

产品设计知识重用研究

沈斌¹, 宫大²

(1. 同济大学中德学院, 上海 200092; 2. 同济大学机械工程学院, 上海 200092)

摘要: 产品设计是一个知识积累 - 重用的循环上升过程, 而产品设计知识的管理、利用仍然处于杂乱的状态。针对不同的设计知识形式, 采用面向对象技术将知识对象封装成不同的知识单元, 综合利用不同的知识表示方法来描述知识单元, 从而建立集成于设计对象的产品设计的多类型、多层次知识表达模型, 提出了产品设计知识重用概念模型。

关键词: 设计知识; 面向对象; 重用

Study on Product Design Knowledge Reuse

SHEN Bin¹, GONG Da²

(1. Chinesisch Deutsches Hochschulkolleg, Tongji Univ., Shanghai 200092; 2. College of Mechanical Engineering, Tongji Univ., Shanghai 200092)

【Abstract】 Product design is a circularly ascending process of knowledge accumulation and reuse. It is very difficult to manage and reuse knowledge. According to the classification of the design knowledge, a knowledge representation model is presented, which is integrated with design objects. Knowledge units are built to encapsulate the design knowledge, combing with various methods to describe knowledge. A conceptual model of design knowledge reuse is presented.

【Key words】 Design knowledge; Object-oriented; Reuse

产品设计是一个复杂的过程, 在这个过程中蕴涵着同样复杂的大量知识, 这些知识在产品开发的阶段发挥着不同的作用。新产品开发大多根据已有的设计知识或设计成果, 文献[1]中指出, 大约 40%~50%是重用过去的部件设计, 约 30%~40%是对已有的零部件稍作修改, 而只有约 10%~20%是全新的设计。新产品开发人员需要了解相关的设计知识和历史经验, 才能快速地进行产品适应性设计或变型设计; 同时, 成熟的历史设计知识也是产品进行创新设计的依据和参考。由此, 产品设计知识重用策略应运而生。

目前, 对设计知识的研究还处于初始阶段, 主要集中在理论和方法上, 或针对概念设计、或针对设计过程其它环节, 如智能CAD或CAPP等^[2,3], 由于缺乏有效的、统一的知识表示和推理模型, 很难转化为支持并行化、数字化和智能化等先进制造技术的生产力。产品设计知识重用是指对产品设计过程以及该过程中形成的设计信息、设计规则和设计方法与经验等, 经过一系列的知识获取、表达、存储等处理, 最终重复应用到当前的设计活动中, 用于解决新的设计问题。本文针对产品设计不同阶段知识类型的差异, 采用面向对象技术对知识对象进行划分, 并综合其它知识表示方法建立产品设计的多类型、多层次知识表达模型, 在此基础上对设计知识重用策略进行研究, 支持其与产品设计过程的知识集成。

1 产品设计过程与设计知识

并行化、集成化产品设计过程消除了传统产品开发各个阶段的明显界线, 使得产品开发人员不仅要精于自身领域的知识, 同时要领会来自上游开发阶段的结果、任务以及下游阶段的反馈与更改。其中, 每个子过程所涉及的是同一个设计对象, 每个子过程的阶段性结果都是对该设计对象的不同程度的抽象和描述。所以, 要得到最终的产品设计方案, 需要得到每个设计子过程(过程知识)、子过程的节点结果(描述

性知识以及结构性知识等)以及对该子过程的结果进行决策控制(控制知识)等的支持, 这些知识以不同的形式存在于产品设计的过程与设计对象之中。

产品设计, 特别是复杂产品设计的领域知识类型多, 包括经验知识、决策知识、专家知识等, 还包括数据、模型、文档以及相关规则、准则等, 如图1所示。

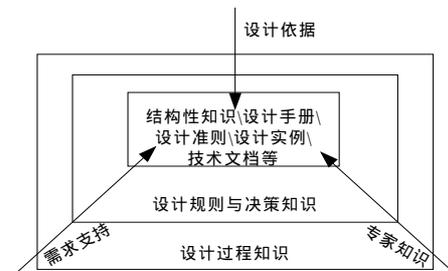


图1 设计知识层次模型

设计知识分为3个不同的层面: 最内层: 通用设计知识层, 包括产品描述、设计手册、设计实例与技术文档等描述性、结构性知识和实例知识, 又称为静态知识, 通过该层对设计对象及其属性进行不同程度的描述与表达; 中间层: 设计规则与决策知识, 是设计问题求解、判断的知识, 包括问题推理的求解、各子过程的设计方案进行评价和决策、设计方案的修改、信息反馈进行控制等; 最外层: 设计过程知识, 控制设计过程分解、设计任务的规划、子过程的知识重用, 通过该层对内层的知识进行引用, 从而引导设计者进行产品

作者简介: 沈斌(1955—), 男, 博士、教授、博导, 主研方向: 现代集成制造, 网络化设计与制造, 数字化制造工程; 宫大, 博士生

收稿日期: 2005-12-08 **E-mail:** da_gong223yahoo.com.cn

设计。其中，专家知识、需求支持、设计依据三者提供对整个产品设计过程的知识支持和服务，通过需求支持以及设计依据可以保持设计对象的一致性和完整性。

2 产品设计知识的处理与重用策略

产品设计不同阶段的设计知识在没有经过知识化管理处理之前，很难系统地支持产品设计。本文提出了一个产品设计知识管理与重用过程模型(如图 2 所示)，通过该模型对产品设计知识的处理以及重用进行了描述。

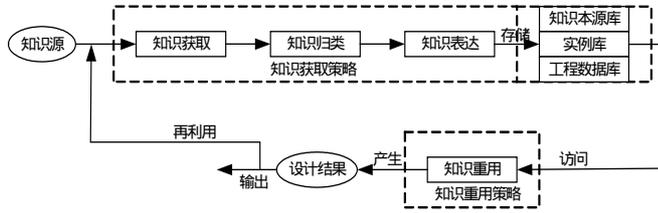


图 2 知识管理与重用过程模型

产品设计知识以不同的形式存在于产品设计不同阶段，各种工程文档、模型、资料以及人脑等设计资源成为知识的原始载体，称为知识源。知识源是没有经过系统处理的原始知识，知识库中的知识来自于知识源。知识源中的知识包括显性知识和隐性知识。

将知识的管理与重用分为 3 个子过程：(1)知识获取：包括知识获取、知识归类、知识表达等，其中知识获取是知识工程师通过各种知识获取方法从知识源中寻求知识；知识归类是按照某种分类规则对识别出的设计知识进行分类，以便于知识表达以及知识模型的建立；知识表达即设计知识的表示形式，机械产品设计知识的复杂性决定了其知识表示不可能采取单一形式进行表达。(2)知识库的建立：包括知识库、实例库、工程数据库的构建，分别用于设计知识、设计实例以及工程数据的存取与管理。(3)知识重用策略：将知识库、实例库中的知识加以利用，即知识重用方式。

经过设计知识重用得到的设计结果，再次作为新的知识源，通过知识处理后添加到产品设计知识库中，从而不断丰富产品设计知识库。

2.1 产品设计知识获取

知识获取是知识管理的第 1 步。人工智能领域的知识获取方法分为主动式和被动式两类：主动式知识获取是知识处理系统根据领域专家给出的数据与资料利用诸如归纳程序之类工具软件直接自动获取或产生知识并装入知识库；而被动式知识获取往往是间接通过一个中介人(知识工程师或用户)并采用知识编辑器之类的工具，把知识传授给知识处理系统^[4]。针对不同的知识源，设计知识获取的形式是不同的，而大多数情况下有关一个设计问题或设计对象的设计知识涉及到多个知识源，需要经过多个设计过程进行处理，所以对产品设计知识的获取带来了一定的困难。设计知识获取的任务包括将专家或工程师头脑中的经验和诀窍总结出来，实现隐性知识到显性知识的转换；最终通过计算机编码与算法，实现显性知识的计算机表示，为其它产品设计领域服务，从而实现知识的共享与利用。如钟佩思等提出了基于概念与或树模型的智能化多级领域知识获取策略^[5]。赖朝安等提出了一种面向机械知识 Web 文本的知识获取新途径^[6]。

2.2 设计知识的归类、表达

产品设计是一个设计对象不断演化的过程，是由抽象到具体的过程，对设计知识的分析可以看出，每种设计知识是

对其设计对象的不同侧面的反映。

产品设计知识从其表现形式看，包括公式类、设计约束、原理性知识、规则、手册知识、设计过程知识、结构性知识、图、表以及实例等。针对不同设计知识的表现形式，采用面向对象方法构建知识单元，每个知识单元封装的知识采用适当的知识表达方式进行表示，知识单元具有独立的知识处理能力。在知识单元之上是设计对象，设计对象具有可分解性，设计对象是知识的载体，代表了知识单元的一体化表示与集成。同时，产品设计过程具有可分解性，每个过程可分解成若干子过程，用面向对象方法建立设计过程对象类来表示产品设计过程知识，通过设计过程对上述设计对象与知识单元进行操作。图 3 为产品设计过程类、设计对象类、知识单元的组织模型。

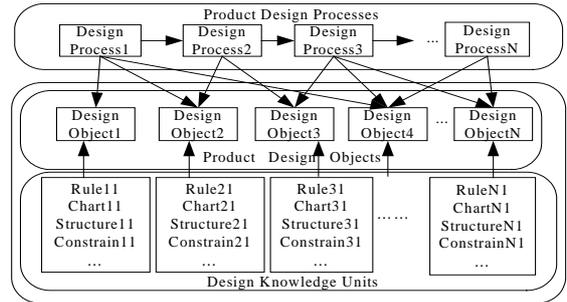


图 3 面向对象的设计知识组织模型

(1)设计过程类(Design Process)。描述产品设计过程的规划、控制，用于设计对象的管理以及设计对象知识的处理，并控制设计结果的生成。

(2)设计对象类(Design Object)。是对产品对象的不同设计阶段的抽象，是设计知识的载体。设计对象本身具有过程性、可分解性，不同设计过程的产品对象的抽象程度不同，分解的目的是将复杂的设计对象分成简单的对象，这种分解关系是一种层次结构，通过子对象间的“与”关系组合成父对象，如图 4、图 5 所示。设计对象在不同的设计阶段代表不同的含义，如概念设计阶段可描述成不同的功能图元、结构设计阶段的产品组件、详细设计阶段的零件等。

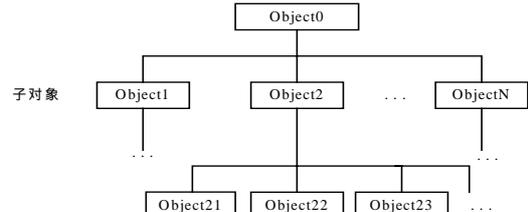


图 4 设计对象单继承层次化结构

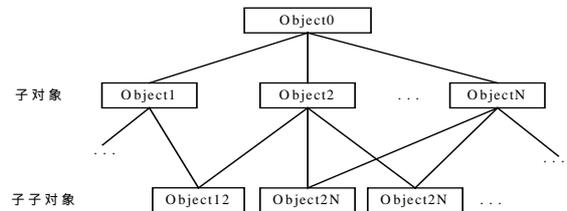


图 5 设计对象多继承层次化结构

(3)知识单元(Knowledge Unit)。用于描述不同类型的知识，知识单元中封装各类知识的属性与操作。

采用面向对象方法对设计过程类知识、设计对象类、知识单元进行表示，利用框架表示法对设计知识单元进行划分与封装。

1)设计过程类(Process)的表示

设计过程类集成了每个设计子过程的步骤和方法,用BNF表示如下:

```

Process = CLA SS <Process_Name> <Parent_Class>
<Relation_Slot> <Process_Entity >
  <Process_Name> =<String>
  <Parent_Class> =<Class_Name>
  <Relation_Slot> =<Relation_Name> <Relation_List>
  <Relation_Name> =<String>
  <Relation_List> =<Class_Name >
  <Process_Entity > = Procedure:<Procedure_Name>
<Procedure_Entity>
  {[Procedure:<Procedure_Name> <Procedure_Entity>]}n
  <Procedure_Name> =<String>
  <Procedure_Entity> =<String >

```

设计过程类的关系槽用于表示该过程与其它过程的关系,如并行关系、串行关系、时序关系等。过程体用来描述本过程对设计对象与设计知识的操作与处理,用过程表达式来表示设计过程知识。

2)设计对象类(Do_Class)的设计

设计对象类实现了设计对象与设计知识单元的集成与封装,根据设计知识单元的知识类别,划分为4个槽:属性槽,关系槽,规则槽,方法槽。

```

Do_Class = CLA SS<Do_Name> <Parent_Class > <Slot>
Do_Name =<String >
Parent_Class =<Class_Name>
Slot =<Attribute_Slot>|<Relation_Slot>|<Rule_Slot>|
<Method_Slot>

```

属性槽的BNF表示如下:

```

<Attribute_Slot> =<Attribute_Name> <Attribute_Value_Class >
<Attribute_Value>
  <Attribute_Name> =<String>
  <Attribute_Value_Class > =Int | Real | Double | String
  <Attribute_Value> =<?????>

```

属性槽描述了设计对象的静态属性知识,如产品的类型、材料、重量、功率、几何尺寸等,槽值类型为一般的整型、实型、双精度或字符串型。此处属性槽值未知。属性槽可以利用框架进行表示。

关系槽的BNF表示如下:

```

<Relation_Slot> =<Relation_Name> <Relation_List>
<Relation_Name> =<String>
<Relation_List> =<Class_Name>

```

关系槽表示该对象与其它设计对象之间的关系,如继承关系、装配关系、拓扑关系、位置关系等知识,槽值为其它设计对象的类名。用谓词逻辑或语义网络来表示。

规则槽的BNF表示如下:

```

<Rule_Slot> =<Rule_Name> <Rule_Entity>
<Rule_Name> =<String>
<Rule_Entity> =<If> <Then>

```

规则槽用于描述产品设计规则或设计原理等知识,可以用产生式规则来表示。

方法槽的BNF表示如下:

```

<Method_Slot> = Method: <Method_Name> <Parameter_List>
<Method_Entity>
  {[ Method:<Method_Name > <Parameter_List > <Method_
Entity > ]}n
  Method_Name =<String >
  Parameter_List =<String >
  Method_Entity =<String>

```

方法槽用于描述一般的数值计算或公式类知识,以及对图、表等知识的操作。

2.3 设计知识库的建立

在确定了各类设计知识的表达方式之后,就需要构建产品设计知识库。知识库是一个知识管理系统的关键,知识库设计的好坏将直接影响到系统的运行效率与运行结果。设计知识库用于存储产品设计知识、实例以及产品设计过程中的一般工程数据,为了便于管理,本文将设计知识库分成3层:知识本源库、设计实例库、工程数据库(如图2所示)。知识本源库中存储设计规则、决策知识、原理知识、过程知识等;实例库中的设计实例包括设计需求、设计任务、设计方案、结构方案以及元件库、图、表等知识;工程数据库存放设计所需的工程资料数据,用于对知识本源库和实例库的补充。

2.4 产品设计知识重用策略

设计知识管理的目的是进行知识的重用与共享,用设计知识来解决产品开发各个过程的设计问题。Shahin等^[7]认为设计重用必须与设计过程进行集成。文中前部分对产品设计过程、设计知识进行了描述,在此基础上提出了产品设计知识重用概念模型,如图6所示。

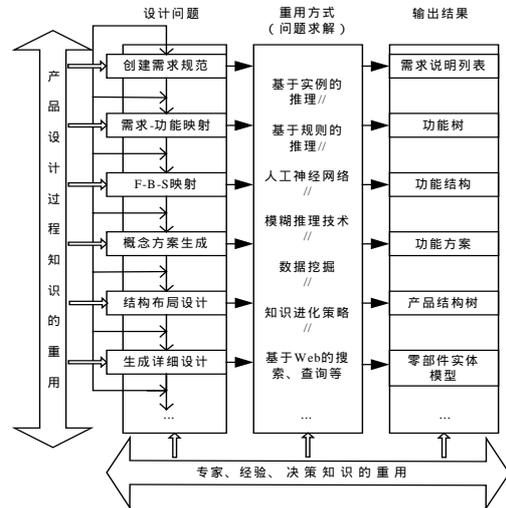


图6 产品设计知识重用概念模型

该模型将产品每个设计过程分为3部分:设计问题的描述、设计知识的重用与共享(即问题求解过程)、设计结果的输出。(1)设计问题的描述即设计问题的表达,通过系统的结构化设计对产品设计问题进行不同程度的描述以及设计对象的分解。(2)设计知识的重用和共享方式,目前设计问题求解有基于实例的推理(CBR)、基于规则的推理(RBR)、神经网络、模糊推理技术、数据挖掘技术、知识进化策略以及基于Web的搜索和查询等方式,每种设计知识的重用方式都有其应用的侧重点,仅依赖一种技术很难适应所有的设计问题求解。(3)设计结果的输出,即设计知识重用系统所提供的阶段性设计数据。设计结果需要经过专家评价与决策才能作为最终的设计模型进行保存,否则,要进行适当的调整和修改,再次进行问题求解。

3 结论

产品设计大多是在原有设计基础上的变型设计或适应性设计,所以对于历史设计结果或设计知识的重用显得尤为重要;同时,成熟的历史设计知识也是产品进行创新设计的依据和参考。本文根据产品设计知识的分类,采用面向对象方

(下转第210页)