# 基于本体映射的产品概念设计方案生成新方法

毕鲁雁 焦宗夏 范圣韬

(北京航空航天大学 自动化科学与电气工程学院, 北京 100191)

**摘 要**: 将本体与本体映射引入产品概念设计方案生成领域,提出了一种基于本体映射的产品概念设计方案生成新方法,有助于解决传统概念设计方案生成算法中由于知识描述不一致而导致的产品设计知识重用困难,以及设计方案生成准确性低的问题. 该方法使用本体知识表示方法建立产品设计知识库;使用本体映射算法自动地搜索产品设计知识库中符合设计需求的产品概念设计方案. 通过起重机起升机构驱动装置设计实例,验证了基于本体映射的产品概念设计方案生成新方法的正确性和有效性.

**关 键 词**: 本体; 本体映射; 概念设计; 方案生成

**中图分类号**: TH 39

**文献标识码**: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2009)07-0895-04

## New product conceptual design scheme generation method based on ontology mapping

Bi Luyan Jiao Zongxia Fan Shengtao

(School of Automation Science and Electrical Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: The ontology and ontology mapping technology were introduced into the conceptual design schema generation field. A new conceptual design scheme generation method based on ontology mapping was proposed to solve the problems of design knowledge reuse difficulty and low accuracy in conceptual design scheme generation because of different knowledge description approaches in traditional conceptual scheme generation methods. The proposed method constructed product design knowledge database in the way of ontology-based knowledge presentation and product conceptual design schema satisfying the design requirement was found in the product design knowledge database through the ontology mapping algorithm. Finally, the correctness and validity of the new scheme generation method were tested and verified through the drive device of crane lifting mechanism design example.

Key words: ontology; ontology mapping; conceptual design; scheme generation

产品设计是从需求出发寻求设计结果的问题求解过程. 产品的设计过程大体可以分为需求分析、概念设计、总体装配设计和详细设计 4个过程,在这 4个阶段中,概念设计日益引起人们的关注和重视[1]. 概念设计是工程设计的前期工作过程,概念设计的结果是产生设计方案. 概念设计是由分析用户需求到生成概念产品的一系列有序的、可组织的、有目标的设计活动,它表现为一个由粗到精、由模糊到清楚、由抽象到具体、不断进化的过程[2]. 概念设计过程是发散思维的过程,是一个求解实现功能的、满足各种用户需求以及技术和经济指标的、可能存在的各种方案并最终确定综合最优方案的过程[3].

概念设计方案是概念设计过程中的关键环节之一[4],概念设计方案生成包括对产品设计知识表达和概念设计方案生成推理两部分组成. 然而,随着设计产品和设计过程复杂程度的提高,传统的概念设计方案生成方法中的产品知识表达方法

**收稿日期**: 2008-06-17

**资助项目**: 985工程二期资助项目(031568)

**作者简介**: 毕鲁雁(1981 - ),女,山东菏泽人,博士生, bly8155@asee.buaa.edu.cn.

与方案生成推理算法都面临着巨大的挑战[5].

本体是共享概念化的明确的形式化规格说明,而本体映射的目的主要是为了解决异构本体间的互操作性,目前本体和本体映射的发展和应用涵盖了多个领域,如人工智能、数据集成、知识工程等[6-7].本文提出了一种基于本体映射的产品概念设计方案生成新方法,新方法使用本体映射算法解决产品概念设计方案的推理问题,设计并且实现了起重机起升机构驱动装置的概念设计系统,对新方法的有效性进行了验证.

## 1 产品概念设计方案生成新方法

### 1.1 新方法原理

产品的概念设计方案是由设计需求决定的,即从设计需求域 $R$ 到概念设计方案域 $B$ 存在映射关系 $\Gamma: R \rightarrow B$[8-9]. 设计需求和概念设计方案不可能完全独立地存在,它们是密切联系的,因此对于产品的完整描述需要包含设计需求域和设计方案域两个方面的知识[8-10].

概念设计的推理问题是采用合适的方法对概念设计问题进行求解;如果产品的概念设计方案知识使用本体表示并建立产品设计本体知识库,概念设计的推理问题就是在产品设计本体知识库中寻找满足设计需求的概念设计方案. 基于本体映射的概念设计方案生成新方法的思路是:进行产品设计时,首先根据给定的设计需求信息建立产品设计需求本体 $D$,设其中的概念 $d$ 表示要设计的产品;利用设计需求信息从产品设计本体 $K$ 中寻找与 $d$ 最相似的概念 $k$,这是一个本体映射的问题,因此可以通过本体映射算法自动地完成. 通过本体映射算法找到的概念 $k$ 是产品设计本体知识库中与概念 $d$ 最相似的产品,因而该产品对应的设计方案是方案搜索空间中最符合设计需求的设计方案.

### 1.2 本体映射算法

为了使基于本体映射的设计方案生成方法获得更好的效果,结合了元素级映射和结构级映射两类映射算法,综合了多种具体的映射技术. 其中元素级的映射算法综合了基于语法的、基于约束的以及基于数据类型的映射技术,结构级的映射算法则采用了基于图的技术. 通过多方面综合地考虑概念的相似度,能够克服由于知识表述的不规范和不一致造成的困难,提高知识的重用性和概念设计方案生成的准确性.

## 2 起重机产品设计本体知识库建立

本文建立的用于起重机驱动装置概念设计方案生成的产品设计本体(部分)如图 1所示,方案搜索空间包括多种驱动装置概念设计方案,如:内燃机驱动,直流电机驱动,液压驱动等. 产品设计

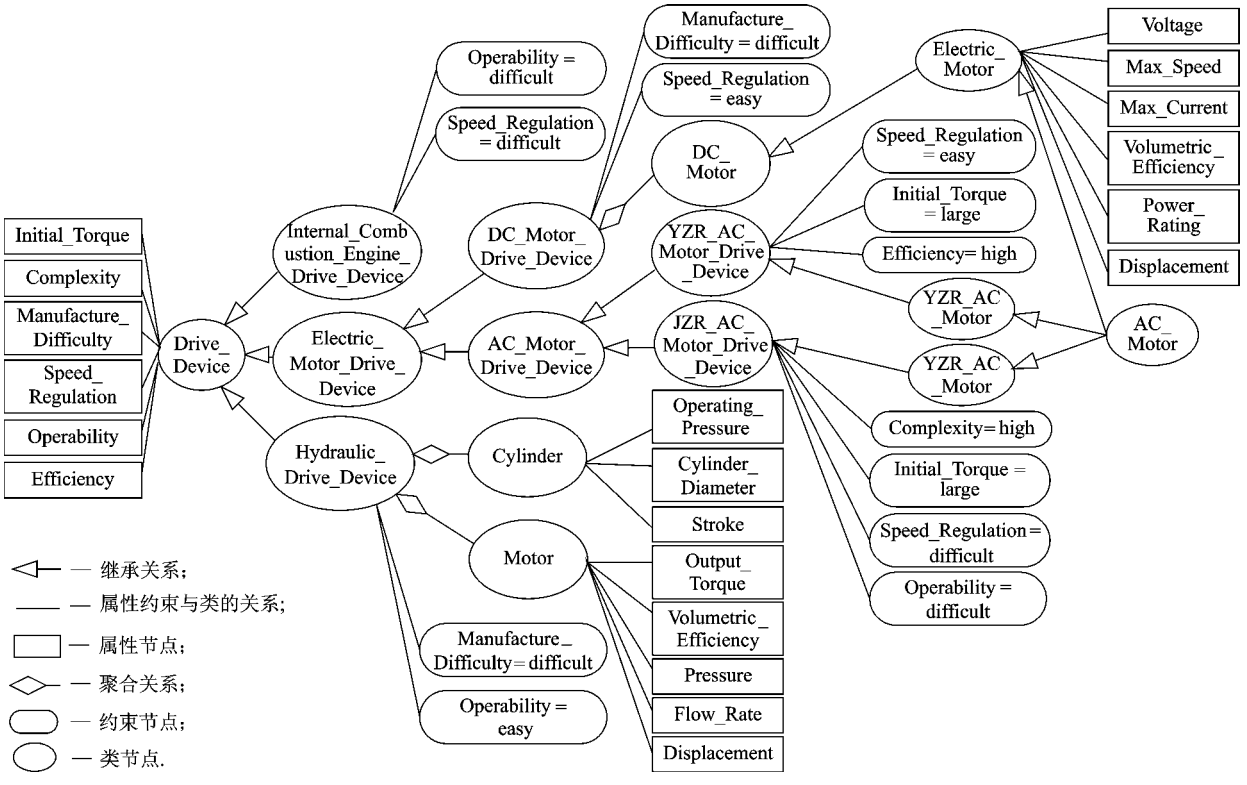



图 1 驱动装置产品设计本体(部分)

本体知识库的形式不固定,其完备程度很大程度上决定了概念设计方案生成的性能,知识库的建立是一个不断修改完善的过程.

起重机中用来提升或下降货物的机构称为起升机构,它是起重机中最重要、最基本的组成部分.起升机构的工作好坏将直接影响整台起重机的工作性能,而起升机构所需的动力又由驱动装置提供,本文将基于本体映射的概念设计方案生成方法应用于起重机起升机构驱动装置的概念设计[11].

为了根据设计需求找到符合设计需求的驱动装置概念设计方案,首先需要使用本体表示方法建立驱动装置的产品设计知识库,可以由领域专家使用 OWL (Web Ontology Language)语言直接描述产品设计本体,也可以通过使用第 3方工具(例如 protégé)编辑并保存为 OWL语言描述文件的方式建立.

## 3　基于本体映射设计方案生成实例

下面给出一个基于本体映射的起重机起升机构概念设计方案生成的详细过程.

### 3.1　需求本体的建立与细化

首先需要根据设计需求建立设计需求本体,这样才能使用本体映射算法从方案搜索空间中自动搜索符合设计需求的驱动装置概念设计方案,建立好的需求本体通常需要根据本体映射的结果进行再修改和细化.在本节的实例中,共经过了两次对设计需求的修改和细化,需求本体经历了从 $X_1$, $X_2$到 $X_3$的演化过程,分别如图 2、图 3和图 4所示,其中 $x_1$, …, $x_6$ 为节点.最终的设计需求本体 $X_3$表示的设计需求为:①驱动装置设备复杂度低;②操作简单;③初始力矩大;④电机额定功率为 20 kW;⑤驱动效率高;⑥可调速性能好.

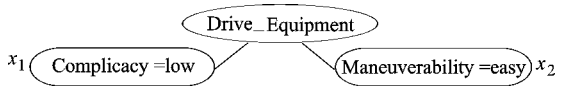



图 2　需求本体 $X_1$

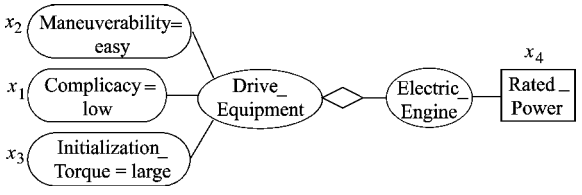



图 3　需求本体 $X_2$

### 3.2　本体映射过程

针对需求本体演化过程中的需求本体 $X_1$, $X_2$ 和 $X_3$,设计方案生成过程中共进行了 3次本体映射.表 1和表 2为属性和约束节点的相似度矩阵.

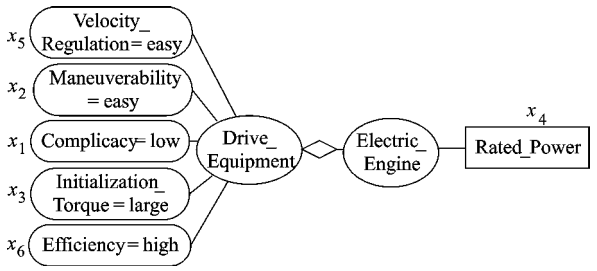



图 4　需求本体 $X_3$

表 1　相似度矩阵(部分属性)

| 节点 | Efficiecny | Complexity | Stroke | Rating_Power | Voltage |
|---|---|---|---|---|---|
| $x_4$ | 0.40 | 0.28 | 0.56 | 0.85 | 0.45 |

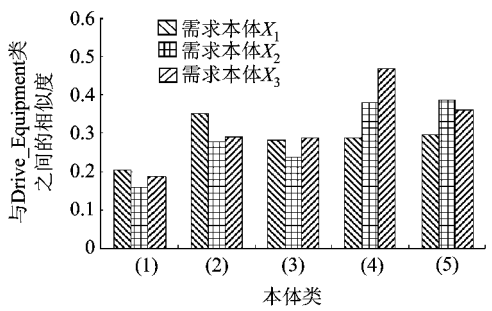
表 2　相似度矩阵(部分约束)

| 节点 | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
|---|---|---|---|---|---|
| $x_1$ | 0.11 | 0.18 | 0.04 | 0.04 | 0.36 |
| $x_2$ | 0.76 | 0.12 | 0.51 | 0.04 | 0.16 |
| $x_3$ | 0.11 | 0.09 | 0.09 | 0.80 | 0.09 |
| $x_5$ | 0.53 | 0.09 | 0.75 | 0.06 | 0.09 |
| $x_6$ | 0.11 | 1.00 | 0.04 | 0.04 | 0.46 |

注:(1)为 Hydraulic_Drive_Device. Operability; (2)为 YZR_AC_Motor_Drive_Device. Efficiency; (3)为 DC_Motor_Drive_Device. Speed_Regulation; (4)为 YZR_AC_Motor_Drive_Device. Initial_Torque; (5)为 JZR_AC_Motor_Drive_Device. Complexity.

### 3.3　概念设计方案生成结果

利用获得的属性和约束节点的相似度矩阵,通过基于图的结构级映射算法可以最终得到本体库中各个类与需求本体中的 Drive_Equipment类之间的相似度,如图 5所示.从中可以看出,虽然描述需求本体使用的词汇与知识库中描述产品设计本体所使用的词汇并不完全一致,本体映射算法仍然可以找到最符合需求本体 $X_1$, $X_2$和 $X_3$的驱动装置概念设计方案分别为:Hydraulic_Drive_Device, JZR_AC_Motor_Drive_Device和 YZR_AC_Motor_Drive_Device.通过设计者与设计系统的交互,经过两次对需求本体的修改和细化,利用本体




(1)—Internal_Combustion_Engine_Drive_Device; (2)—Hydraulic_Drive_Device; (3)—DC_Motor_Drive_Device; (4)—YZR_ZC_Motor_Drive_Device; (5)—JZR_AC_Motor_Drive_Device.

图 5　本体映射结果(部分)

映射算法最终找到了知识库中最符合最终设计需求 $X_3$的驱动装置概念设计方案: YZR_AC_Motor_Drive_Device,该设计方案驱动装置设备复杂度低、操作简单、初始力矩大、驱动效率高、可调速性能好. 在下面的详细设计阶段可以进一步使用基于实例推理的方法,从 YZR_AC_Motor_Drive_Device对应的实例中检索符合设计需求的设计实例,确定具体的参数取值.

### 3.4 系统实现

基于本体映射的起重机起升机构驱动装置方案生成系统的用户接口如图 6所示,它所实现的本体映射算法综合了基于语法、基于约束、基于数据类型以及基于图的映射技术,并为用户提供参数设置、映射结果及过程显示等功能的用户界面.

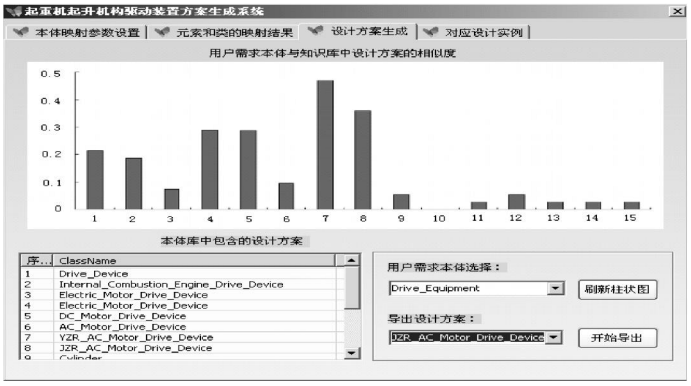



图 6 基于本体映射的方案生成系统

## 4 结 论

针对传统的概念设计方案生成方法中存在的问题,本文将本体与本体映射引入产品概念设计方案生成领域,主要完成了以下工作: ①将概念设计方案组成的搜索空间统一地使用本体进行表达,建立产品设计本体知识库; ②将生成产品概念设计方案的推理问题转换为本体映射问题,提出了基于本体映射的产品概念设计方案生成新方法; ③将基于本体映射的产品概念设计方案生成新方法应用于起重机起升机构驱动装置设计方案的生成,验证了方案生成方法的正确性和有效性.

## 参考文献 (References)


[1] 韩晓建,邓家褆. 机械产品设计的过程建模 [J]. 北京航空航天大学学报, 2000, 26(5): 604 - 607
Han Xiaojian, Deng Jiati. Process modeling of design of mechanical Product [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2000, 26(5): 604 - 607 (in Chinese)

[2] 邓家褆,韩晓建,曾硝,等. 产品概念设计 ——理论、方法与技术 [M]. 北京:机械工业出版社, 2002
Deng Jiati, Han Xiaojian, Zeng Xiao, et al. Product conceptual design——theory, method and technology [M]. Beijing: China Machine Press, 2002 (in Chinese)

[3] 舒慧林,刘继红,钟毅芳. 计算机辅助机械产品概念设计研究综述 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2000, 12(12): 947 - 952
Shu Huilin, Liu Jihong, Zhong Yifang. A survey of computer-aided conceptual design of mechanical products [J]. Journal of Computer Aided Design and Computer Graphics, 2000, 12(12): 947 - 952 (in Chinese)

[4] 韩晓建,邓家褆. 产品概念设计方案的评价方法 [J]. 北京航空航天大学学报, 2000, 26(2): 210 - 212
Han Xiaojian, Deng Jiati. Evaluation method for project conceptual design [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2000, 26(2): 210 - 212 (in Chinese)

[5] 张建明,魏小鹏,张德珍. 产品概念设计的研究现状及其发展方向 [J]. 计算机集成制造系统-CIMS, 2003, 9(8): 613 - 620
Zhang Jianming, Wei Xiaopeng, Zhang Dezhen. Research status and development direction of product conceptual design [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2003, 9(8): 613 - 620 (in Chinese)

[6] 朱礼军,陈虔,刘慧,等. 基于知识本体的资源管理平台框架设计与实现 [J]. 北京航空航天大学学报, 2005, 31(11): 1245 - 1249
Zhu Lijun, Chen Qian, Liu Hui, et al. Ontology based resource management platform design and implementation [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2005, 31(11): 1245 - 1249 (in Chinese)

[7] 高鹏,林兰芬,蔡铭,等. 基于本体映射的产品配置模型自动获取 [J]. 计算机集成制造系统-CIMS, 2003, 9(9): 810 - 816
Gao Peng, Lin Lanfen, Cai Ming, et al. Automatic acquisition of product configuration model based on ontology mapping [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2003, 9(9): 810 - 816 (in Chinese)

[8] Suh N P. Axiomatic design: advances and applications [M]. London: Oxford University Press, 2001

[9] Suh N P. The principles of design [M]. London: Oxford University Press, 1990

[10] Pahi G, Beitz W. Engineering design-a systematic approach [M]. London: the Design Council, 1988

[11] 薛立华. 机械产品概念设计方案生成及评价方法研究 [D]. 大连:大连理工大学机械工程学院, 2005: 42 - 48
Xue Lihua. Scheme generation and evaluation methods of conceptual design of mechanical product [D]. Dalian: School of Mechanical Engineering, Dalian University of Technology, 2005: 42 - 48 (in Chinese)


(责任编辑:刘登敏)