

# 本体论及在机械设计中的应用

刘康, 余玲

(四川理工学院机械工程学院, 四川 自贡 643000)

**摘要:** 文章对本体的概念、作用及方法进行了讨论, 对本体的应用现状进行了回顾。在此基础上, 讨论了机械设计概念设计的特点, 分析了本体论在机械设计中的应用需求, 对其应用做了初步的展望。

**关键词:** 本体; 机械设计; 智能设计; 概念设计

**中图分类号:** TH122 TP391

**文献标识码:** A

## 引言

本体论作为一个人工智能领域有前途的方法, 成为了近年研究的一个热点, 引起了各方学者的注意。同时, 本体论在机械设计中的应用也得到了重视和研究。特别将本体论应用于机械设计智能设计、概念设计和创新设计表现出其独有的优势和前途。但是, 不论是本体论本身, 还是机械智能设计和创新设计, 都正处于研究和发展的过程中。对本体论及其在机械设计中的应用进行回顾, 从总体上讨论其特点及应用前景, 将会对该方面的研究起到良好的作用。

## 1 本体论综述

### 1.1 本体的概念

本体论 (Ontology) 来源于哲学研究, 试图探索客观事物存在的本质。而目前讨论的本体论 (ontology) 则是人工智能领域的一个分支。主要关注知识及知识的积累, 特别注重解决知识的共享和重用问题。近年对本体的研究取得了较多的进步, 但是, 本体究竟是什么依然是一个争论的话题。总的说来, 对于本体有以下代表性的定义:

(1) 本体是概念化的明确说明<sup>[1]</sup>或本体是被共享的概念化的一个明确说明<sup>[2]</sup>。

(2) 本体是用于描述和表达某一领域知识的一组概念和术语, 可用于组织知识库较高层次的知识抽象, 也可以用来描述特定的领域知识<sup>[3]</sup>。

(3) 本体是属于人工智能领域中的内容理论, 它研

究特定领域知识的对象分类, 对象属性和对象关系, 为领域知识描述提供术语<sup>[4]</sup>。

Gumber 和 Borst 的定义<sup>[1]</sup>成为了目前最为流行的一个定义。Gumber<sup>[2]</sup>进一步解释说本体就是概念和关系的描述, 而 Borst 则再强调了其共享的特性。

William & Austin 和 Chandrasekaran 的定义<sup>[3]</sup>更强调本体用于领域知识的描述和抽象。他们主要是从人工智能内容理论的角度来定义本体以及本体的作用。与 Gumber 和 Borst 的定义相比, 这类定义显得更为具体, 更具目的性和实现性, 但也没有离开本体试图描述概念的本质以及由规格化和显示化带来的共享性。

同时, 这些定义及其实现也都强调了本体的几个基本要素: 概念、属性、关系, 试图通过概念、属性及其相互关系来描述事物的本质。

### 1.2 本体的作用

从本体的发展历史及其典型定义中, 可以体会到本体的作用基本上有四层含义:

**概念化模型 (conceptualization)。** 本体是对于客观世界的相关概念进行抽象获得的模型, 能够反映这些概念的客观存在状态。

**明确性 (explicit)。** 本体定义的概念以及这些概念的约束都必须明确的, 没有歧义的, 从而能够获得对于概念本身的正确理解。

**形式化 (formal)。** 本体应该是形式化的, 能够被计算机所理解。

**共享 (share)。** 本体应该反映共同认可的知识, 描述的是相关领域公认的概念集, 其内容及表达方式都能

够充分地由领域所共享和重用。

Riichin&Mitsuru在其本体工程的技术报告中<sup>[5]</sup>提出本体工程的最终目的是成为计算机科学感兴趣的一切事物的基本构建模型,并对本体提出了八个层次的使用:

- 用来作为交流的基本公共词汇
- 用来作为关系数据库的概念框架
- 用来作为知识库的骨干信息
- 用来回答能力(competence)问题
- 用于标准化
- 用来对具有不同概念框架的数据库间进行转换
- 用于知识和知识库的重用
- 用于知识库的再组织

本体提供的概念和知识的方法,使得计算机能够真正地“理解”概念和知识,而不仅仅是存储它们或者仅仅能“匹配”与之相关的词汇。这为人和计算机实现真正的信息交流和共享提供了可能。

### 1.3 本体方法

在实际的应用中,通常采用五元组来描述本体:概念(concepts)或类(class)、关系(relations)、函数(functions)、公理(axioms)、实例(instances)。

概念描述了想表达的任何事物,如任务、功能、行为、策略、推理过程等等。它是表达对象的集合,常常采用类似框架的形式进行表达,包含概念的名称、概念的自然语言描述、概念的属性以及和其它概念间的关系。

关系表达了领域中概念间的相互联系与作用的类型。在形式上定义为  $n$  维笛卡尔集的子集,  $R: C_1 \times C_2 \times \dots \times C_n$ 。通常情况下,基本的语义关系有四种:部分关系 part-of、继承关系 kind-of、实例关系 instance-of 和属性关系 attribute-of。在实际的应用中,还可能包含与领域相关的其它类型的关系。

函数是一类特殊的关系,它的第  $n$  个元素由前  $n-1$  个元素唯一地确定,即  $F: C_1 \times C_2 \times \dots \times C_{n-1} \rightarrow C_n$ 。

真理用来表达模型中的永真断言。

实例用来表达具体的元素,即关于概念的具体的对象。

通常,本体表达的知识被组织成概念或类的目录形式,即由上述五元组形成的目录整体就表达了所要表达的领域知识。在该意义上,本体就是整个目录,目录整体本身就表达了本体所要表达的知识。

在本体构建完成之后,欲表达领域的知识也就表述完成了,具体的任务则可以自由地应用本体表达的领域知识。如何应用则根据任务的具体情况而定,但基本的应用方式主要是根据本体知识进行推理。目前的推理方式主要是依据描述逻辑进行的<sup>[6]</sup>,主要推理运算是包含和归类(subsumption)。此外,通过归类的运算,也可

以较方便地进行一致性检查。

## 2 本体应用现状

### 2.1 领域本体

目前已经有一些领域本体处于应用之中,比较知名的有:

CYC。CYC是美国德州奥斯汀的MCC公司的研究项目,目的是建立一个能够在各种不同领域里进行推理和问题解决背景知识库。

TOVE。TOVE是加拿大多伦多大学的研究项目,其目的是构造企业本体。它为企业应用软件提供了一套尽可能精确的术语定义,能够对企业有关的常识性问题进行演绎和推理。

Enterprise。Enterprise是英国爱丁堡大学人工智能应用研究所的研究项目。它试图通过集成框架来集成企业建模的方法和工具,以改进和替代现有的建模方法。

Wordnet。Wordnet是基于心理语言规则的英文词典,以synsets(在特定的上下文环境中可互换的同义词的集合)为单位组织信息。Wordnet是本体论在信息和词汇领域应用的一个较成功的典型。

### 2.2 本体语言及工具

本体的描述需要有本体语言的支持。由于本体本身还在研究和发展中,本体语言也同样在不断发展。本体语言大都基于框架或者谓词逻辑,或者是两者的结合。目前较常用的本体语言有:

KIF。KIF是斯坦福大学知识系统实验室的研究成果,目前已经成为美国国家标准草案。KIF的基本目的在于提供一个知识交换的标准,以达到在不同计算机系统间进行知识交换的目的。目前很多系统都以KIF作为核心的表达语言,如Ontolingua。

Cycl。Cycl是CYC的知识表示语言,它是一种基于谓词逻辑的表语言,对一阶谓词逻辑进行了扩展。这些扩展允许它在其内部采用与描述其它知识一样的方式对自身的语义进行表达,使所有的知识都具有相同的基点并可以进行推理,这对建立形式化的知识库是至关重要的。

资源描述框架RDF<sup>[7]</sup>。RDF是由全球资讯网协会(W3C)提出的。其基本目的是提出一个描述资源元数据的表达模式,实现机器对于信息的理解。一个RDF的陈述以主体、谓词、客体的方式给出,其概念可以描述为以主体和客体为节点,以谓词作为从主体指向客体的弧的图,这样可以构成关于事物的概念网。RDF的语法是基于XML的RDF/XML。通过使用定义好的RDF词汇及

RDF 陈述的方式, 来描述每一个资源的相关特性或属性, 使用定义好的其它资源。同时, 通过 RDF 描述语言 RDF Schema 可以自己定义 RDF 词汇, 使其成为新的资源。这在本体应用中使得我们可以通过 RDF Schema 来定义类及类的特性, 以及建立相关的类层次和特性层次。

Web 本体语言 OWL<sup>[89]</sup>。OWL 同样是 W3C 提出并极力推广的本体描述语言, 它是建立在 XML、RDF 和 RDF Schema 之上的本体描述语言, 对 RDF 和 RDF Schema 进行了扩展。

OWL 分为三个子语言, OWL Lite、OWL DL 和 OWL Full。OWL Lite 提供描述一个简单的类层次的能力; OWL DL 能够提供描述包括多继承在内的复杂类层次的能力, 同时, 它的推理系统保证了计算的完全性和可确定性, 能够符合大多数用户的需求; OWL Full 提供表达上的完全自由, 但同时也说明, 没有任何推理软件能够保证支持其所有特性。

对于 OWL 而言, 在建立本体的过程中以及本体建立完成以后, 通常需要推理机完成相应的工作, 如建立过程中对于本体分类系统进行检验, 具体应用中的推理等。这通常由相应的软件完成。Racer<sup>[10]</sup>和 Pellet<sup>[11]</sup>就是这么两个软件。此外, Jena<sup>[12]</sup>也是一个用于建立语义 Web 应用程序的 Java 框架, 它提供了对 RDF、RDFS、OWL 的支持, 也同样提供了可以进行本体推理的 API。

在利用本体语言建立本体应用时, 由于应用系统本体层次的复杂性, 使用本体编辑器将会对本体建立带来极大的方便以及避免建立过程中的错误。目前已经有几十种这样的编辑器。其中, Protégé<sup>[13]</sup>是目前国内使用最多的一个免费软件。Protégé 以图形界面的方式支持本体的建立, 可以建立基于其自身框架格式的本体, 也可以建立 OWL 格式的本体。此外, Racer 和 Pellet 都建立了相应的服务器, 可以直接在 Protégé 中使用。

### 3 本体在机械设计中的应用

#### 3.1 本体机械设计应用现状

本体作为一个具有较强优越性的知识表达工具, 在某些领域已经得到了成功的应用。同样, 它也引起了机械设计领域有关专家的关注, 目前已有部分研究者就本体在机械设计中的应用进行研究, 也取得了相当的研究成果。

从目前本体在机械设计中的应用领域来看, 研究相对较多, 也具有一定成效的是本体应用于机械设计功能设计方面的研究。这些研究依托于多年来对功能设计研究, 主要利用本体对功能建模进行改进和表达。在 Pahl 和 Beitz 提出的产品功能定义的基础上<sup>[14]</sup>, Stone 等人提出了功能要素模型<sup>[15]</sup>, 而 Umeda 等人提出的 FBS

模型<sup>[16]</sup>和 Chandrasekaran 等人提出的 SBF 模型得到了广泛的认同, 很多功能设计的相关研究也都在他们研究成果的基础上展开, 目前多数本体在机械设计中的应用研究也在这些基础上展开。

日本大阪大学的 Kitamura 等人针对产品的功能设计, 提出了一个基于本体的功能模型框架<sup>[17-18]</sup>。该框架将功能模型分为行为层、基功能层和元功能层三个层次。行为层描述了产品的结构和行为结构, 即产品的功能具体由哪些实际的结构和行为所实现。基功能层的基功能是行为层行为的目的解释, 其基功能结构通过元语映射映射到行为层。元功能则描述了每个功能对其它功能的作用及其功能类别, 实际上从原始功能的角度描述了获得每个基功能目标的方法。应用这个框架作者已经建立了能够用于功能设计及功能分解的原型系统, 并进行了初步应用。

浙江大学的郭铭等人在基于 S-B-F 模型的基础上, 提出了一个与 Kitamura 等人类似的产品功能知识本体表达框架<sup>[19-20]</sup>。该框架由结构层、行为层和功能层构成, 由本体知识库支持。与大阪大学的研究相比, 在本体构建中更加强调了流的表示, 也给出了具体的应用实例。针对产品的功能描述的研究还有河北工业大学的檀润华教授的研究小组等。这些研究基本都在 Pahl 和 Beitz 提出的功能分类的基础上利用本体进行相关的知识表达。

在概念设计方面利用本体进行表达, 目前国内也有部分学者开始在这个方面进行努力<sup>[22-24]</sup>。其基本方法和思路是通过对概念设计过程的分析, 整理出其知识特点和分类, 再利用本体作为知识表达和管理的基本工具进行表达。从目前的研究成果看, 其研究还处于初步阶段, 知识组织与表达还略显粗糙, 所给出的实例也都不具太多的代表性, 还需要进行很多的研究工作。

在创新设计方面利用本体的研究也处于刚刚开始初级阶段<sup>[25]</sup>, 其方式也是结合概念设计, 利用本体进行知识的表达与描述。同时, 在目前较为成熟的基于 Triz 理论商用创新设计系统中, 如亿维讯公司的 Pro-Innovator 等, 都已经开始使用本体作为其系统构建工具之一。不过本体更多是作为自然语言的理解工具, 这和本体在信息工程中的应用非常接近。

#### 3.2 本体在机械设计中的应用需求与展望

机械工程是一个最古老的学科, 机械设计是其中最关键的一项设计生产活动。该项活动具备显著的知识密集和经验密集型特征。长期以来, 设计工程师们试图应用 CAD 技术来使设计获得更好的质量, 更高的效率。从目前的 CAx 技术的发展水平来看, 机械设计在计算机辅助工程分析, 辅助几何造型方面已经获得了较为满

意的效果。在设计过程的“需求分析—概念设计—详细设计”链条中,这些内容更多地属于详细设计的内容。考虑目前的CAD技术相对更成功地应用于机械设计这些领域的原因,笔者认为主要包含以下两个方面:

● 更加成熟的数学物理模型有利于目前CAD技术的应用。不管是机械设计的各种分析过程,还是几何造型中应用的各种模型,与机械设计的需求分析和概念设计的相关技术比较,都具有更成熟的数学物理模型。这种成熟的模型给利用CAD技术进行建模和分析带来了便利。

● 更加唯一的,无歧义和非经验及非智能的技术理论框架有利于CAD技术的应用。设计过程中的各种分析技术,其技术过程和答案都是精确和唯一的。即便是在一些显得较为模糊的领域,采用诸如模糊理论、粗糙集理论等技术都将其过程和答案变得清晰和唯一了。在几何设计方面,更是一种唯一和精确的方法及结果。这些唯一性的特征,使得现在成熟的CAD技术更能方便地应用,也更能取得较好的效果。

但在机械设计过程中,概念设计阶段的决策从某种意义上讲显得更为重要,因为它决定了产品的绝大部分成本以及性能的好坏,也更大程度地决定了一个企业的竞争能力。因此利用CA<sub>x</sub>技术帮助设计人员从事该方面的工作也越来越成为一种迫切的需求。

与前述成熟的数学物理模型和精确唯一的答案相反,机械设计中概念设计、创新设计一类的任务目前还没有统一,成熟的数学物理模型,其答案往往也是相对较优,并可能有几个性能类似的不同答案或方案。从目前的研究情况看,它们具有如下的一些特征:

● 设计过程基于经验。虽然进行了相当多的研究,也建立了相当的设计理论与模型。但目前阶段对于概念设计、创新设计的设计结果,最终更多地依靠设计师的经验而非特定的精确化的模型。

● 设计模型非数学化。与机械设计的其它设计过程相比,这类设计过程的精确的数学化计算更少,而更依靠比较、决策等非计算过程。

● 设计需求趋于模糊。从设计的原始需求看,其需求方式和描述往往是比较模糊的,而非精确的工程性的参数需求。这些需求往往需要经过某些转化才能成为较明确和确定的工程性性能和参数需求。

● 设计结论非唯一性。这类设计的结果往往是可行方案,而且往往是多个可行方案。在实际设计过程中,虽然最终会选定一个可行方案继续进行下一阶段的设计。但这种选择往往是相对的,并不是有绝对孰优孰劣的指标,即设计结论表现出一定的非唯一性。

上述特征决定了对于该类设计的CAD技术需要更

多地依靠非传统的模型、工具和手段。目前解决该类问题的方法更多地寄希望于人工智能等技术。如前所述,本体论正是目前人工智能领域中关于对象表达的有希望和前途的方法,这使它在机械设计概念设计类的设计过程CAD中有着极为广泛的应用前景。

一个成功的机械设计CAD系统,必须首先建立其辅助设计对象的信息模型。经过多年的研究和发展,结构设计需要的几何模型已经趋于成熟。进一步发展的特征模型和装配模型已经能够表达比几何信息更多的产品的其它信息。各系统间及结构设计各阶段间的联系和信息传递通过STEP等标准也能够得到基本的解决。

在详细设计中的计算机辅助分析方面,基于具体的分析内容,相应的模型也基本成熟并相对固定下来。比如利用有限元进行强度、刚度等分析的模型是基于几何模型基础上的单元划分;利用优化技术进行优化设计的模型则根据具体的优化参数和约束以数学方程式的形式给出。这些模型的基本特征是将分析问题转化为相应的数学物理模型,直接利用数学物理模型来表示和描述分析对象。

概念设计和创新设计的计算机辅助设计目前也逐渐成为研究的热点和重点。但是由于该方面目前还没有公认的统一和成熟的数学物理模型,因此相应的计算机辅助设计系统也处于基于不同的方法和理论的相对独立状态,比如基于TRIZ理论的计算机辅助创新设计系统、基于功能设计和功能分解的辅助设计系统等。这些系统都根据自己的需求采用了特定的信息表达模型,针对自己的应用进行了相应的表达。

这样的方案固然能够针对特定的应用解决特定的需求,但从发展的角度看,这种相互独立、没有联系的信息模型建立方式有诸多的缺点,也必将制约系统的发展。与其他的信息模型相比较,本体论建立的信息模型具有更优良的共享性和重用性,这种共享性和重用性正好是系统进一步发展所需要的,所以本体论应该在概念设计和创新设计计算机辅助设计有所作为。

比如对于创新设计而言,目前应用了多种创新设计方法,如TRIZ理论、创造性模板法、FBS等,同时,它们也都基于如科学效应、数学物理知识等基本理论。从设计知识的角度讲,这些方法和理论的应用都可以归纳为产品知识、设计过程知识和基本原理知识等几类。针对不同的应用方法,这些知识都具有一些仅对特定方法适用的特性知识,但总能总结和抽象出共性的核心知识。这样,我们可以总结出如图1的知识层次框架,并可以利用本体论对其进行恰当的表达,建立具有相当共享性和重用性的信息模型。只要这样的信息模型建立恰当,

这个模型可以在不同的计算机辅助创新设计系统中得到应用, 同时, 各系统间的信息也会因此带来相当的共享性, 并更容易进行交互和信息传递与转换。这对于计算机辅助设计系统的开发和发展具有特殊的重要意义。

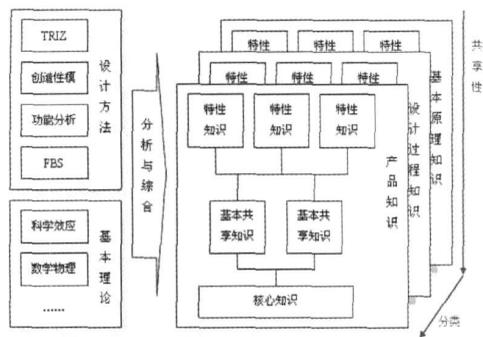


图 1 创新设计的知识层次

参 考 文 献:

[ 1 ] Gruber T. Ontolingua: A translation approach to portable ontology specification [ J ]. Knowledge Acquisition, 1993, 5(2): 199-200

[ 2 ] Borst W N. Construction of Engineer Ontologies [ M ]. Phthesis University of Twente, Enschede, 1997.

[ 3 ] William S Austin T. Ontologies [ J ]. IEEE Intelligent System, 1999, 14( 1): 18-19

[ 4 ] Chandrasekarn B, Josephson JR, Benjamin V R. What are ontologies, and why do we need them [ J ]. IEEE Intelligent System, 1999, 14( 1): 20-26

[ 5 ] Riichiro Mizoguchi Mitsuru Ikeda. Towards Ontology Engineering [ R ]. Technical Report AI-TR-96-1, I S I R , Osaka University

[ 6 ] Franz Baader, Diego Calvanese, Debora L McGuinness et al The Description Logic Handbook [ M ]. Cambridge University Press, 2004

[ 7 ] W 3C. RDF 入门推荐标准, <http://zh.transwki.org/cn/rdfprimer.htm>

[ 8 ] W 3C. OWL Web 本体语言概述, <http://www.transwki.org/cn/owloverview.htm>

[ 9 ] W 3C. OWL Web 本体语言指南, <http://www.transwki.org/cn/owlguide.htm>

[ 10 ] <http://www.racer-systems.com/>

[ 11 ] <http://www.mindswap.org/2003/pellet/faq>

[ 12 ] <http://jena.sourceforge.net/index.html>

[ 13 ] <http://protege.stanford.edu/>

[ 14 ] Pahl G, Beitz W. Engineering Design: A Systematic Approach [ M ]. 3<sup>rd</sup> ed New York: Springer-Verlag, 2007

[ 15 ] Stone R, Wood K. Development of a Functional Basis for Design. Journal of Mechanical Design [ J ]. 2000, 122(4): 359-370

[ 16 ] Umeda Y, Ishii M, Yoshioka M. Supporting conceptual design based on the function-behavior-state modeler [ J ]. Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacture, 1996, 10(4): 275-88

[ 17 ] Yoshinobu Kitamura, Riichiro Mizoguchi, M eta-Functions of Artifacts [ C ]. Proc. of The Thirteenth International Workshop on Qualitative Reasoning (QR-99) Loch Awe, Scotland, 1999, 136-145

[ 18 ] Yoshinobu Kitamura, Toshinobu Sanjo, Kouji Namba et al. A Functional Concept Ontology and Its Application to Automatic Identification of Functional Structures [ J ]. Advanced Engineering Informatics ( former Artificial Intelligence in Engineering ), 2002, 16( 2): 145-163

[ 19 ] 胡玉杰, 李善平, 郭 铭. 基于本体的产品知识表达 [ J ]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2003, 15( 12): 1531-1537

[ 20 ] 应 航, 李善平, 郭 铭, 等. 本体在产品知识 S-B-F 模型表达中的应用研究 [ J ]. 计算机集成制造系统, 2004, 10( 12): 30-38

[ 21 ] 张 立. 基于本体的功能建模方法与协同设计环境研究 [ C ]. 浙江大学硕士论文, 2006

[ 22 ] 廉本宁, 赵晓静, 檀润华, 等. 基于本体的产品功能建模研究 [ J ]. 河北工业大学学报, 2006, 35( 2): 1-5

[ 23 ] 赵燕伟, 胡 坚, 张国贤. 基于 OWL 本体建模的概念产品配置 [ J ]. 中国机械工程, 2004, 15( 19): 1725-1728

[ 24 ] 胡 建, 廖文和, 张东民. 基于本体的概念设计知识管理研究 [ J ]. 机械科学与技术, 2006, 25(2): 171-176

[ 25 ] 唐文献, 李莉敏, 谢心意. 产品自组织进化创新中的本体知识体系 [ J ]. 机械设计与制造, 2005, ( 11): 163-165

Ontology and the Application in Mechanical Design

LIU Kang, YU Ling

( School of Mechanical Engineering, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China )

**Abstract** The concept, role and usage of ontology are discussed, and the application of ontology is reviewed too. Furthermore, the feature of conceptual design of mechanical is discussed, and the requirement of the application of ontology in mechanical design is analyzed, the further application is forecasted preliminarily.

**Key words** ontology; mechanical design; intelligent design; conceptual design