

基于本体的飞机工装设计知识表达^{*}

Ontology-Based Knowledge Representation for Aircraft Tooling Design

西北工业大学现代设计与集成制造技术教育部重点实验室 胡志明 王仲奇 吴建军 黄果 韩洁

[摘要] 知识表达是知识重用的基础,为了更好地使用知识,需要对飞机工装设计知识的表达方式进行研究。首先阐述了本体的概念和其形式化表示语言,并分析了与基于面向对象的知识表达方法的区别;其次通过分析飞机工装设计过程,总结了飞机工装设计领域知识;最后结合本体理论,构建了飞机工装设计知识本体模型。实例说明,本体模型满足飞机工装设计的知识使用要求。

关键词: 本体 设计知识 知识表达 飞机工装

[ABSTRACT] Knowledge representation is the basis for knowledge reuse. In order to make good use of aircraft tooling design knowledge, it's needed to study the knowledge representation. Firstly, ontology and its representation language are described, and the distinction with knowledge representation based on object-oriented is described. Secondly, the aircraft tooling design knowledge is summarized by analysis. Finally, a model is built to express the design knowledge of aircraft tooling with ontology. The case shows that the ontology model is very good to express the design knowledge of aircraft tooling.

Keywords: Ontology Design knowledge Knowledge representation Aircraft tooling

飞机工装,即飞机制造工艺装备,是实现飞机设计制造要求的重要技术物质装备。随着计算机技术和产品设计理论的发展,飞机工装设计方式已从基于经验的设计转变为基于知识的设计,为了更好地实现飞机工装的快速设计,首先需要解决飞机工装设计知识的表达问题。

常用的知识表达方法有:一阶谓词逻辑表达法、生产式表达法、框架表达法、脚本表达法和语义网络表达法,还有一些基于其他理论如模糊理论、神经网络、面向对象和本体的知识表达方法。目前多采用基于面向对

象和基于本体的知识表达方法描述产品设计知识,特别是产品设计实例知识。屠立等^[1]为实现复杂产品设计知识重用,提出了基于面向对象技术的知识模板概念;而张东民等^[2]研究了基于本体的设计知识建模方法,包括设计知识本体的定义、基于本体的设计知识库建立、多视图设计知识检索等;王生发等^[3]提出了面向实例推理的产品设计本体模型,并利用本体技术建立了基于实例推理的产品设计实例本体及产品设计实例本体模型。在工装设计知识表达方面,林剑焯等^[4]通过分析飞机工装概念设计知识表示的特点,研究了基于面向对象的工装概念设计知识表示方法;刘彬等^[5]针对发动机工装设计知识,提出了基于本体的设计知识模型。

本文针对飞机工装设计知识表达问题,首先介绍基于本体的知识表达方法,并通过与基于面向对象的知识表达方法进行对比分析其特点;然后根据飞机工装设计知识的特点,提出一种飞机工装设计知识的表达模型,并以 OWL 本体语言^[6]对模型进行实例表述。

1 基于本体的知识表达方法

“本体论”最早是哲学中的基本概念,一般认为是 1636 年由德国人高克兰纽斯提出,后由沃尔夫和鲍姆加登把它确定下来,是研究世界万物是由什么基本物质构成以及如何构成的问题的学说。为了解决知识描述问题,在 20 世纪 60 年代,“本体”一词被引入人工智能和知识工程领域,但一直没有一个统一的定义。一个被广泛接受的定义是 Studer 于 1998 年提出的“本体是共享概念模型的明确的形式化规范说明”,其形式表述如下。

定义 1: 本体可定义为 $O = D(C, R, A, I)$, 其中 D 为共享领域, C 是概念的集合, R 是关系的集合, A 是公理的集合, I 是实例的集合。

概念,也称为类,可以是任何事物;在语义上,是现实世界中对象的抽象,是对象的集合,一般由概念的名称和自然语言描述来定义。

关系,表达概念之间的相互作用,形式化表达为

^{*} 国防基础科研资助项目(B0520060437)资助。

$R: C_1 \times C_2 \times \dots \times C_n$, 分为定义域和值域两个部分。根据值域的不同可分为属性关系和对象关系,前者为数值或字符串等数据类型,后者为概念。还有一些特殊关系,如函数关系 $F: C_1 \times C_2 \times \dots \times C_{n-1} \rightarrow C_n$ 等。基本的关系有 4 种: part of、kind of (is a)、attribute of 和 instance of。

公理,代表领域知识中永真的断言,如:真和假永不相交等。

实例,一个实例就是现实世界中的唯一实体,是概念的组成元素,是具有具体的关系值概念,即概念的具体化。

本体和面向对象都可以用于对设计知识的表达,对客观世界的概念建模,但是由于建立环境不同和应用侧重点不同,二者之间又有着本质的区别,如表 1 所示。

表1 本体与面向对象的知识表示方法对比

| 对比项 | 本体 | 面向对象 |
|------|--------------------------|---------------------|
| 假设环境 | 开放世界 | 封闭世界 |
| 结构元素 | 类 属性 关系 实体 | 类 属性 方法 对象 |
| 模型特性 | 共享性 清晰性 明确性 系统性 | 封装性 继承性 多态性 |
| 侧重点 | 概念(类)及概念(类)之间的关系 | 类的结构及类的行为方法 |

2 飞机工装设计知识的本体表达

2.1 飞机工装设计领域知识分析

飞机工装涵盖的范围很广,包括标准工装、装配型架及模具和机加夹具等,不管是从无到有的新品设计,还是基于实例的设计,都包括需求分析、初步设计和详细设计等阶段。飞机工装设计过程是在特定约束下,设计者结合以往的设计经验,分析并做出设计决策,得到符合要求的设计结果的过程。其中,特定约束一般指工装设计背景知识和基本的设计选择空间、各种标准和规范等。在过程中,设计知识具有过程相关性、产品相关性、人员相关性、来源多样性和存储异构性等特性。

所以,按设计求解过程和设计知识所起的作用,飞机工装设计知识可分为问题域知识、求解域知识、评估域知识,如图 1 所示。其中,问题域知识包括问题分析过程中需要的设计目标、设计意图、设计概要知识;求解域知识有具体设计过程中使用的设计规范、设计原理、设计案例知识;评估域知识分为验证实验、设计评价、用

户反馈。

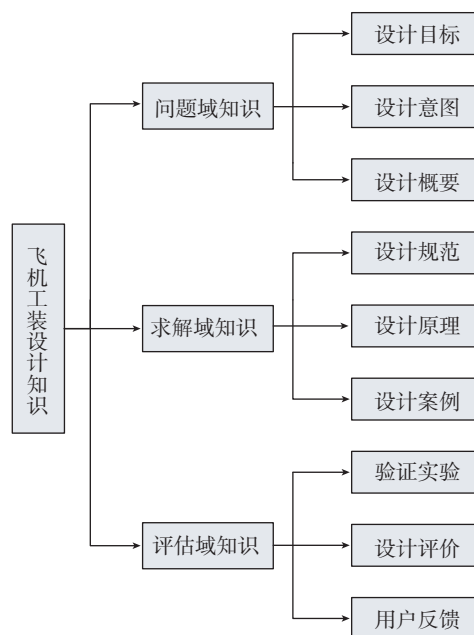


图1 飞机工装设计知识分类

Fig.1 Classification of aircraft tooling design knowledge

2.2 飞机工装的本体模型

飞机工装设计知识是以飞机工装为设计对象在设计过程中使用的知识,也就是说,知识的载体是飞机工装,为了更好地表达设计知识,必然要描述设计对象,所以需要描述设计对象。如图 2 所示,将工装设计对象从功能(F)、结构(S)和行为(B)等方面建立本体模型,功能是行为的目的,行为是功能的实现原因,结构是行为的载体,在模型中,功能相关部件和行为相关部件都来源于结构模型中的部件,因此在各个模块之间建立了联系。

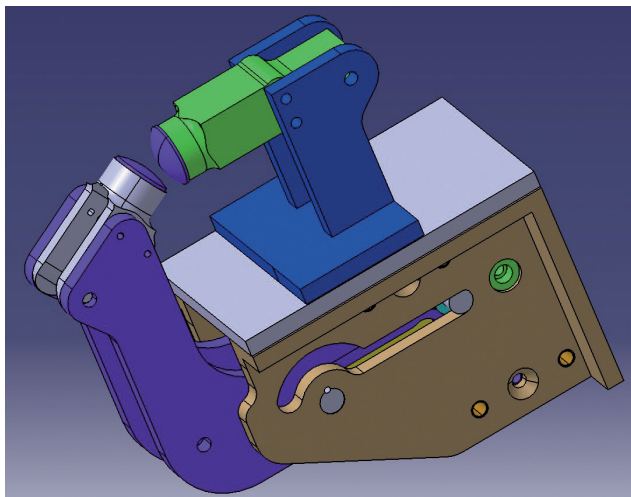
在工装设计对象本体模型中,设计对象概念可分为工装、标准件、自制件、组件、外购件等子概念,这些概念之间存在组成(part of)关系;同时引入功能、结构、行为概念,从事物固有特性上对设计对象进行描述,任何工装设计对象都具有这 3 方面的属性;设计对象还包括工程数据集、BOM 表等属性。

2.3 飞机工装设计知识的本体模型

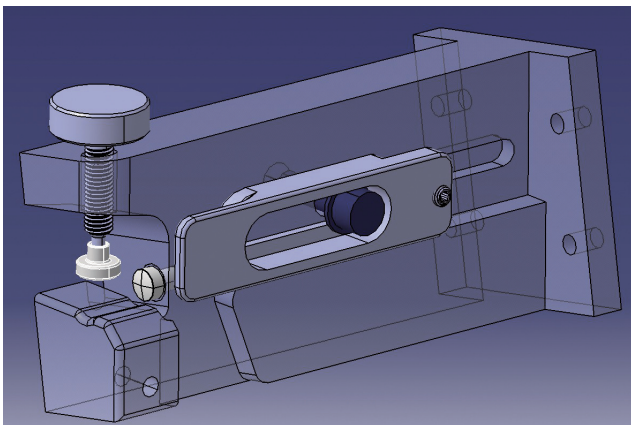
飞机工装设计知识本体模型是对飞机工装设计知识分类中不同知识类别的明确定义,包括对知识概念的属性和概念之间约束关系的明确表达。

定义 2: 飞机工装设计知识类(概念)是飞机工装设计所需要的各种知识,包括问题域知识类、求解域知识类、评估域知识类等 3 大子类,及设计目标类、设计意图类、设计概要类、设计规范类、设计原理类、设计案例类、验证实验类、设计评价类、用户反馈类 9 小子类,也

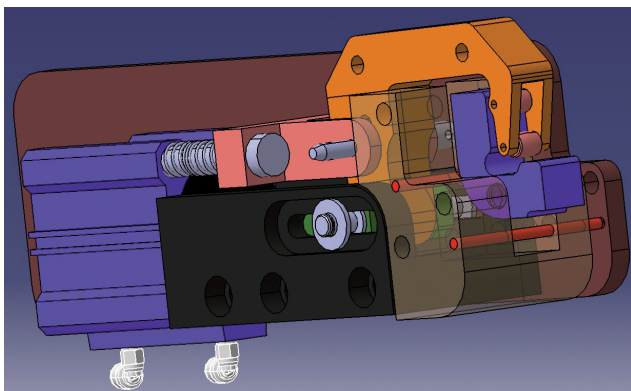
方式选择等概念。其中,设计目标具有功能说明对象属性,动机和用途数据属性,说明长桁定位夹紧件的设计目标。用 W3C 推荐的 OWL 本体描述语言对概念、属性、约束和实例描述如下。



(a) 蒙皮定位夹紧件



(b) 蒙皮长桁端面定位夹紧件



(c) 长桁定位夹紧件

图4 飞机柔性装配工装定位夹紧件

Fig. 4 Locating and clamping elements of aircraft fixture assembly tooling

(1) 概念。

长桁定位夹紧件的概念可表示为:

```
<owl:Class rdf:ID="长桁定位夹紧件">
  <rdfs:subClassof rdf:resource="#定位夹紧件"/>
</owl:Class>
```

(2) 属性。

概念“设计目标”的数据属性“用途”可用 owl:DatatypeProperty 表示为:

```
<owl:DatatypeProperty rdf:ID="用途">
  <rdfs:domain rdf:resource="#设计目标">
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/
XMLSchema#string"/>
</owl:DatatypeProperty>
```

其中,定义域为“设计目标”,类型为 string。

对象属性可用 owl:ObjectProperty 表示,如概念“设计目标”的“功能说明”对象属性表示如下:

```
<owl:ObjectProperty rdf:ID="功能说明">
  <owl:domain rdf:resource="#设计目标">
  <owl:range rdf:resource="#功能"/>
</owl:ObjectProperty>
```

(3) 约束。

概念“长桁定位夹紧件”有且仅有一种结构“局部定位”,其约束关系“具有结构”用 owl:Restriction 表示为:

```
<owl:Class rdf:ID="长桁定位夹紧件">
  <owl:subClassof rdf:resource="#定位夹紧件"/>
  <rdfs:subClassof>
  <owl:Restriction>
    <owl:onProperty rdf:resource="#具有结构"/>
    <owl:hasValue rdf:resource="#局部定位"/>
  </owl:Restriction>
</rdfs:subClassof>
<rdfs:subClassof>
  <owl:Restriction>
    <owl:onProperty rdf:resource="#具有结构"/>
    <owl:cardinality rdf:datatype="http://
www.w3.org/2001/XMLSchema#int">1</owl:cardinality>
  </owl:Restriction>
</rdfs:subClassof>
</owl:Class>
```

(4) 实例。

“局部定位”是“定位结构”的一个实例,可表示为:

```
<定位结构 rdf:ID="局部定位">
```

.....

```
</定位结构>
```

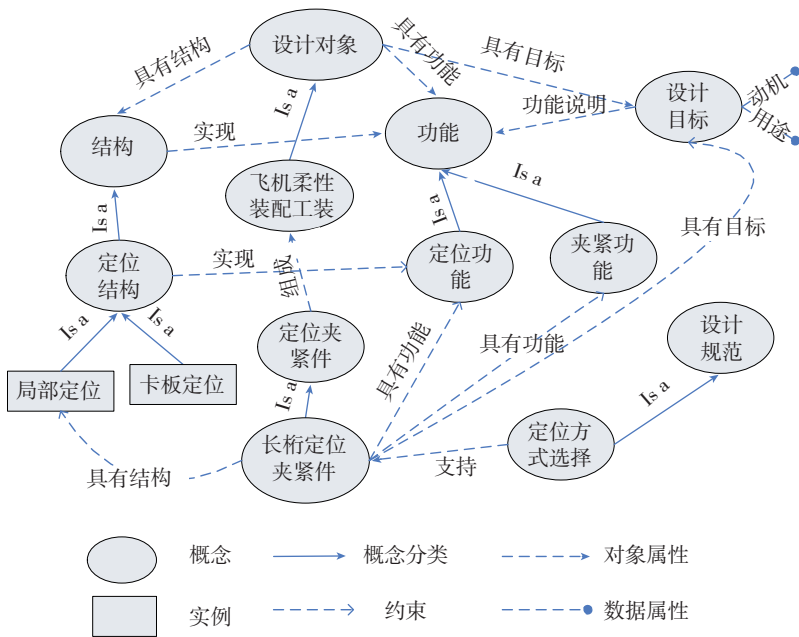


图5 定位夹紧件设计知识本体片段

Fig. 5 Segment of design knowledge ontology of locating and clamping elements

3.2 飞机工装设计知识本体的应用

飞机工装设计不同阶段会用到不同的知识,通过本体方法形式化的飞机工装设计知识能很好地支持设计。设计知识与设计对象紧密关联。例如,要设计一套工装,通过问题分析只要保证蒙皮和长桁的相对位置,如采用分别定位从而保证相对定位的实现方案。如图4所示,有3种类型的定位夹紧件,其具体知识片段如表2所示。

表2 定位夹紧件知识片段

| 序号 | 功能 | 结构 | 关键结构 |
|-----|------------|------|------|
| (a) | 蒙皮定位夹紧 | 连杆结构 | 抓钩 |
| (b) | 蒙皮长桁端面定位夹紧 | 螺栓连接 | 端面 |
| (c) | 长桁定位夹紧 | 连杆结构 | 形状模块 |

此方案需要解决3个问题:(1)蒙皮定位夹紧问题;(2)蒙皮长桁端面定位夹紧问题;(3)长桁定位夹紧问题。先将问题本体化,并在飞机工装设计知识本体库中进行本体推理查询求解,分别得出定位夹紧件a、定位夹紧件b和定位夹紧件c;再根据具体的蒙皮和长桁尺寸,更改其中的关键结构的尺寸以满足要求;通过参数驱动几何建模得到具体的定位夹紧件。

4 结束语

飞机工装设计过程涉及的知识复杂繁多,只有很好地形式化表达设计知识,才能更好地使用知识,提高飞机工装设计品质。按设计阶段和知识的作用对飞机工

装设计知识的进行分类,以设计对象为组织核心,建立了设计知识的本体模型;通过飞机柔性工装的定位夹紧件设计知识的本体实例表达,说明了本体表达飞机工装设计知识的可行性,为飞机工装快速设计及设计知识管理打下了基础。

参考文献

[1] 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.
 [2] 张东民,廖文和,胡建,等.基于本体的设计知识建模.华南理工大学学报(自然科学版),2005(5):26-31.
 [3] 王生发,顾新建,郭剑锋,等.面向实例推理的产品设计本体建模研究及应用.机械工程学报,2007(3):112-117.
 [4] 林剑焯,廖文和,李迎光.基于面向对象的飞机工装概念设计知识表示.机械制造与自动化,2009(5):80-82.
 [5] 刘彬,莫蓉,刘维伟,等.航空发动机工装设计知识管理系统研究.航空制造技术,2010(4):83-86.
 [6] Bechhofer S, Harmelen V F, Hendler J, et al. OWL web ontology language reference. [2010-09-21]. <http://www.w3.org/tr/owl-ref/>.

(责编 深蓝)

(上接第75页)

批(8件)零件的径向孔需要7天,而利用组合夹具在车床加工仅需1.5天就可完成,生产效率提高78%,成本降低约86%。

实践证明,通过设计、使用组合夹具,可以充分发挥车床刀具调整方便的特点,在车床上加工铣床、镗床才能加工的轴类零件径向孔,在保证加工质量的前提下,大幅度提高加工效率和经济效益。

参考文献

[1] 沈晓红,张艳婷,刘静.组合夹具元件的数据驱动设计及数据管理.组合机床与自动化加工技术,2011(4):91-96.
 [2] 陈菊意,李广周.组合夹具的应用效果.新技术新工艺,2008(3):62.
 [3] 张省,金辉.转向泵壳体细长孔钻削夹具的设计.航空制造技术,2010(22):121-122.
 [4] 张玉恩.销轴类零件径向钻孔夹具.金属加工(冷加工),2011(20):34-35.
 [5] 胡杰,郑祥明,王涛.可调V形块在轴类零件检测装置中的应用.轻工机械,2011(1):98-99.
 [6] 林丽珊.泵体孔车床夹具设计.机械工程师,2010(3):142-143.
 [7] 王先逵.机械加工工艺手册.北京:机械工业出版社,2006.
 [8] 田立新.利用SolidWorks软件添加配重.金属加工(冷加工),2009(2):67-68.

(责编 深蓝)