

集成制造中的 特征映射技术

郑德涛 著



机械工业出版社

TH166
Z39

集成制造中的特征映射技术

郑德涛 著



机械工业出版社

1999
12月

序

计算机集成制造是当前先进制造技术中的重要组成部分。从产品全生命周期的各个环节来看，其中包括市场需求、设计开发、制造生产、销售使用、报废处理和再循环，都存在着各自信息的获取和转换等问题。特别是从设计域获取制造域所需的信息是一个关键，至今仍为集成制造系统中的难题。本书全面系统地论述了机械零件设计域到制造域的特征映射技术，并以箱体类零件为例，阐述了特征映射的实际应用方法。该项技术应用在计算机集成制造中，有效地解决了计算机辅助工艺设计中产品信息的自动获取，提出了进一步完整表达与转换产品生命周期各阶段信息的新途径。该书论述深入浅出，理论联系实际，图文实例结合，是一本很有参考意义的著作。

王先逵 于北京清华园
1999年5月

前 言

特征映射是以特征作为信息的描述单元和转换基础的。在集成制造环境中深入研究特征信息的映射原理及方法，不仅可以在理论上丰富和完善特征技术，而且可以提供一种实现产品设计域与制造域之间，即 CAD（以特征造型为基础）与 CAPP 之间高层产品信息自动转换的方法，从而有助于真正实现 CAD/CAPP 的信息集成，并促进 CAD/CAPP/CAM 技术的进一步完善和发展。

本书以机械产品集成制造为应用背景，详细阐述了 CAD 与 CAPP 之间特征映射的基本概念、数学模型、系统结构，并通过实例介绍了特征映射的应用方法。

本书以作者博士学位论文《零件设计域到制造域的特征映射研究》为主要参考，并包括国家自然科学基金资助项目“面向并行设计的广义特征及其映射的研究”和国家 863/CIMS 主题资助项目“基于特征映射的异地资源配置及可制造性评价研究”的部分研究内容。在博士课题研究及本书的写作过程中，导师王先逵教授始终给予作者极大的关怀、鼓励和悉心指导，并亲自为本书作序，在此向导师致以崇高的敬意和深深的感谢。同时

也衷心感谢副导师孙健教授多年来的关心与指导。感谢与作者在工作上密切合作的高健副教授、张平副教授，几年来他们给予了作者大力支持和帮助。感谢陈新教授、于兆勤副教授、陈新度副教授等同事和研究生的支持和帮助。

由于作者水平有限，书中难免有错误和不足之处，敬请读者批评指正。

作 者

1999 年 5 月

目 录

序

前言

第一章 绪论	1
第二章 特征与特征映射的基本概念	8
第一节 特征定义、分类和交互性	8
第二节 特征映射的基本概念与基本形式	21
第三节 特征映射的实现方法	26
第三章 特征映射理论分析	33
第一节 数学基础	33
第二节 特征表达	43
第三节 特征映射函数	53
第四章 特征映射系统开发	77
第一节 特征映射系统结构	77
第二节 形状特征映射	84
第三节 设计—工艺约束特征映射	119
第四节 特征映射后处理器	137
第五章 特征映射实例	153
参考文献	189

第一章 绪 论

一、集成制造中的产品信息转换

集成制造技术是现代制造技术的重要组成部分。为实现机械产品的计算机集成制造，一个很关键的问题是要解决产品设计域与制造域间的信息转换，即 CAD (计算机辅助设计, Computer Aided Design) 与 CAPP (计算机辅助工艺设计, Computer Aided Process Planning) 之间的信息集成。解决这一关键技术的难点在于如何准确、有效地从 CAD 系统中获取 CAPP 系统所需要的各种工艺信息。随着特征技术的发展，特征识别与特征设计被认为是目前解决 CAD/CAPP 信息集成的两种主要方法。

特征识别是以产品几何模型为基础，采用某种推理方法，从几何模型的点、线、面信息中识别出满足 CAPP 需要的特征信息。特征识别过程一般分为以下主要阶段：

- 1) 根据产品几何模型构造辅助几何数据库，以加速特征搜索。
- 2) 搜索几何数据库，与预先给定的几何特征相匹配。
- 3) 从数据库中提取已识别出的特征。
- 4) 确定特征参数。

5) 完善几何特征模型。

6) 组合简单特征以形成复合特征。

根据零件几何模型的类别,特征识别方法主要可分为基于 B-rep 模型和基于 CSG 模型两类。其中基于 B-rep 模型方法又有四种不同形式:基于图法、基于规则法、句法模式法和体分解法。这些特征识别方法涉及的关键技术有:

1. 匹配(Matching)

匹配是特征识别算法的核心技术,一般分为句法模式匹配和图匹配两种形式。前者常为回转类零件的特征识别算法所采用,后者常为棱柱形零件的特征识别所采用。

在句法模式匹配的系统,几何模型是由一系列典型的直线、圆或其它曲线段来描述。相应的语言按一定的句法规则描述几何模型,然后特征就可以通过语法分析被识别出。

2. 实体生成(Entity Growing)

在许多基于 B-rep 模型的特征识别算法中,由于采用体表示特征,而被识别特征通常是不封闭的,因此需要添加新面以形成封闭的形体。这种通过添加面而形成封闭的,区别特征体的过程称为实体生成过程。实体生成有边延伸、面延伸和半空间延伸三种形式。

3. 体分解(Volume Decomposition)

体分解的目的是从原料毛坯上标识出被切除的材料,并将它们分解成与不同的加工操作相对应的加工特

征单元。一般而言,由加工操作切除的体积可以由毛坯与零件最终形状的布尔差得到。

4. CSG 树重组 (Recognition from CSG Tree)

CSG 树重组用以解决 CSG 特征识别过程中特征体表达存在不唯一性的问题。通过 CSG 树重组可有助于明确 CSG 树与特征生成体的一一对应关系或同一特征体的多个表达形式之间的等效性。

特征识别提供了实现 CAD 与 CAPP 信息集成的一条途径,特别是在零件几何特征的提取中发挥了重要作用。但是也存在明显不足,例如:

1) 特征识别算法与特征识别应用领域有关,而且常常局限于某一类几何形体。这一特性虽然具有简化算法与推理规则的优点,但同时也带来几何特征识别有限这一不足。

2) 由于以零件几何信息(点、线、面)为识别基础,因此识别过程及其算法复杂,特别是难以解决特征交互问题。

3) 无法识别出设计人员赋予零件的非几何信息(尺寸公差、表面粗糙度等),造成 CAPP 系统缺乏完整的工艺信息,难以真正实现 CAD/CAPP 信息的集成。

特征识别方法由于上述明显缺陷,使其进一步发展和在 CAD/CAPP 信息集成中应用受到限制。

特征设计 (Design by Feature) 又称为基于特征的设计 (Feature-based Design) 或基于特征的建模 (Feature-based Modeling)。与特征识别不同,特征设计是在设计开始就

将特征融合到零件模型中，把特征作为零件设计的基本单元，并将产品描述成特征信息的集合。特征设计的出现，是 CAD 建模技术发展的一个新里程碑，它使 CAD/CAPP/CAM 真正实现集成变为可能。按照建模方法，可将特征设计方法归为三类：

1. 与实体模型无关的特征数据库 (Feature Databases Unassociated with Solid Models)

这一方法常用于为 CAPP 提供产品定义数据的输入，用户可使用习惯性句法逐字逐句地输入特征信息。工艺规划系统的推理或选择是由特征的高级参数，如特征类型、一般参数值、公差等来驱动的，因此，不需要现有的实体模型。

2. 特征分解建模 (Destructive Modeling with Features)

该方法也称变形实体几何或分构实体几何 (Deforming/Destructive Solid Geometry)。特征分解建模是指零件的构形是通过从基体毛坯材料上不断减去特征形状而实现的。从原理上讲，该方法和特征识别中体分解方法是相同的，即都是基于以下想法：零件是通过对原材料实施与加工过程相应的布尔差，除去切削部分而形成的。

3. 特征合成法 (Synthesis by Features)

特征合成法就是通过对特征的加、减方法进行产品定义，而不是在原始毛坯上进行特征定义。这类方法首先通过规则和过程预先定义一般特征，然后经过对特征的实例化、修改、拷贝、删除、生成实体模型、导出特

定参数和验证特征操作的有效性等，从而建立产品模型。

根据选用的特征类型，特征设计又有基于应用特征的设计与基于设计特征的设计之分。

基于应用特征的特征设计，顾名思义，是以应用领域专家语言来描述设计特征。由于设计特征与应用特征的一致性，因此该方法应用到 CAD/CAPP 集成环境中减少了 CAD 系统与 CAPP 系统之间特征信息的转换。其主要缺点表现在：

1. 限制了设计人员的设计活动

设计人员不是用零件功能特征而是用有限的应用特征设计产品。

2. 产品设计模型与应用领域有关

应用领域的改变将导致设计模型的变更。因此同一设计模型为不同应用领域所共享是很困难的。

基于设计特征的特征设计中，其设计特征是由形状、功能、设计意图、材料、公差等组成。该方法与基于应用特征的方法相比，设计人员设计产品时来自制造等应用领域的约束减少了，有利于保证产品的功能要求。其主要问题是：一是产品设计与制造缺少联系，不利于进行产品的可制造性评价，不利于组织实施并行设计；二是设计特征与应用特征之间必须进行特征信息的转换才可能实现信息集成。换句话说，即特征设计虽然可以为 CAPP 提供足够的工艺信息，但由于 CAD 与 CAPP 侧重点和目的不同，两者在特征表达、组织、调用、参

数处理等方面都存在差异,因此这些信息若不经转换,常常不能直接为 CAPP 所用。所以人们自然想到有必要寻找一种新的 CAD/CAPP 集成方式——既能保持特征设计原有特点,又能提供特征转换的功能。这就是近年来出现的合成法——特征设计与特征识别相结合的方法。

二、集成制造中的特征映射

前面提出的合成法从形式上看是特征设计与特征识别相结合,但由于该方法不是从实体模型识别特征,而是基于特征模型将设计特征转换成各种应用特征,因此一般认为合成法的实质是特征设计与特征映射的结合。只有特征映射才能实现特征间的转换。研究表明,特征映射技术应用在集成制造环境中可将 CAD 与 CAPP 间信息的自动转换提高到一个新的层次。因此,深入探讨特征映射机理与方法,分析特征信息在产品生命周期各阶段的表达与转换技术是产品集成制造技术与基于特征的产品建模技术所面临的一项重要课题,其意义具体体现在:

1) 有利于从根本上解决集成制造环境中 CAPP 中产品信息的输入问题。随着对 CAD/CAPP/CAM 研究的不断深入,CAPP 作为连接 CAD 与 CAM 的“桥梁”,更加受到重视。但是,至今 CAPP 仍有一些理论和技术问题没有得到很好解决,其中之一是如何完整地描述与输入零件信息。特征映射的研究可以提供一种实现 CAD (以特征造型为基础)与 CAPP 之间高层次产品信息自动转换

的方法,从而有助于在根本上解决 CAPP 中产品信息的获取,以完善 CAD/CAPP/CAM 集成技术。

2) 特征映射是以特征为信息描述单元和转换基础,提供了进一步完整表达与转换产品生命周期各阶段信息(特别是产品中非几何信息)的新途径。因此深入研究特征映射,有利于支持基于特征的产品建模技术深入发展与完善。

3) 有利于在理论上丰富和发展特征技术。特征技术包括的内容广泛,特征映射是其中比较新的研究领域。深入研究特征映射原理与方法,将涉及进一步探索特征分类、特征描述、特征推理、特征交互性等问题,从而促进特征技术的深入发展。

4) 有助于将并行工程等先进的生产哲理引入到生产实践中。特征映射是以特征模型为基础,更多地考虑如何在高层次表达与转换产品功能、形状及工艺信息,使各种应用活动可根据自身的特征需求改变设计与制造活动间的信息次序,双向利用模型信息,满足并行工程需要,进而推进并行工程哲理在生产中的应用,变革传统的生产模式。

第二章 特征与特征映射的基本概念

第一节 特征定义、分类和交互性

一、设计特征的定义与分类

特征定义一般与应用领域有关，在设计域中设计特征的定义应充分反映设计活动的需要。通常对设计特征是这样定义的：

设计特征是构成零件的离散形体，该离散形体可以实现零件的某一功能要求，或设计特征是构建零件形状的基本单元。

对于特征映射系统而言，设计特征是该系统的“输入”，应具有提供各类待映射信息的功能。为适应这一要求，本书提出一种广义的设计特征定义。

设计特征：是体现设计意图，并构成零件形状的抽象几何形体。由于设计意图可以由零件形状和对形状的约束条件来体现，因此，设计特征可以看作是抽象形状特征与设计约束特征的组合，如图 2-1 所示。

以设计箱体类零件为例，抽象形状特征主要有如表 2-1 所示的八种类型。

抽象形状特征的主要特点是：

- 1) 与应用领域无关。因此用抽象形状特征构建的



图 2-1 设计特征定义

零件设计模型可以为不同的应用领域所共享。

2) 同一名称的抽象形状特征通常是不唯一的。例如槽特征类(参看表 2-1), 是由截面为一封闭轮廓拉伸并去除轮廓内体积而形成的。显然其确切形状取决于截面轮廓形状。

3) 抽象形状特征中有些具有明确语义, 例如用肋特征创建出的各类型肋, 其语义是明确的; 但有些则不然, 例如用抽象形状特征创建键槽, 其结果虽然具有键槽形状, 然而却体现不出键槽这一语义。因此, 部分特征类语义不明确是抽象形状特征的缺陷。

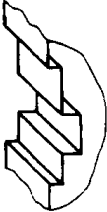
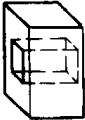
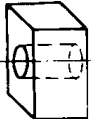
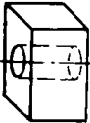
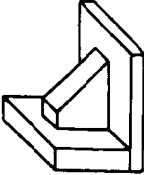
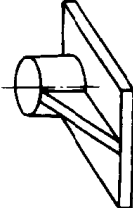
值得指出的是, 设计特征的定义一般有多种方式, 例如采取面向设计或面向制造的自定义特征方式。本书中之所以定义设计特征为抽象形状特征与设计约束特征的组合主要基于以下几点考虑:

1. 保证特征映射信息的完备性

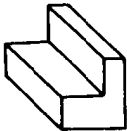
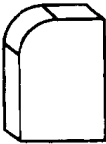
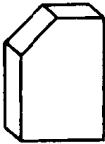
作为 CAPP 系统更多需要的是零件工艺信息, 而许多工艺信息是通过设计约束信息体现的。因此设计特征必须含有几何形状信息与设计约束信息。从而在设计与制造域间不仅实现形状特征映射, 而且完成设计约束特征的映射。

2. 增加特征造型系统的灵活性

表 2-1 抽象形状特征分类

序号	特征类	英文名称	几何形状
1	凸块	protrusion	  
2	槽	slot	   
3	孔	hole	
4	肋	rib	 

(续)

序号	特征类	英文名称	几何形状
5	切块	cut	
6	倒圆	round	
7	倒直角	chamfer	
8	基准	datum	