产品设计使用要

求的知识组织模型。该方法可以改善飞机设计研制过程当中大量知识资源管理程度,提升飞机设计中知识资源获取和重用,为飞机快速研制提供决策。具体步骤如图 1 所示。

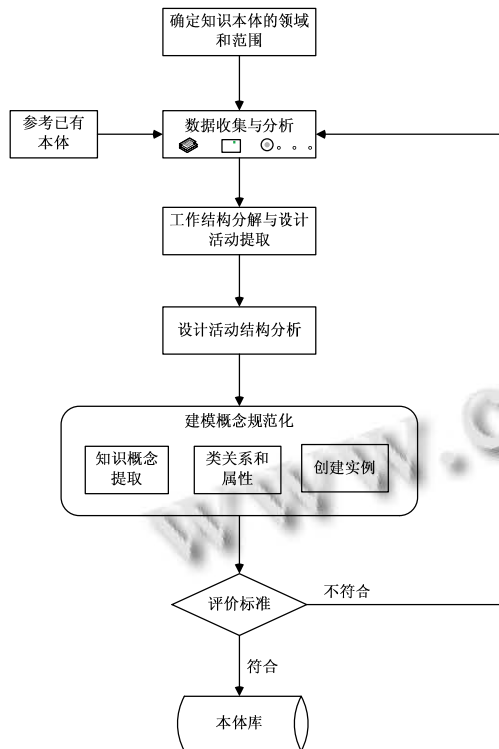


图 1 知识建模结构图

2.1 确定知识本体的领域和范围

首先必须清楚建立知识本体的目标、专业范畴、用处和人员。这是创建知识本体模型的第一步,即所研究知识领域。在创建过程时,若知识领域越大,则创建的本体就越大,所以必须明确知识本体的领域和范围。与软件开发过程相似,可以通过以下问题:本体建模面向哪个领域?构建的应用目标是什么?使用人员范围是什么?等等,确定知识本体建模的需求,来指导后续工作^[20]。也可根据领域专家提供的产品设计中实际需求确定研究范围,尽可能在较小的本体范围情况下满足创建模型需求。

2.2 数据收集与分析

根据确定的知识本体领域和范围,收集本体建模领域内相关的概念及关系的信息。可以从以下知识来源收集:网络、词表、案例、书籍、专家、文档和已有本体等,以便在之后对资料进行分析提取本体时可以查阅资料。不管采用何种收集方法,一旦收集所需

信息,便可以追溯。利用本体共享和重用的特点,我们应优先考虑重用已有的本体资源,选择其中标准术语进行全面的定义,以此减少本体建模工作量。

2.3 知识分解结构

对产品领域知识进行知识结构分解,应明确设计过程当中各项设计活动。之后对每一个设计活动进行结构分解,即将每个设计活动细分为子活动。

产品设计知识分解过程应保证本体具备以下几点:

- ①客观性与明确性,并且尽可能是完整的;
- ②最小性,定义的本体只需满足特定的知识获取需求,让用户能自由的按照需求实例化;
- ③可扩展性,用户可以在原有概念定义不变情况下,使用已有概念为基础定义新的概念;
- ④表示方法无差异性,用不同符号表示同一本体模型,意义是一样的。

2.4 建模概念规范化

概念规范化的意思是确定某一领域的元概念。概念之间的关系可以包括同义关系、反义关系、属中关系、交叉关系、全异关系等^[21]。元概念的选择可以按照需要添加、删除,以元概念为核心,并按照信息的内容、表现形式继续分类,便会与已存在的信息或知识连接。确定产品领域知识范围和数据收集之后,经过工作结构分解,从中提取知识的概念和关系,同时按照设计活动的逻辑定义知识概念的关系、属性和概念模型图,以此构建出整个本体的基础概念模型。该过程中需要领域专家的参与,只有了解越深,创立的本体就越完善,同时要对各种来源的概念和关系进行判断,确保术语的正确性、惟一性,除去冗余义,为建模交流提供一种统一的规范。这个阶段需要完成以下三方面工作:

① 知识概念提取

在领域专家的指导下,通过识别、分析与统计,从设计活动/子活动中提取产品设计知识的概念和关系,要求其能够基本覆盖该领域的知识。

② 定义类关系和属性

产品知识概念提取后,需要定义类关系和属性。可以自上而下、自下而上,或者综合采用前两种方法^[22]。本文是从最重要的概念入手。类的定义可以从内涵和外延两个层面来制约。属性是本体中描述概念特征的重要组成部分,是该领域实体与其他实体区别的标识,因此所定义的属性需实现这个目的。本文按照概念的特性定义必要的属性,包括 2 种:一种表述概念自身

的结构和信息,如“编号”唯一标识概念区别于其他概念.另一种表述概念间的关系,例如项目软件是由软件设计者施行,因此需要定义“设计人员”表示这种关系,由于“设计人员”在“人员”中取值,两者存在依赖关系,必须优先定义“人员”概念.定义必要的属性后还需定义其自身的性质,如属性长度、取值类型、属性描述等等.

③ 创建实例

经过知识概念关系和属性定义之后,需要创建实例.实例是与类等级相对应的,首先选取一个概念,然后添加该类的具体实例,最后添加特定的属性值.

2.5 评价标准

经过前面几个步骤,建立了初步本体.但这个本体是否满足领域知识组织要求,需要对其进行评价.本文采用比较有影响的是 T.R.Gruber 提出的 5 条本体构建规则作为标准,从完整性、清晰性、一致性、可扩展性和兼容性进行判断.完整性,指本体的概念及其关系应是完整的,应该包含领域内所有概念,由于很难达到,需不断完善;清晰性,指本体中的术语没有歧义;一致性,指术语间关系逻辑上保持一致;可扩展性,指本体可以扩展到该领域不断发展时能加入新的概念;兼容性,指本体的互操作性和开放性^[23].此外,还需包含完备性、准确性等本体评价.根据上述标准进行检验.若符合要求,完成本体最终模型,同时形成文档;若不符合,便返回到起始设计阶段,周而复始,直到最后构建出满足领域知识要求的本体模型.

2.6 建立知识本体

实现与其他本体开发者与设计团队的共享.将构建好的领域知识本体模型存入新的本体库中,并将新本体库在原有本体库的基础上编号.

3 实例验证

根据前文对基于本体的知识组织模型的相关概念、理论和关键技术的研究,本文在某飞机设计项目背景下,以飞机设计知识建模为例,对本文方法进行了应用验证.

3.1 飞机设计知识领域范围和收据收集

本文以飞机设计阶段所涉及的各种形式的资源为领域范畴,以尽可能少而全的概念层次,概念约束明确,能代表领域内所有知识共有的性质为构建原则,以科研设计人员为研究对象,为飞机设计知识管理平台提供知识模型,促进知识的交流、积累、共享和重

用.收集飞机设计领域的相关知识信息,选择行业内相应的国标、制造手册、技术规范、专家经验等作为本体参考,如《航空科技名词大典——航空》、《中国航空百科词典》、《国防科学技术叙词表》和学科分类体系的飞机设计知识本体构建方法,剔除重复性和存在交叉定义的概念,规范化后作为类的来源.

3.2 知识分解结构

根据飞机设计知识领域的需求进行知识活动结构分解,建立相应的功能载体知识库.飞机设计知识主要类型包括飞机类型、飞机部件、设计文件、技术文件、工程案例、规范、标准、专利、组织资源和经验思路等.每部分知识均可划分为多个子活动,比如“飞机部件”可以细分为“结构”和“系统”两个设计活动.设计活动又可以细分为多个子活动,比如“结构”又可以划分为:“机头”、“机身”、“机翼”、“垂尾”和“起落架”等子活动.按照以上思路,整个飞机设计知识可表示成一个由类型、活动、子活动组成的树状图,如图 2 所示.

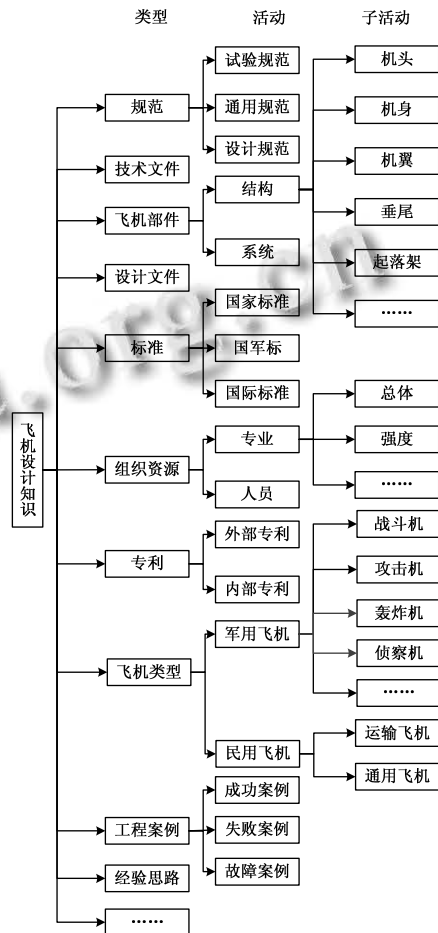


图 2 飞机设计知识结构分解图

3.3 飞机设计知识建模概念规范化

本步骤是飞机设计知识本体建立的关键与难点. 由于前面已对飞机设计知识进行规划, 因此本步骤主要工作就是根据规划——确定概念间的关系, 将每一领域中的知识进行概念化.

3.3.1 知识概念提取

在前文活动分解结构的基础上, 对飞机设计知识中的子活动进行分析, 依次提取核心概念与关系, 使其基本覆盖了整个飞机设计知识.

3.3.2 定义类关系和属性

前文已提到概念间的关系主要有 4 种: 以飞机设计知识模型中“起落架”概念为例进行说明. “起落架”与“飞机结构”互为父子(Kind-of)概念, “减震器”是“起落架”的实例(Instance-of), “材料”是“起落架”的一个属性(Attribute-of), “类型”是“起落架”的属性, 取值范围是“布置型式”, “前三点式起落架”是“布置型式”的一部分(Part-of). “起落架”的部分概念之间的关系如图 3 所示.

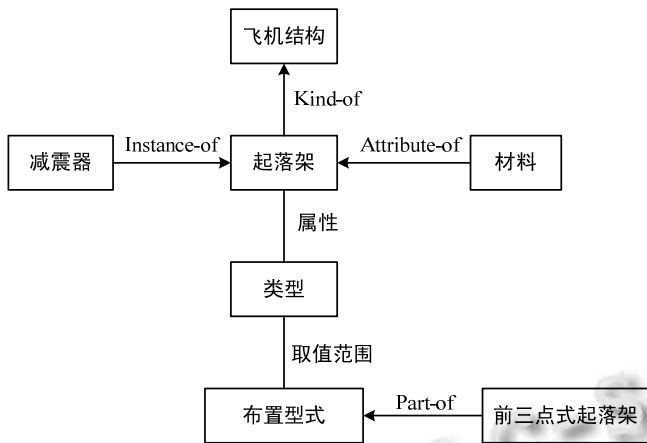


图 3 “起落架”部分概念之间关系

属性用来描述类的相同特点和某些个体的特有的特征. 有两种类型的属性: 一个是数值型属性; 另一是对象型属性. 以“起落架”为例, 其部分属性的定义见表 1.

表 1 “起落架”部分属性

概念类别	概念名称	属性名称	属性类型	属性长度	属性取值范围	属性描述
		编号	数值	100		唯一
飞机结构	起落架	名称	文本	200		
		材料	文本	100		

类型	实例	200	布置型式
设计人员	实例	200	员工
设计重量	数值	100	
外观	实例	200	图片
...

3.3.3 创建实例

根据本体构建的颗粒度的不同, 实例的具体程度也是不同的. 该本体的实例主要从以下三个方面获取: 航空类权威出版社出版的飞机手册, 学术文章中提及的飞机设计知识, 因特网上提供的飞机设计知识.

3.4 建立知识本体

在对飞机设计知识进行总体分类的过程中还可以将产品模型、辅助性知识、市场知识归纳到设计知识这个类别. 如以起落架为例, 飞机设计知识是以起落架为中心, 起落架这个类与其他类的关联丰富, 可以起落架为中心建立飞机设计知识本体的框架结构, 如图 4 所示.

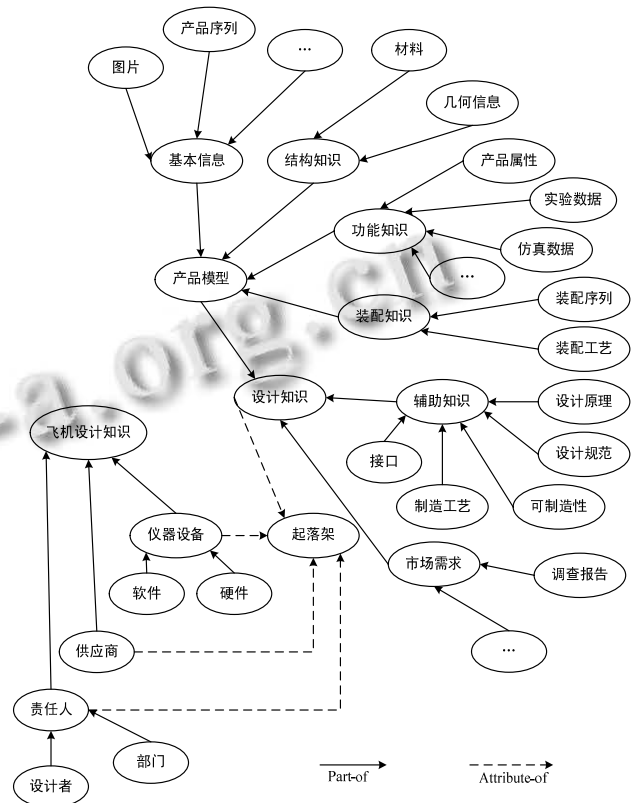


图 4 起落架设计知识本体结构框架

3.5 系统开发与实现

系统采用 B/S 的浏览器/服务器网络结构. 将应用分为表示层、业务逻辑层和数据存储层三个不同的处

理层次,如图5所示.

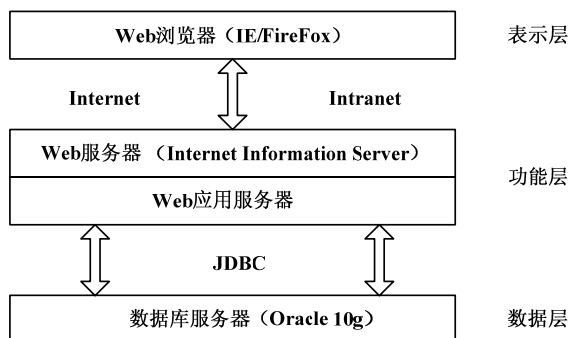


图5 系统B/S体系结构

表示层由基于 Web 浏览器的客户端组成. 用户通过系统的 Web 应用界面与系统进行人机交互, 完成数据的采集录入或信息显示; 功能层由 Web 服务器和 Web 应用服务器构成. Web 服务器采用 HTTP 协议回应各客户端用户发送的请求, 向 Web 应用服务器提供信息显示与数据的检索指令, 向用户生成客户端实际显示页面; Web 应用服务器通过数据库接口组件 JDBC 访问数据层, 并收集底层数据提交给 Web 服务器, 以实现用户的应用要求; 数据层通过数据库服务器 Oracle 10g 执行数据处理逻辑, 为系统提供底层数据支持.

其中, 系统采用 MyEclipse 作为 Java 开发平台^[24], 以 tomcat 作为 Web 服务器, 采用 Oracle10g 关系数据库作为资源数据库, 利用 Protégé4.0.2 本体建模工具实现本体模型构建^[25], 集成 Jena2.6.3 工具实现本体的加载、解析和语义扩展等服务, 界面层采用 ExtJs 开源框架, 以 Windows 32 位操作系统中集成开发环境加以开发实现.

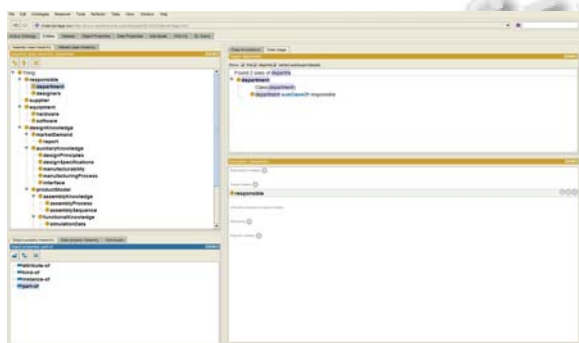


图6 起落架知识本体建模界面

将 3.4 节得到的知识本体输入 Protégé4.0.2 中建立本体模型, 界面如图 6 所示. 完成起落架知识本体建模后, 生成 Undercarriage.owl. 将模型通过系统上传功

能存入知识库中, 供设计师查看已存在的本体模型, 如图 7 所示.

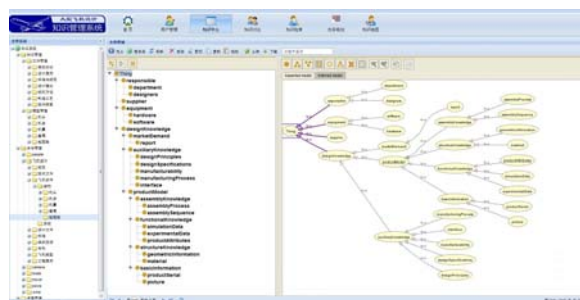


图7 系统本体管理中起落架模型浏览界面

3.6 基于本体构建知识模型优点

基于本体构建产品设计知识组织模型, 可以有效地提高知识传递和共享过程中的唯一性和准确性, 促进知识的表示方法、获取、共享和重用, 使知识搜索、知识积累、知识共享的效率得到提高.

① 对于飞机设计研制过程中重要实体和属性间关系形式化的描述, 可以成为软件开发中共享和重复使用的组件, 真正实现了知识的共享和重用.

② 允许使用者自定义不同类型的知识, 在飞机研制中实现各种特征类型的知识表达, 并且可以对每一个概念、关系和属性进行定义, 以此解决多个源问题的设计知识表示.

③ 统一的术语和概念, 使得信息更容易查找, 模型更容易维护, 结合模型的形式化准确表述也很大程度上提高了可靠性, 使得该体系结构的知识组织模型各层次更加清晰和完美.

4 结语

知识库是复杂产品设计过程中知识管理和使用的重要工具, 构建知识组织模型正是建立知识库的基础. 本文提出了一种基于本体知识的 ABC 反馈法, 详细阐述了应用此方法构建知识组织模型的步骤, 并以飞机设计知识为例进行验证, 构建一个简单的飞机设计知识组织模型. 该方法一定程度上保证了本体充分性与完备性, 弥补了已有的知识表达方法, 完成飞机设计过程当中的知识共享和重用, 对复杂产品设计企业知识管理有一定的指导意义. 今后的研究中, 笔者将在此模型的基础上进一步探讨各种因素对知识组织模型构建的影响, 更加完善该模型, 使其可以更加广泛的应用.

参考文献

- 1 范玉青,梅中义,陶剑.大型飞机数字化制造工程.北京:航空工业出版社,2011.
- 2 陈永当,杨海成,杜兵劳.基于本体的航空发动机设计知识组织模型构建与分析.航空动力学报,2007,22(1):90-95.
- 3 黄林.基于本体的车身设计知识建模与应用研究[学位论文].上海:上海交通大学,2011.
- 4 蔡文沁,彭培林,姜寿山.航空产品设计知识的表示与重用技术研究.计算机集成制造系统,2004,10(1):55-58.
- 5 屠立,张树有,陆长明.基于知识模板的复杂产品设计重用方法研究.计算机集成制造系统,2009,15(6):1041-1048.
- 6 蒋翠清,贾浩,丁勇.基于模块化本体的机械产品制造企业知识组织模型构建研究.机械设计与制造,2012(10):253-255.
- 7 Cisternino V, Campi E, Corallo A, et al. Ontology-based knowledge management systems for the new product development acceleration: case of a community of designers of automotives. IEEE International Conference on Signal Image Technology and Internet Based Systems, 2008. SITIS'08. IEEE. 2008. 672-677.
- 8 Zhan P, Jayaram U, Kim O J, et al. Knowledge representation and ontology mapping methods for product data in engineering applications. Journal of Computing and Information Science in Engineering, 2010, 10(2): 021004.
- 9 Chen YJ. Development of a method for ontology-based empirical knowledge representation and reasoning. Decision Support Systems, 2010, 50(1): 1-20.
- 10 Dahab MY, Hassan HA, Rafea A. TextOntoEx: Automatic ontology construction from natural English text. Expert Systems with Applications, 2008, 34(2): 1474-1480.
- 11 Rao L, Mansingh G, Osei-Bryson KM. Building ontology based knowledge maps to assist business process re-engineering. Decision Support Systems, 2012, 52(3):577-589.
- 12 何琳.基于知识组织资源仓库的领域本体构建研究.图书馆杂志,2012,30(12):59-62.
- 13 杨健,肖乾.基于本体的产品设计知识表达.现代机械,2005, (3):54-55.
- 14 Gruber TR. A translation approach to portable ontology specifications. Knowledge Acquisition, 1993, 5(2):199-220.
- 15 蔡盈芳.基于本体的航空产品知识库构建研究[学位论文].北京:北京交通大学,2011.
- 16 Matsokis A, Kiritsis D. An ontology-based approach for Product Lifecycle Management. Computers in Industry, 2010, 61(8): 787-797.
- 17 胡兆芹.基于本体的领域知识组织核心体系的构建.农业图书情报学刊,2012,24(10): 9-12.
- 18 于鑫刚,李万龙.基于本体的知识库模型研究.计算机工程与科学,2008,30(6):134-136.
- 19 陆敏,杨发毅,彭骏.基于本体的知识组织和知识检索.现代情报,2009,29(1):144-147.
- 20 冯莉,席小宁.基于本体的飞机设计知识建模研究.中国制造业信息化(学术版),2012,40(12):58-61.
- 21 谷牧,柴旭东,李潭,等.基于统一描述框架的导弹设计知识模型研究.现代防御技术,2013,41(1).
- 22 王发麟.面向多设计团队协同的知识服务关键技术研究[学位论文].南昌:南昌航空大学,2012.
- 23 刘运通,唐任仲,郑军.基于模块化方法的产品设计知识组织模型.浙江大学学报(工学版),2011,11:4.
- 24 熊春荣,谢妙.一种基于本体的高校知识管理系统及实现.计算机与现代化,2006,(9):115-119.
- 25 轩辕思思,姜兆亮,李岩,等.基于本体的产品配置知识模型的研究.机械工程师,2009(4):36-38.