

金瑛浩 ◆ 著

The Modeling Technology with
Semantic Feature

语义特征建模技术



 吉林大学出版社

通化师范学院学术著作出版基金资助出版

语义特征建模技术

金瑛浩/著



吉林
大学
出版社

图书在版编目(CIP)数据

语义特征建模技术 / 金瑛浩著. — 长春: 吉林大学出版社, 2013.10

ISBN 978-7-5677-0747-4

I. ①语… II. ①金… III. ①语义学-研究
IV. ①H030

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 250257 号

语义特征建模技术

金瑛浩 著

责任编辑、责任校对: 崔晓光

吉林大学出版社出版、发行

开本: 787×1092 1/16

印张: 14.625 字数: 200 千字

ISBN 978-7-5677-0747-4

封面设计: 张沐沉

长春科普快速印刷有限公司 印刷

2013 年 10 月 第 1 版

2013 年 10 月 第 1 次印刷

定价: 52.00 元

版权所有 翻印必究

社址: 长春市明德路 501 号 邮编: 130021

发行部电话: 0431-89580026/28/29

网址: <http://www.jlup.com.cn>

E-mail: jlup@mail.jlu.edu.cn

· 序 言 ·

通化师范学院地处长白山区，为吉林省东南部地区唯一一所本科院校，学校突出长白山自然科学和长白山人文社会科学研究，尤其在高句丽历史文化研究、长白山非物质文化遗产研究和长白山生物资源研究方面取得了重要成果，在国内外引起了重要的反响。为吉林省东南部地区教育、文化、科技事业的发展提供了重要的智力支撑。

通化师范学院博士文库是集中学校博士教师完成的科研成果，由学校学术著作出版基金资助出版的系列学术著作，分批次进行出版，既有博士教师经过完善的博士学位毕业论文，又有承担的各级科研项目研究成果。出版设立通化师范学院博士文库，一方面，为博士教师科研成果的发表搭建了平台，提高他们科研工作的积极性；另一方面，集中展示了学校学科建设和科研工作研究成果，有助于扩大对外交流和宣传。

近年来，学校坚持教师教育及非教师教育多学科协调发展，在开展培养实践性应用型人才教学工作的同时，积极开展科学研究工作，不断提高科学研究水平。承担完成了多项国家级和省部级的自然科学和社会科学研究项目，出版了多部高水平有影响的学术著作，在国内外学术期刊杂志上发表了多篇学术论文，使学校的教学水平和科研水平不断提高，学校的知名度和影响力不断提升。尤其，年轻的博士教师，他们精力充沛，工作热情高，受过系统的科研训练，探究科学前沿能力强，研究方法先进，科研成果层次较高，已成为学校学科建设和科研工作的主力。

首次出版的 15 部学术著作，是从已经通过答辩并经过作者修改的博士论文中遴选出来的。作者在攻读博士学位期间，在导师和业内专家学者的帮助指导下，克服困难，调查研究，科学实验，查阅大量国内外文献，进行归纳整理、比较鉴别、反复修改，形成自己的研究成果，并在各自研

究的领域内取得专家学者的认可。相信各专业的同仁会从他们的著作中了解到研究的方向与轨迹，同时发现取得的成果和存在的不足。这对于开展学术交流、促进学术水平提高是很有好处的。此次出版的 15 部著作，涵盖化学、生物学、计算机科学、历史学、民俗学和社会学等学科。这些成果的集结与出版，对于我校学科建设和教学科研工作的深入开展具有重要意义。

今后，我们还将陆续资助出版博士教师的学术研究成果，促进我校的学术繁荣，使我校的教学和科研成果以更新的视角、更新的资料、更新的方法得以展现。

通化师范学院校长

康子伟

2013 年 8 月 31 日于通化师范学院

· 前 言 ·

语义特征建模技术是集计算机图形学、网络通讯、数据库、人工智能等计算机及其它领域知识于一体的高新技术。它是计算机辅助设计与工业造型设计的核心技术。语义特征建模技术将内在的功能与外观造型设计统一起来,不仅能提高产品的整体综合质量和产品附加值,还可以缩短产品的设计周期,加快新产品的开发和研制的速度。随着计算机集成制造系统和并行工程的发展,要求其核心技术要在传统造型的基础上有质的突破,即定义统一的产品数据模型(产品数字化定义),顺利实现 CAD、计算机辅助工艺过程设计、计算机辅助制造等系统间的信息提取、交换、共享和处理。语义特征建模技术作为电子信息技术的一个重要组成部分,能够促进科研成果的开发和转化,促进传统产业和学科的更新和改造,实现设计自动化,是进一步向计算机集成制造发展的重要技术基础。

随着国际经济竞争的不断激烈,使企业对支持语义特征建模技术的系统需求越来越强烈。目前,国际上商品的平均寿命已经缩短到 3 年左右,大量新产品的问世进一步刺激了人们的需求,使人们对商品的需求层次及个性化程度不断提高。因此,企业亟需一种以特征建模技术为核心的 CAD/CAM 系统来打破常规,充分挖掘和发挥自身的创新能力,提高产品的竞争力和附加值。

近年来,语义特征建模技术越来越受到国内外学者和专家的重视,不仅在理论研究上取得了长足的发展,用于研究和实际应用的软件系统也不断地被开发出来。本书以 HUST-CAID 系统为例既全面系统地介绍了语义特征建模技术的基本理论和方法,又参照近年来国内外研究的最新成果和

发展趋势，编写了此书。

全书共分 13 章，内容丰富、结构紧凑，主要特点如下：

(1) 具有雄厚的实践基础。所论述的内容都经历了学习、消化吸收、编制计算机程序、实例验证、总结归纳和创新等阶段。所有的插图都是作者通过 HUST-CAID 系统中建模而来；

(2) 兼顾传统方法与最新研究成果，内容新颖全面；(3) 注重概念和原理，同时侧重应用；

(4) 为了便于读者查阅和理解本书内容，书中编有三个附录：算法源码、参考文献和中英文词汇对照表；

(5) 兼顾不同需求，适用面较宽。

本书可分为基础、中级和高级三个部分。基础部分为第一章至第四章；中级部分为第五章至第十章；高级部分为第十一章至第十三章。基础部分适用于高等院校本科及广大工程技术人员；高级部分可作为研究生教材，对研究开发人员有重要参考价值；中级部分则同时适用于各类人员。

在本书的编写过程中，笔者得到了通化师范学院领导、科研处以及许多专家的指导和帮助，使得编写工作能够顺利完成。付梓之际，谨表示由衷的敬意和真诚的感谢。

由于笔者自身理论水平和专业修为相对有限，对书中出现的错误与不当，敬请诸位不吝赐教，以便今后编写过程中加以改进、完善。

金瑛浩

2013 年 8 月

目 录

第一章

导论	/003
第一节 智能 CAD 系统的发展现状	/005
一、特征建模系统	/005
二、智能特征建模系统	/006
第二节 CAD 模型知识表示研究现状	/012
一、产品模型的表示法研究	/012
二、模型知识的表示	/013
第三节 概念设计研究现状	/014
一、概念设计信息描述	/015
二、设计概念生成	/015
三、设计方案的评估与改进	/016
四、辅助概念设计系统的实现	/017

第二章

基于细胞元模型的语义表示法	/021
第一节 基于细胞元模型的语义表示法	/021
第二节 基于语义表示法的模型数据管理	/026
一、基于语义表示法的细胞元模型	/026

二、特征依赖图	/031
第三节 基于语义表示法的模型数据转换	/032
第四节 基于语义表示法的特征数据管理	/035
一、特征插入和删除	/035
二、特征修改	/037
三、特征布尔操作	/038
第五节 基于语义表示法的模型有效性验证	/044

第三章

基于语义表示法的 CAD 知识表示	/051
第一节 基于语义表示法的模型知识表示	/051
一、语义依赖图	/052
二、产品模型的知识表示	/055
三、知识组成与调整方法	/061
第二节 基于语义表示法的行为知识表示	/063
一、基于语义表示法的“满意”行为提取	/064
二、基于语义表示法的“半满意”行为提取	/066
三、基于语义表示法的“不满意”行为提取	/068
四、基于语义表示法的行为知识表示	/068
第三节 基于行为的知识评价	/070

第四章

基于语义表示法的特征参数优化	/077
第一节 基于语义表示法的参数范围推理与表示	/077
一、单一特征的参数范围推理	/077
二、多特征的参数范围推理	/078

三、基于语义表示法的特征参数表示	/080
第二节 基于语义表示法的特征评价与选择	/082
一、基于语义表示法的特征评价	/082
二、基于语义表示法的优秀特征选择	/087
第三节 基于语义表示法的特征构建	/088
一、基于特征语义交叉构建的特征	/088
二、基于特征语义变异构建的特征	/092
第四节 基于语义表示法的特征过滤	/095

第五章

基于语义表示法的概念设计	/101
第一节 机械运动概念设计中的特征表示方法	/101
二、行为知识表示方法的局限性	/101
二、基于语义面和力传递的特征表示方法	/103
第三节 基于语义面和力传递方法的概念设计推理	/108
一、推理问题表示	/108
二、推理求解方法	/109

第六章

语义特征的曲面细分	/117
第一节 细分方法的定义	/117
第二节 几种典型的细分模式	/118
一、Catmull - Clark 细分	/118
二、Loop 细分	/120
三、Doo - Sabin 细分	/122
四、Butterfly 细分	/123

第三节 细分方法的分类及特点	/124
一、细分方法的分类	/124
二、细分方法的特点	/126
第四节 自适应细分技术	/127
一、二面角准则	/127
二、顶点平坦度准则	/128
三、其他几何准则	/129
第五节 支持细分的数据结构	/130
一、四叉树结构	/130
二、半边数据结构	/132
第六节 半边结构的扩展	/133
一、扩展的半边结构	/133
二、二维组合映射	/134
三、超映射	/135
第七节 多分辨率扩展模型	/135
一、多分辨率超映射	/135
二、多分辨率二维映射	/137
第八节 多分辨率半边结构设计及实现	/139
一、多分辨率半边的数据结构	/139
二、基本型多分辨率半边结构	/141
三、对偶型多分辨率半边结构	/142
四、多分辨率半边结构的遍历算法	/143
五、构造统一细分模式	/144
1. 对基本型细分的表示	/144
2. 对对偶型细分的表示	/146
第九节 构造自适应细分模式	/146
第十节 多分辨率半边结构的评估	/150
一、时间复杂度	/150
二、空间复杂度	/152

第十一节 特征曲面的细分	/155
--------------------	------

第七章

协同语义特征建模	/159
----------------	------

第一节 基于特征面的分层次 CAD 模型快速传输	/159
--------------------------------	------

一、CAD 模型技术	/159
------------------	------

二、语义特征模型的体系结构	/163
---------------------	------

三、角色机制	/170
--------------	------

四、实现方法	/174
--------------	------

第二节 基于特征优先关系的冲突消解方法	/178
---------------------------	------

一、协同设计冲突消解的基本理论	/178
-----------------------	------

二、特征间的依赖关系	/184
------------------	------

三、特征依赖集	/187
---------------	------

四、基于特征依赖关系的冲突消解方法	/190
-------------------------	------

第三节 基于语义特征造型的虚拟装配技术	/194
---------------------------	------

一、协同虚拟装配的基本概念	/195
---------------------	------

二、协同装配关系模型	/196
------------------	------

三、装配实例	/201
--------------	------

参考文献	/205
------------	------

致 谢	/221
-----------	------

第一章

DIYIZHANG



导 论

计算机辅助工业设计 (computer aided industrial design, CAID) 融计算机辅助设计 (computer aided design, CAD) 与工业造型设计 (industrial design, ID) 于一体, 将内在的功能与外观造型设计统一起来, 提高产品的整体综合质量和产品附加值, 缩短设计周期, 加速新产品的开发和研制。随着计算机集成制造系统 (computer integrated manufacturing systems, CIMS) 和并行工程 (concurrent engineering, CE) 的发展, 要求其核心技术要在传统造型的基础上有质的突破, 即定义统一的产品数据模型 (产品数字化定义), 顺利实现 CAD、计算机辅助工艺过程设计 (computer aided process planning, CAPP)、计算机辅助制造 (computer aided manufacturing, CAM) 等系统间的信息提取、交换、共享和处理。CAID 技术作为电子信息技术的一个重要组成部分, 能够促进科研成果的开发和转化, 促进传统产业和学科的更新和改造, 实现设计自动化, 是进一步向计算机集成制造 (computer integrated manufacturing, CIM) 发展的重要技术基础。

计算机支持的辅助设计将传统手工设计模型的方式转向了依靠计算机技术实现产品设计的先进模式, 新的模型设计模式大大减少了设计师的重复劳动, 缩短了设计周期, 加速了新产品的开发和研制。CAD 技术是集计算机图形学、网络通讯、数据库等计算机及其他领域知识于一体的高新技术, 在过去几十年中, CAD 技术 (尤其是智能 CAD 技术) 对推动生产力的发展起到了至关重要的作用。随着国际经济竞争的不断激烈, 使企业的支持概念设计的建模系统的要求越来越强烈。目前国际上商品的平均寿命已经缩短到 3 年左右, 大量新产品的问世进一步刺激了人们的需求, 使人们对商品的需求层次及个性化程度不断提高。因此企业必须打破常规, 充

分挖掘和发挥自身的创新能力，提高产品的竞争力和附加值。因此提高语义特征建模系统的知识表示、知识积累和知识复用的能力以及 CAD 系统的智能水平，全面支持产品概念设计的推理是 CAD 系统发展的必然趋势。

特征造型技术能够为设计人员提供特定领域内高层次的概念设计与功能设计的能力。建立基于特征的统一而完备的产品信息模型，能够从根本上解决产品在设计、生产、质量控制和组织管理等各个环节之间的数据交换和共享问题。由于特征造型技术所固有的一些缺陷和不足，以及市场竞争对 CAD/CAID 系统不断提出的要求，在 CAD/CAID 系统中引入知识工程从而产生智能 CAD/CAID 系统，已经成为 CAD 发展的必然趋势。

然而 CAID 设计是一个含有高度智能的人类创造性活动。它主要包括三个部分：智力创造、分析计算和设计表达。其中，智力创造又包括设计过程中的推理、综合、类比等内容，这些都是需要通过思维活动来实现的工作；分析计算是通过数学方法对产品的行为进行分析或对性能进行仿真和模拟；设计表达是将设计的结果以图形、文字或数字的形式表述出来。传统 CAD/CAID 系统只能辅助工程技术人员完成后两类设计工作：在分析计算方面，以有限元分析技术为代表，包括各种专用的工程计算系统、仿真系统、分析系统、模拟系统等；在产品表达方面，包括早期 CAD 技术研发的重点——二维绘图技术和今天已被普遍采用的产品三维造型技术，以及由产品三维表达带来的增值功能，如：干涉检查、虚拟装配等等。但是设计的核心和关键是智力创造，传统 CAD/CAID 技术并未能对这一部分工作提供有力的辅助和支持。智能 CAD/CAID 技术的研究目标就是建立能够辅助设计人员完成设计工作中（包括智力创造在内）各种设计活动的智能 CAD 系统或环境，从而进一步增强 CAD/CAID 系统对设计工作的支持强度，提高设计的自动化程度。从这个意义上看，智能 CAD 技术是对传统 CAD 技术的智能化扩展，也是真正、完整意义上的计算机辅助“设计”。

第一节 智能 CAD 系统的发展现状

一、特征建模系统

特征建模技术是 CAD/CAPP/CAM 集成系统的关键技术之一，是产品模型设计的核心。它为全局集成产品模型提供了有效的手段。特征造型的核心思想就是使产品设计者将主要精力集中到模型的高层设计上，通过将产品模型中的功能信息与形状信息相关联来实现特征造型。特征造型把参数化、变量化的基本图元作为特征，使用特征组合构造零件的几何形状。特征是信息的集合体，是具有一定形状的。通常是一定形状的二维或三维的图形，并在其上附加精度、材料、管理等高级信息。同时，特征是与设计活动和制造方法有关的几何图元。基于特征的模型具有一定的工程和加工意义，使用户能够迅速地设计出 CAM 所能理解的产品，因此是实现 CAD/CAPP/CAM 集成的重要途径。

鉴于在造型过程中，特征造型系统无法很好地保持特征的语义不变，于是人们提出了语义特征造型的概念。在基于语义特征造型的系统中，特征的许多属性包括几何参数和有效性条件等都由约束声明，因而使模型的维护和特征的定义完全分离。在语义特征造型系统中用户可以通过在已有特征类上增加约束条件而定义新的特征类，并存储在特征库中。在造型期间这些新特征能够被列出，供用户使用。

语义特征造型存在两层实体结构，可以将构造几何模型中的实体区分开来。第一层是造型实体，保存着执行了所有模型操作的实体，包括了所有相互依赖的特征和约束的实例。第二层是几何模型，含有细胞元模型中的几何表示，以及在造型实体上操作的结果。

Bidarra 等人提出基于细胞元模型表示方法，利用特征依赖图来实现与历程无关的特征操作。细胞元模型支持语义特征的具体化和特征造型的有效性维护，能见到更多的特征模型的功能信息，支持多种产品发展阶段