

基于知识的产品建模技术*

Product Modeling Technology Based on Knowledge

北京航空航天大学机械工程及自动化学院 席平 陈睿智



席平

博士,北京航空航天大学机械学院教授(博导)。目前担任北京航空航天大学CAD(数字化设计)中心主任。主要研究方向:数字化设计技术的基础理论、应用技术研究、软件开发和工程应用,承担多项国家基金、省部级项目及企业应用项目。

与传统的基于几何的产品建模技术相比,基于知识的产品建模技术更适应现代设计的发展需要,其主要特点有:(1)基于产品本身和整个设计过程的信息,建立产品的工程模型。(2)用产品设计、分析和制造的工程准则以及几何、非几何信息等,以知识为驱动力,构成设计知识

目前国内的主流CAD系统尚不具备知识融合与知识驱动的能力,因此进行基于知识的产品建模技术研究,特别是对KBE系统组成和关键技术进行深入研究,对于国内CAD系统的发展、实现产品设计的智能化和设计知识重用的有效实施等都具有重要意义。

联合驱动产品模型。(3)根据主动获取和集成的设计知识自动修改模型,提高了设计对象的自适应能力。(4)将产品设计过程中的设计经验、规范、意图等多领域和多种描述形式的设计知识显性表达出来,储入知识库,使其成为显性知识以便再用。

目前,普遍认为KBE(Knowledge Based Engineering,基于知识的工程)是实现支持知识驱动的智能化产品设计的理想途径,能够为CAD系统智能化提供有效的理论和算法。在对设计知识进行获取、分类、抽象和表达后,KBE系统通过知识推理,将设计参数转换为CAD软件的几何建模所需要的几何参数和几何约束,实现知识重用。

几何驱动建模与知识驱动建模

产品的三维模型是设计意图的具体载体,通过几何尺寸体现设计参

数,对于后续的加工,还应具备CAM可以提取的信息。产品的三维模型按其建模所需信息可以分为:面向结构/几何的产品模型,也称为几何驱动产品建模,和面向知识的产品模型,也称为知识驱动产品建模。

几何驱动建模:建模所需的信息是几何信息,即三维模型的尺寸和用数学表达式表示的尺寸之间的约束关系。设计人员需要将设计参数转换为三维模型的几何尺寸(或几何参数)和约束关系,输入到CAD软件,进行产品建模。

知识驱动建模:建模所需的信息是几何和非几何的,设计人员可以输入设计参数,由知识库根据已有的知识(数学公式、数据、图表、标准、经验等)进行相关的运算,将设计参数转换为几何尺寸(或几何参数)和几何尺寸(或几何参数)之间的约束关系,利用CAD软件的几何造型功能,进行产品建模^[1-2]。

* 基金项目:国家863计划资助项目(2009AA043306)资助。

传统的 CAD 系统是着力建立产品的几何结构模型,一个产品由几个主要模块构成,每个模块又由若干零件装配而成,这种产品模型只包括产品的基本几何信息及几何数据间的拓扑关系,可以完整地描述零件几何信息,但对于非几何设计制造信息,如设计意图、与产品功能相关的非几何参数和制造信息等,则无法在计算机内部逻辑结构中充分表达。从设计重用的角度,这类模型包含的信息有限,对新产品设计的参考意义有限。从制造角度,需要人工补充大量的工程信息才能用于生产。

近年来发展的面向知识的产品模型,是将人工智能(Artificial Intelligence)技术引入了 CAD 系统,提出了 KBE 系统。KBE 系统定义的产品数字化模型包含了几何与非几何信息,初步实现了以知识驱动为特征的设计自动化和智能化^[3-4]。其技术内涵就是在参数化设计中引入知识工程,在建立产品知识库的基础上进行参数化设计,同时实现尺寸驱动

和特征驱动,如图 1 所示。

程准则以及几何、非几何信息等构成产品设计知识联合驱动产品模型,以知识为驱动力;

(3) 根据主动获取和集成的设计知识自动修改模型,提高了设计对象的自适应能力;

(4) 将产品设计过程中的设计经验、规范、意图等多领域和多种描述形式的设计知识显性表达出来,并储入知识库中,成为显性知识以便再用。

商用 CAD 软件中的知识工程模块

近年来商业 CAD 软件中提供了知识工程模块(见表 1),其共同特点都是使用推理机制与 CAD 平台的几何数据结构直接通讯,实现了知识处理技术与 CAD 系统的集成,代表软件有 CATIA 的知识智能化软件、UG/KF、Pro/E 等。

CATIA 和 UG 等的知识处理在本质上是以参数驱动作为中间层来实现的知识驱动。其实现原理就是使用知识推理来控制修改模型的几何参数,然后再通过参数驱动来影响最终的几何模型。这种实现方式相当于在参数驱动之外再附加一层封装,具有实现方便、易于与参数化 CAD 系

统集成的优点,不过也因为必须通过参数驱动来间接地影响最终模型,知识驱动的能力必然受到参数驱动的能力限制,难以对模型拓扑结构、生成策略等参数驱动不易企及的方面进行精细的控制。

PTC 在 Pro/E 2000i 中提供了行为建模(Behavioral Modeling)技术,它使得产品设计时可以综合考虑产品所要求的功能行为、设计背景和几何图形,它用知识捕捉和迭代求解的方法,使 CAD 软件不但能用于造型,而且能通过智能化设计,寻找最优的解决方案。

需要注意的是,各 CAD 软件实施 KBE 都是在各自的 CAD 软件上进行的,由于 CAD 软件之间数据交换存在瓶颈,所以知识在 CAD 平台间的流通存在阻碍,这客观上也阻碍了 KBE 的推广和应用。从应用的角度,面向知识的产品建模还存在以下 3 点问题:

(1) 新知识的软件集成化。目前采用的方法是针对具体的设计领域,例如汽车模具设计,在某一 CAD 软件上进行二次开发,添加相应的知识库。当同一类产品的设计在不同的 CAD 软件上进行,已有的知识库不能直接使用。

(2) 工程知识的表示。尽管各种通用的与领域无关的表示法日趋成熟,但是 CAD 中的工程知识具有数学概念多、图形知识元素使用广泛、针对性强、经验性知识多、具有模

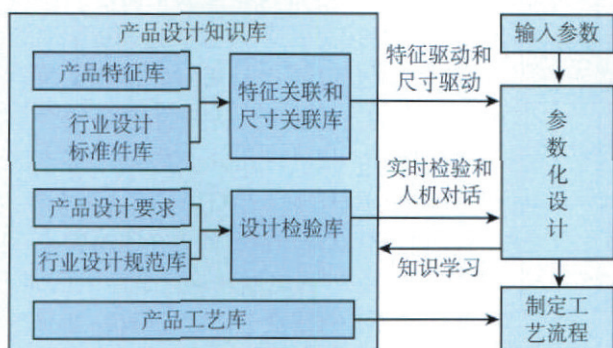


图1 基于知识的参数化设计的基本架构

和特征驱动,如图 1 所示。

与传统的面向几何产品建模技术相比,面向知识产品建模技术更适应现代设计的发展需要,为支持产品设计提供了更为有效的手段,其主要特点有 4 点:

(1) 产品模型是基于产品几何参数和设计过程的信息建立的工程模型;

(2) 产品设计、分析和制造的工

表1 三大商用CAD软件的KBE知识工程模块

名称	KBE知识处理模块	KBE应用模块
CATIA	Knowledge Advisor Knowledge Expert Generative Knowledge	注塑模具设计、三维电气线路系统布置、管道管路系统、钢结构设计、钣金设计等
UG	Knowledge Driven Automation	注塑模具向导、级进模具向导、齿轮工程向导、冲压工程向导、焊接助理、加工专家顾问、强度向导、优化向导等
Pro/E	Behavioral Modeling	注塑模具设计专家、焊接建模及文档编制、电缆敷设计布线系统设计、钣金设计等

糊性、知识量巨大等特点,因此找到一种符合 CAD 中工程知识特点并能够对其进行充分表示的方法并不容易。

(3)知识驱动 CAD 建模的实现。常用的知识驱动方法有基于实例库的知识驱动和基于产生式规则的知识驱动,各有优缺点,从应用的角度需要有更好的知识驱动方式来综合以上 2 种方式的优点并抑制其不足。

KBE 系统的关键技术

1 知识驱动的实现

基于知识驱动的智能产品设计过程是一个进行知识处理的过程,它以开发产品对象的设计模型为基础,分析归纳出设计对象具有的各类隐性知识,通过多种方法将其显性地表达出来,使用各种推理方法驱动模型实现知识的重用,因此支持知识驱动的知识驱动的关键技术之一是产品建模技术。

知识驱动是在几何驱动的基础之上加上的另外一层“壳”。它们之间的关系如图 2 所示。

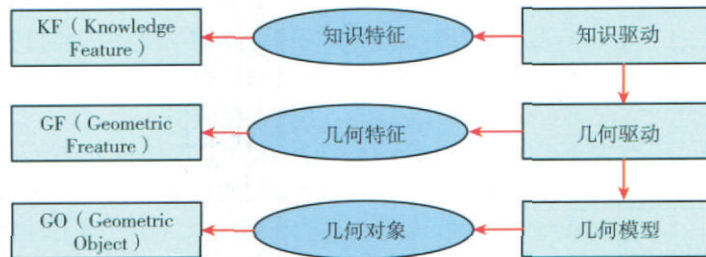


图2 知识驱动的实现原理图

基本原理是通过知识特征来驱动几何特征,然后由几何特征驱动几何模型。因为由几何特征驱动几何模型,即几何驱动在各种商业 CAD 平台已经发展比较完善,而通过知识特征来驱动几何特征的环节还没有得到很好的实现,所以需要一个由知识特征驱动几何特征的独立系统,该系统可以挂接在各种几何平台上,即可在各种不同的 CAD 平台上实现知识驱动。

知识特征(Knowledge Feature, KF)、几何特征(Geometry Feature, GF)和几何模型(Geometry Object, GO)三者之间的对应关系如图 3 所示。其中, KF 与 GF 之间是多对多的关系, GF 与 GO 之间是多对一的关系。

上述关系决定了系统实现的难点是:如何将知识抽象并归类;如何实现 KF 与 GF 之间关系的计算机表示;KF 与 GF 的来源。

2 产品模型的创建方式

KBE 系统可以提供 2 种创建产品模型的方式:创成方式和几何采纳方式^[5]。

创成方式是指利用智能推理语言,将产品配置、工程演算和几何模型构建结合起来创建产品模型。产品配置是指选择组件并按规则装配起来,形成产品;工程演算是按照工程规则确定组件的功用和有效性的决策过程;几何模型构建是指根据产品配置和工程演算建立组件的实际几何结构。采用创成方式构建产品模型时,是用由工程知识和工程

数或添加、修改工程规则,而无需关心 CAD 系统的任何功能,系统就会根据这些工程规则计算工程参数对产品几何参数的影响,并更新其几何模型,实现知识驱动。这样已有的工程知识就可以重新应用到产品设计和工作流程之中了。

几何采纳方式是指 KBE 系统允许载入已存在的纯几何模型,然后为其建立和添加设计知识。几何采纳方式充分利用了传统 CAD 系统的高效的几何建模功能,此外,几何采纳方式允许 KBE 系统自动得到被采纳的几何对象所拥有的参数,这样就使得已经存在的几何模型得以被再利用。

KBE 系统的智能推理语言

KBE 系统与传统的 CAD 系统相比,处理的对象从各种类型的数据转变成了具有丰富内容的知识,处理的形态从数据结构转变成了知识的表示,处理的过程从算法指导转变成了演绎与推理指导,处理的结果从静态的文本格式转变成了动态的多模式链接。因此,建立支持知识驱动的产品信息模型是离不开智能推理语言的。目前最为活跃的 KBE 语言是 Heide 公司的 Intent 语言,已集成于 AutoCAD、UG、CATIA 等 CAD 系统。

1 智能推理语言的 3 个基本特点

(1)智能推理语言是声明性的,而不是过程性的。也就是说,编写规则时不需要考虑顺序,就像在电子表格中编写公式时不需要遵照特定的顺序一样,当需要求解某个公式时,系统可以自动找到该公式并求解。这种代码的无序性有利于编写复杂的程序;

(2)智能推理语言是面向对象的,它以对象的形式来组织数据,具有面向对象的语言的全部特征,如抽象、封装、多态、继承等。这种面向对象的特性有利于在类似的产品中共享共同的功能和特点,更易于实现设

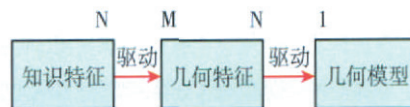


图3 KF、GF、GO三者的关系

规则所确定的几何参数进行几何模型构建,而不是直接使用 CAD 系统进行几何模型构建。因此,当产品模型建立后,产品模型中就融合了专业指导和最佳实践经验。当用户使用这些模型时,只需修改产品的工程参

设计的智能化和动态化;

(3) 智能推理语言是解释性的,不需要编译,可直接调试。

2 智能推理语言概貌

(1) 规则。

智能推理语言的基本单元是规则,工程知识是以规则的形式增加到产品模型中的。从广义上讲,可以为产品模型中的各个对象的属性赋予一个具体值的各种方式都是规则,可以是工程规则、数学公式、具体数值、字符串等,也可以是各种操作、函数、引用、方法以及条件控制等。规则在产品生命周期的任何阶段都可以建立,一旦建立就与其相关的对象一直保持相关性。

(2) 属性、类和实例。

智能推理语言是面向对象的,因此支持类和实例。类是由一系列规则定义的命名属性的集合。每个属性都有它自己的名字、数据类型和决定其具体值的规则。类是抽象的概念,实例是类的具体化。实例以图形化和非图形化 2 种方式来表达。

类可以由一个或多个类派生出来,即类具有多重继承性。类的继承性允许开发者在类方法的选择时具体设定类之间的继承关系来支持复杂对象模型的生成,而且这些复杂对象将以与存储方式无关的方式被维护。

总之,有了类和规则的概念,智能推理语言就可以被认为是一个工具包,这个工具包包括了一系列基本的类,它使产品设计者可以按照自己的设计意图构筑新的类,基本类在新的类中可以被引用和派生。

KBE 系统结构

KBE 系统主要由输入、输出、知识库和知识推理机 4 部分构成,知识库和知识推理机构成了 KBE 系统的核心要素,如图 4 所示。

1 输入

输入信息是指对设计问题进行

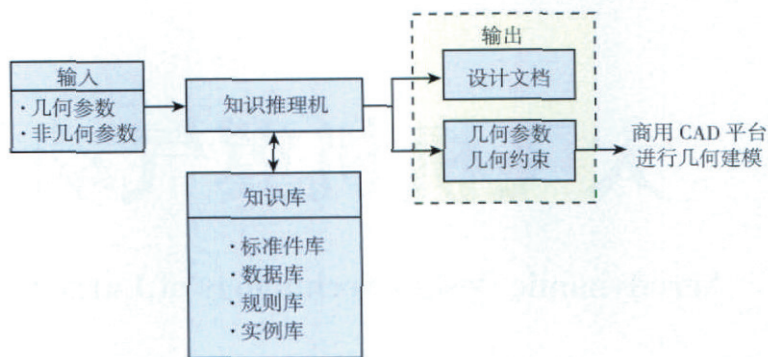


图4 KBE系统结构图

描述的相关信息,包括描述设计意图的几何参数和非几何参数等信息。

2 知识推理机

知识推理机的主要功能是根据当前已知的事实,利用知识库中的知识,协调控制整个系统,将输入的几何和非几何参数转换为几何参数和几何约束。不同的知识表示有不同的推理方式。推理机的推理方式和工作效率不仅与推理机本身的算法有关,还与知识库中的知识以及知识库的组织有关。

3 知识库

知识库是知识的集合,主要功能是存储和管理知识。知识库的建立要考虑的是:什么知识应该放入知识库、怎样采集这些知识、知识库存储知识的类别、知识表达方式的选择、如何组织知识、其他模块怎样应用库中的知识、知识库管理系统设计问题等。

知识库由标准件库、数据库、规则库、实例库等子库构成。其中,标准件库用于存放标准件、通用件及一些常用的系列化产品。数据库用于存放所有与产品设计相关的信息,如各种设计资料,并能通过相应的软件来添加、修改和维护。规则库用于存储领域专家的经验、知识和采用这些知识的规则,库中的知识数据是能够被推理机制采纳并可以通过相应的软件来添加、修改和维护的。实例库用于存放用户提供的一些实例及推

理机所产生的新实例。

4 输出

输入信息是指对几何模型进行描述的相关建模信息,包括几何参数和几何约束,供CAD软件进行几何建模。另外,也可以将这些推理得到的几何参数和几何约束写成设计文档,记录产品几何建模信息,供后续产品开发使用。

结束语

目前国内的主流CAD系统尚不具备知识融合与知识驱动的能力,因此进行基于知识的产品建模技术研究,特别是对KBE系统组成和关键技术进行深入研究,对于国内CAD系统的发展、实现产品设计的智能化和设计知识重用的有效实施等都具有重要意义。

参考文献

- [1] 赵晖. 设计知识重用使能技术研究与实践[D]. 北京:北京航空航天大学,2006.
- [2] 赵晖,席平. 基于知识集成模型的产品快速设计. 北京航空航天大学学报,2007,33(1):123-126.
- [3] 蔡良朋,席平,毛雨辉. 智能CAD系统的分析与设计. 工程图学学报,2008(3):1-5.
- [4] 张俊华,韩华伟. 基于知识的CAD研究现状及进展. 机械设计,2006,23(6):1-4.
- [5] Andrews P, Shahin T. M. M., Sivaloganathan S.. Design reuse in a CAD environment—four case studies. Computers & Industrial Engineering, 1999, 37: 105-109.

(责编 小城)