# 基于知识集成模型的产品快速设计

赵 晖 席 平

(北京航空航天大学 机械工程及自动化学院，北京 100083)

**摘 要**：为提升现有 CAD(Computer-Aided Design)系统对设计知识的重用能力，提出了设计知识的分层描述和集成建模方案，并给出了具体实施方法. 将设计知识划分到构型层、设计层和造型层 3 个抽象层次，基于 UG(Unigraphics)平台的知识熔接语言(KFL, Knowledge Fusion Language)和 Open++实现了各层设计知识的描述与集成. 构建了知识集成模型的创建和重用支撑系统框架. 作为应用实例，在 UG 平台上开发了专用减速器快速设计系统.

**关 键 词**：产品快速设计；知识集成；知识建模；基于知识的系统

**中图分类号**：TP 391.72

**文献标识码**：A **文 章 编 号**：1001-5965(2007)01-0123-04

## Product rapid design based on integrated knowledge model

Zhao Hui Xi Ping

(School of Mechanical Engineering and Automation, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

**Abstract**: The approach to improve the existing CAD(Computer-aided design) systems′ capacity in design knowledge reuse was discussed. The scheme and implementation approach of representing hierarchical knowledge and constructing integrated knowledge model were proposed. Design knowledge was divided into three abstract layers: configuration layer, design layer and modeling layer. KFL (knowledge fusion language) and Open ++ of UG(Unigraphics) were adopted to represent and integrate design knowledge in the three layers. A system frame supporting the generation and reuse of integrated knowledge model was designed. And the application of the frame was illustrated by a system for the special retarder rapid design.

**Key words**: product rapid design; knowledge integration; knowledge modeling; knowledge-based systems

机械产品设计是一个知识密集型的创新过程，涉及多个部门和众多学科的专业知识、实践经验和创造性思维的综合运用. 因此，在新产品开发中重用设计知识是实现快速设计的有效方法. 但由于设计知识数量巨大、内容广泛，而且形式多样、关联复杂，现有的 CAD(Computer-Aided Design)系统对设计知识的获取和运用能力还停留在较低水平，无法有效实现知识型资源的重用. 因此需要建立一种面向机械产品设计的知识集成模型，并提供一个有效的模型创建和重用环境，以协助设计者重用设计知识，实现产品快速设计.

基于知识集成模型的产品快速设计是指，在产品设计过程中记录并存储设计过程产生和使用的全部知识，形成知识集成模型；知识集成模型融合了专业指导和最佳实践经验，因此可以成为新产品设计的模板；设计者只需给模板提供少量的信息(输入设计参数)或对模板进行少量的修改(修改局部设计知识)，就可以在其蕴涵的相关知识的作用下，自动推理构造出满足需求的设计结果；这样已有的设计知识就可以重新应用到产品

**收稿日期**：2006-01-21

**基金项目**：国家 863 计划资助项目(2003AA411350)

**作者简介**：赵 晖(1977—)，女，辽宁辽阳人，博士生，zhaohui_email@sohu.com.

设计和工作流程之中,从而实现快速设计.

支持产品快速设计的知识集成模型与当前许多学者致力研究的应用于分布式设计和并行设计的信息集成模型[1-2]不同,后者强调产品设计及其相关活动的信息集成和功能集成,主要从标准化、协作性、信息共享和交流方面考虑;而前者主要考虑设计知识与几何模型的融合以及如何通过重用设计知识为产品设计提供及时、具体、有效的指导.

## 1 设计知识的分层表示和集成建模

对设计知识和信息加以抽象、分类,形成不同层次,如图1所示.各层之间既相互独立又层层递进,对各层设计知识分别加以研究和实现,再采用面向对象方法,以设计层作为连接构型层和造型层的桥梁,对3层设计知识进行集成建模.




图1 设计知识的层次

### 1.1 构型层

#### 1.1.1 基于语义网络的描述

构型层描述设计对象间的各种联系,以及决定这些联系的需求和约束.基于语义网络的构型层描述的一般形式如下:

〈构型层语义网络〉::=Merge(〈基本网元〉)

〈基本网元〉::=〈设计对象〉〈联系〉〈设计对象〉

〈设计对象〉::=〈设计对象名〉Merge(〈设计参数〉)

〈联系〉::=〈派生〉|〈选配〉|〈构成〉|〈引用〉|…

〈设计参数〉::=〈参数名〉〈数据类型〉〈行为类型〉〈缺省值〉

设计对象间的联系主要有:①派生联系,反映设计对象的抽象程度,低层设计对象可以继承高层设计对象的特性;②选配联系,设计对象具有共性技术特征,但具体结构不同;③构成联系,反映设计对象及其包含的设计对象间的主从关系;④引用联系,反映设计对象间的参数引用关系.这些联系的有效表达对于决定几何模型自动更新传播的范围至关重要.设计参数反映产品在功能、结构等方面的设计需求和约束条件,是产品设计的初始已知条件,参数值由用户指定或从关联设计对象获取.

#### 1.1.2 基于知识熔接语言的描述

选用内嵌于UG(Unigraphics)系统的知识熔接语言(KFL,Knowledge Fusion Language)实现构型层的计算机表达.KFL的显著特点包括:面向对象特性、声明性、解释性、联合外部知识源的能力等.

1) 构型层语义网络的图形化描述.根据功能分解和功构映射结果,通过系统提供的工具以图形化方式描述各个层次(产品级、零部件级和特征级)的设计对象及相互关联,如图2所示.其中,方框表示设计对象;方框之间的连线和连线上的文字表示联系.

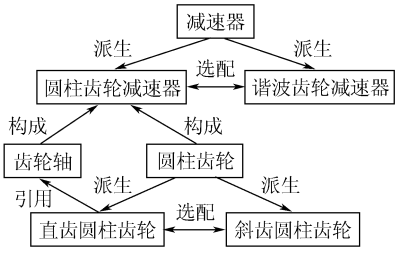


图2 减速器构型层示例

2) 通过表1所示的映射关系实现构型层语义网络向KFL的映射.表中除〈〉内部分由用户手工设置外,其余部分均根据映射关系自动生成.

**表1 构型层语义网络与KFL的映射示例**

| 语义网络 | | KFL描述示例 |
|---|---|---|
| 设计对象 | | # 定义圆柱齿轮类<br>DefClass: 圆柱齿轮类 (齿轮类);<br>〈……# 定义设计参数〉 |
| 联系 | 派生 | # 直齿圆柱齿轮类由圆柱齿轮类派生得到<br>DefClass: 直齿圆柱齿轮类 (圆柱齿轮类); |
| | 构成 | # 在圆柱齿轮减速器类中生成以下语句<br>(Child) 齿轮轴: {class: 齿轮轴类;……};<br>(Child) 圆柱齿轮:{……}; |
| | 选配 | # 在圆柱齿轮减速器类中生成以下语句<br>(Integer) option: 1; # 缺省值设为1<br>(Child) 圆柱齿轮: {class:<br>if (option:=1) then 直齿圆柱齿轮类<br>else if (option:=2) then 斜齿圆柱齿轮类<br>else nulldesign;}; |
| | 引用 | # 在圆柱齿轮减速器类中生成以下语句<br>(Child) 齿轮轴:<br>{class: 齿轮轴类;<br>〈outerradius: 圆柱齿轮: innerradius;〉}; |

### 1.2 设计层

将最小粒度的设计层知识称为规则,规则通过工程演算、推理判断等方法根据约束参数求解被约束参数.因此,尽管规则不能直接表示产品的几何形状,但可以通过设计参数对造型参数的约

束来操纵几何模型.设计层是规则的集合,规则的一般形式如下:

〈规则〉::=〈被约束参数〉〈规则体〉

〈被约束参数〉::=〈参数名〉〈数据类型〉〈行为类型〉

〈规则体〉::=〈具体数值〉|〈变量〉|〈表达式〉|〈函数〉|〈条件控制〉|〈引用〉|〈访问外部知识源的接口〉|〈子规则〉|〈方法(子规则集)〉|…〈推理控制符〉

参数名是参数的唯一标识;数据类型用于指定参数的取值类型以及可对其进行何种运算;行为类型用于限定如何获取、存储和修改参数值,如限定是否可以通过外部程序或界面修改参数值等;规则体用于获取参数值,规则体的表达是设计层知识形式化描述的核心,可通过多种形式加以表达,规则体也可以包含其它规则;推理控制符用于控制推理计算过程,如循环符等.规则表明了约束参数对被约束参数的限定关系,因此彼此独立的规则通过参数构成了约束网络.

同样采用 KFL 实现设计层规则的计算机表达.KFL 本身就是基于规则的,支持对前述各类规则的表达,KFL 描述规则的示例如下:

(Integer Modifiable) TeethNumber: Round (OuterRadius: / Module:); #Integer 表示整型数;Modifiable 表示参数值可被外部程序修改;TeethNumber:为参数名;Round(·)为规则体,表示四舍五入函数.

为提高设计层规则的重用程度,将复杂的约束网络划分为若干子网络,利用 KFL 面向对象的特点,将常用网络或具有通用性的网络进行封装,以便在不同设计对象的设计层描述中重用.

### 1.3　造 型 层

描述造型层的传统方法是几何模型,但它只能表达造型结果,无法表达造型的进化过程,因此只有在模型是全参数化的情况下,获得该模型的造型过程才能在造型主参数的驱动下自动重复进行.对于复杂产品来说,实现模型的全参数化是非常困难的,因此需要利用 CAD 系统提供的二次开发工具显性描述几何模型的创建过程,这样当造型参数受高层设计知识的影响发生改变时,就可以根据对造型过程的描述重新造型以生成新的几何模型.为此,采用 UG 系统提供的二次开发工具 UG/Open++描述造型层,Open++提供了一系列以面向对象语言 C++描述的几何模型的创建函数和方法.但设计层规则是基于 KFL 描述的,要实现高层设计知识对几何模型的驱动,就必须建立 Open++与 KFL 的交互.Open++提供获取已定义的 KFL 设计规则的 UG/KFAPI 函数[3],例如:以 UF_KF_ask_instance 查询类的实例;以 UF_KF_ask_rules 和 UF_KF_ask_rules_of_class 获取实例和类的规则;以 UF_KF_ask_parameters 获取参数;以 UF_KF_evaluate_rule 将定义的规则应用于设计过程中.

## 2　模型的创建与重用支撑系统框架

充分利用现有成熟设计支持系统,通过系统集成建立了如图 3 所示的知识集成模型的创建和重用支撑系统.设计者在语义网络编辑器中,用图形化工具定义设计对象及相互关联,并将其自动映射为 KFL 对象类及类的关联;在 KFL 编辑器中定义设计对象实例,设置设计参数,描述设计规则网络;在 UG/Open++编辑器中描述几何模型及其创建过程,通过 UG/KFAPI 获取驱动几何模型的设计规则,从而实现各个层次的设计知识的集成建模.KFL 解释器负责对 KFL 描述进行解释执行,而后触发 UG 系统的几何引擎,生成可视化的 CAD 模型.集成接口使得各个子系统有机结合在一起,在整个设计过程中,用户始终面对一套用户界面,无需在子系统间切换.

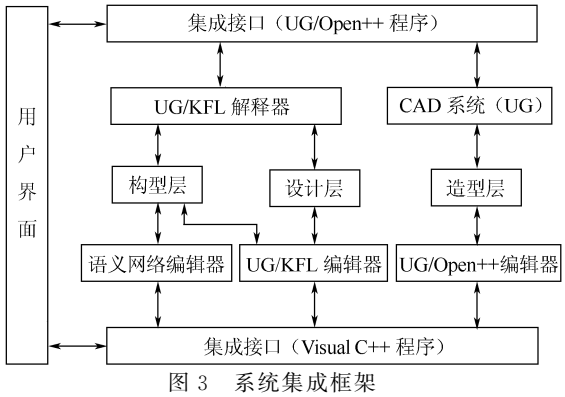

图 3　系统集成框架

## 3　应用实例

基于以上研究和分析结果,完成了雷达导引头专用减速器的各层设计对象的知识集成建模,主要开发工作包括:①构型层.定义各层设计对象,建立设计对象之间的各种联系.通过派生和选配联系将多次进行的单个产品的设计问题转化为对一族产品的设计问题,即采用面向对象方法,建立具有选配联系的设计对象的超类,以封装它们的共性知识,个性知识在子类中表达.通过构成和引用联系建立下级对上级设计对象以及同级设计

对象之间的参数引用关系，以保证在产品级范围内，各装配零部件边界条件的一致性[4]. ②设计层. 采用 UG/KFL 编写设计规则，用设计参数约束关键造型参数. ③造型层. 利用设计层提供的关键造型参数，采用 UG/Open＋＋完成设计对象的几何造型. ④利用 Visual C＋＋开发交互界面：设计者无需在编辑器中直接修改 KFL 语句，只需在交互界面中进行简单的选择和少量的修改即可快速完成变型设计，其过程如图 4 所示（图中几何模型仅为简化模型）. 系统完全在用户界面的引导下执行，按箭头顺序依次为：①检索并选择与新设计最为匹配的已有知识集成模型；②在设计流程的引导下有选择性地修改零部件的设计参数，如电机功率、总传动比、级数等；③生成变型设计结果，设计参数的变化使几何尺寸和拓扑结构都发生了改变.

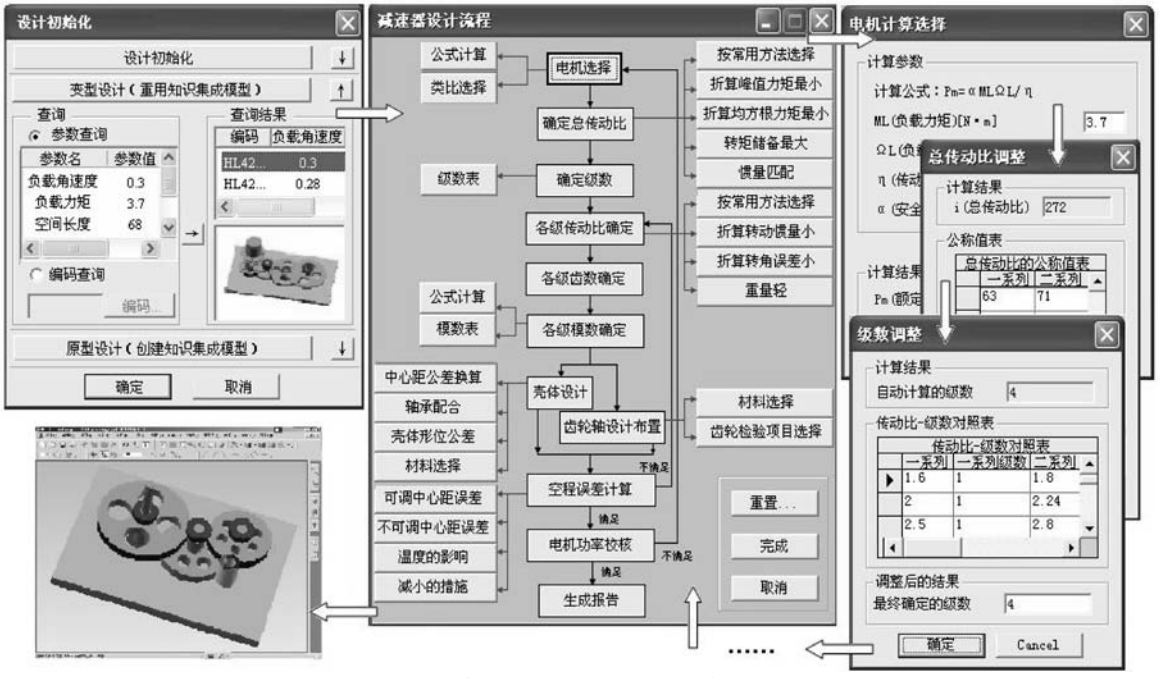


图 4 专用减速器快速变型设计流程

## 4 结 束 语

通过产品设计知识的分层描述和集成建模，使得知识型资源得以形式化表达和存储，对知识集成模型的重用和更新可以使设计者从大量的重复性工作中解放出来，将更多的精力用于创造性工作，从而提高设计效率和质量. 可以针对不同产品进行类似文中专用减速器的应用开发，为中小企业实施客户化定制提供产品快速设计平台.

### 参考文献（References）

[1] 谢来勇，郝永平，张秉权. 基于 XML 的产品信息模型表示及应用[J]. 计算机集成制造系统-CIMS，2004，10(12)：1492－1496
Xie Laiyong，Hao Yongping，Zhang Bingquan. Application and expression of product information model based on XML [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems，2004，10 (12)：1492－1496(in Chinese)

[2] 黄红星，张和明，熊光楞. 并行工程中产品信息集成研究[J]. 计算机工程与应用，2002(10)：30－32
Huang Hongxing，Zhang Heming，Xiong Guangleng. Research of product information integration in concurrent engineering[J]. Computer Engineering and Application，2002 (10)：30－32(in Chinese)

[3] 石晓祥，陈军，彭颖红，等. 覆盖件产品 CEG 集成知识模型及表达[J]. 计算机辅助设计与图形学学报，2002，14(12)：1114－1119
Shi Xiaoxiang，Chen Jun，Peng Yinghong，et al. Integrated knowledge model based on configuration，engineering and geometry for process planning of auto-panel[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics，2002，14 (12)：1114－1119(in Chinese)

[4] 朱晓魏，林忠钦，金先龙，等. 面向大批量定制产品的快速设计系统的研究[J]. 计算机集成制造系统-CIMS，2003，9(9)：817－822
Zhu Xiaowei，Lin Zhongqin，Jin Xianlong，et al. Rapid product design system for mass customization[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems，2003，9(9)：817－822(in Chinese)

（责任编辑：文丽芳）