

文章编号: 1000-6893(2000)01-0043-05

并行 CAD/CAM 集成中的产品模型表示方法研究

何小朝¹, 沈 梅², 张铁昌²

(1. 北京大学 计算机科学技术系, 北京 100871)

(2. 西北工业大学 CAD/CAM 研究中心, 陕西 西安 710072)

REPRESENTATION SCHEME OF PRODUCT MODELS FOR CONCURRENT CAD/CAM INTEGRATION

HE Xiao-zhao¹, SHEN Mei², ZHANG Tie-chang²

(1. Department of Computer Science & Technology, Beijing University, Beijing 100871, China)

(2. CAD/CAM Research Center, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

摘 要: 提出了适用于并行协同 CAD/CAM 集成方式的产品模型表示方法。基于特征表示面向并行的产品模型, 设计模型和制造模型有机地混合在同一表示中, 可以同时满足设计与各制造环节的需要; 用特征相关图完整地描述了各种类型特征之间(包括设计特征之间, 设计特征与制造特征之间及制造特征之间)的相关关系, 并利用双数据项字符矩阵全面地表示了特征相关图。

关键词: 并行协同 CAD/CAM 集成; 设计特征; 制造特征

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A

Abstract: A strategy for representing the concurrent-oriented product model is proposed. Traditional representing methods must be improved under the new design idea and integrating mode. The representation of concurrent-oriented product model is feature-based. Design features and manufacturing features exist in a same model and are interrelated. Manufacturing features are recognized from Design-Feature Based Model. Furthermore, once a model is constructed successfully, all the integrating work is completed and needs no transition. The product models' representing scheme is also designed. A product model is a reasonable combination of the representation of the following aspects: boundary geometry (B-Rep), design feature, manufacturing feature and the relationship among design features and manufacturing features. Feature Relation Graph is designed to completely describe the relationship among design features and machining features. Furthermore, Double-Data String Matrix is proposed to represent Feature Relation Graph perfectly. The models represented by the proposed method can meet both the needs of design and manufacture.

Key words: concurrent collaborative CAD/CAM integration; design feature; manufacture feature

并行 CAD/CAM 集成技术的研究是随着计算机网络的不断普及和并行工程的深入研究而产生的。新的集成环境与方式的出现不但要求实现集成的传统方法必须加以转变, 而且导致了許多新研究课题的产生, 其中包括: 并行协同设计的工作机制; 面向并行的产品模型表示^[1,2], 并行设计中设计定位与工艺基准的表示与协调以及并行协同设计的过程控制^[3]等。

本文以特征作为基本单元, 主要研究面向并行 CAD/CAM 集成的产品模型表示方法。

1 面向并行的产品模型表示要求与策略

1.1 面向并行的产品模型表示要求

面向并行的产品模型应该是一个位于并行集成环境中的共享数据模型。设计员对零件形状的修改与工艺员对某方面制造信息的修改也是完全相关的。

对面向并行的产品模型表示应该满足以下具体要求:¹ 面向并行的产品模型是 CAD 与 CAM 并行进行的最终目的, 模型一旦成功建立, 就表示设计与制造集成工作的完全结束, 不再需要进行任何转换与处理;² 为了满足最基本的模型图形显示的需求, 面向并行的产品模型中应该能够包含模型的几何数据与拓扑信息。这实际上是说, 面

向并行的产品模型也是1个三维实体模型;»应该能够满足各种非几何信息定义、存储与方便提取的需求;¼应该能够直接满足设计与制造各环节的需要。如形状显示、零件加工、装配模拟等;½应该能够有效地反映设计与各后续制造环节的相关关系。也就是说,该产品模型实际上包括了从设计到制造完全相关的驱动机制。

1.2 面向并行产品模型表示策略

针对上节所提要求,提出面向并行的产品模型表示策略如下:

(1) 基于特征的表示 面向并行的产品模型采用特征作为模型表示的基本单元;

(2) 设计特征与制造特征相对独立 由于设计与制造之间不可避免的 inconsistency,提出一种既完全适合于零件形状设计又可直接用于制造的特征分类与表示方法几乎不可能。传统特征造型中采用的特征只有单一负特征才能直接用于加工,正特征与相交特征则不能,称为设计特征;可直接用于制造的特征称为制造特征。面向并行的产品模型中,设计特征与制造特征相对独立存在,制造特征从设计特征模型中自动识别出来,这并不影响并行集成的实现,因为并行并不是指设计人员与工艺人员绝对同时地参与,而是集成各环节的合理组织与安排,无论如何,零件形状设计工作总是最先进行的。

(3) 设计特征与制造特征并存 相对独立的设计特征与制造特征应该并存于同一产品模型中,以满足设计、加工与装配等各个环节的需要。

(4) 设计特征与制造特征关联 基于设计特征构成设计特征模型,基于制造特征构成制造特征模型。在并行集成环境中,设计员对设计特征模型的修改将引起制造特征模型的修改,反之亦然。这通过设计特征与制造特征之间的相互关联关系来实现。

2 面向并行的产品模型表示

面向并行的产品模型表示中包括:零件几何与拓扑信息的表示;设计特征的表示;制造特征的表示;设计特征与制造特征之间的相关关系表示以及各部分之间的有机结合方式等。

2.1 零件几何与拓扑信息的表示——B-Rep

面向并行的产品模型首先应该是一个有效的实体模型,本文采用了最有效的实体模型表示方法:边界表示法(Boundary Representation,缩写

为B-Rep)。简单地说,实体的边界表示法是由构成实体边界的各种几何元素(体、壳、面、环、边、顶点等)及它们之间的拓扑连接关系共同组成的。实体模型的边界表示法已经很成熟,这里不多介绍。

2.2 设计特征表示

面向并行的产品模型是一种特征模型,而特征模型表示的一个最基本的要求便是能够从模型表示的整体实体表示中有效地获得各个特征的隶属信息。特征造型的过程是将一个个的设计特征通过特征造型器添加到设计毛坯上去,在这个过程中,对每一个添加的特征,除了利用几何造型器生成模型的整体实体表示(B-Rep)以外,还应该生成与B-Rep相对独立的代表该设计特征的记录,该记录与B-Rep中属于该设计特征的面(称特征隶属面)记录相互关联,如图1所示。

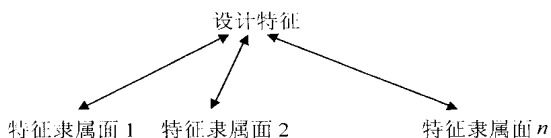


图1 设计特征隶属面

设计特征记录中,除了包括与特征隶属面的链接信息以外,还包括以下数据:¹设计特征高层语义;²设计特征隶属面;»设计特征引用形状参数;⁴相关设计特征、关系类型及相关数据;⁵设计特征形状公差;⁶相关制造特征及关系类型。

设计特征之间的相关关系包括4个方面:

(1) 隶属关系 指两个设计特征之间具有父子关系,这种关系一般都是当一个设计特征以另一个设计特征的特征隶属面为特征添加的基面时产生的,其中,前者为子特征,后者为父特征。

(2) 公差关系 指两个设计特征之间具有某种位置公差,如两个孔之间具有的平行度。

(3) 定位关系 指一个设计特征以另一个设计特征的几何元素为定位基准。

(4) 相交关系 指两个设计特征之间有几何元素相交。这种关系应该排除特征隶属关系。

设计特征的隶属面信息在特征造型的过程中可能发生变化,这大多是在设计特征发生相交关系时,已引用设计特征的原有隶属面可能丢失。所以,设计特征记录中的特征隶属面信息是随着设计工作的进行而改变的。可以看出,在面向并行的产品模型表示中,设计特征基于面表示,是一种面特征。

设计特征是面向零件形状的,它虽然具有

定的工程语义, 并且附着有一定的工艺信息, 但不能直接用于制造。面向并行的 CAD/CAM 集成中, 采用特征造型的方法生成面向形状的设计特征模型, 是因为传统研究中往往从纯粹的实体模型中识别制造特征, 难以适用于复杂零件, 无法处理特征相关关系。从特征造型的结果中识别制造特征, 可以克服上述缺点, 并且已经有了许多研究成果^[4,5]。

2.3 制造特征表示

面向并行的产品模型中, 制造特征指可直接用于各种制造环节的零件区域。制造特征从设计特征模型中利用特征识别器识别出来, 可分为加工特征、装配特征等, 应用于各方面的制造特征之间是相对独立的, 以下主要介绍加工特征的表示方法。

加工特征在面向并行的产品模型中采用实体的 B-Rep 表示。唯一代表某加工特征的记录中包括以下信息: 加工特征的高层语义; 加工特征 B-Rep 表示的入口地址; 加工特征的形状参数; 加工特征的形状公差; 相关加工特征及关系类型; 相关设计特征及关系类型等。

装配特征仍然采用面方式来表示, 其记录包括以下信息: 装配特征的组成面; 装配公差; 相关零件; 相关装配特征标志、装配方式; 相关设计特征及关系类型。

制造特征之间的相关关系主要指加工及装配顺序。关于加工特征与装配特征的识别, 本文中不作介绍。

2.4 设计特征与制造特征的相关关系——特征相关图

设计与各制造环节之间的相关关系是通过设计特征与制造特征之间的关系来体现的。

(1) 设计特征与制造特征之间的相关关系类型

1 等同关系 制造特征等同于设计特征组成面与相应的零件面封闭而成的体元, 如图 2(a) 中的 DF_1 与 MF_1 ;

° 互补关系 设计特征与制造特征的交集与工艺毛坯上的相应局部区域重合, 如图 2(b) 中的 DF_2 与 MF_2 ;

» 复合关系 制造特征是多个设计特征的复合区域, 如图 2(c) 中 DF_3, DF_4 与 MF_{34} ;

¼ 独立加工特征 有些制造特征没有设计特征与之对应, 如图 2(d) 中的 MFS 。

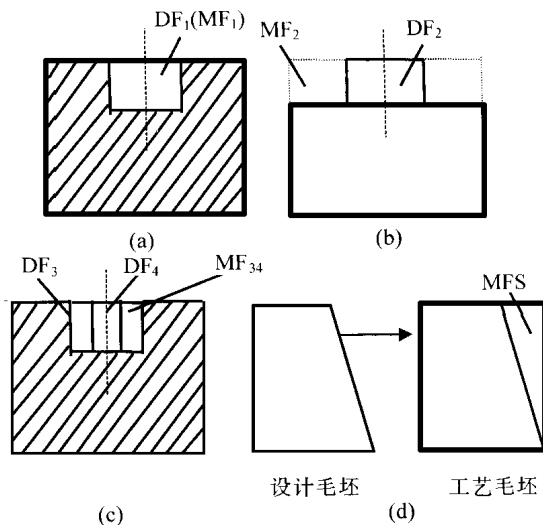


图2 设计特征与制造特征

独立加工特征的存在是由于: 设计毛坯与工艺毛坯形状可能不同, 这导致工艺毛坯中可能存在大于设计毛坯的区域, 其中便包含与设计特征有互补关系的特征和独立加工特征。

(2) 特征相关图的引入及其表示 为了描述各种特征之间及各种模型之间的相关关系, 可以设计特征相关图, 如图 3 所示。

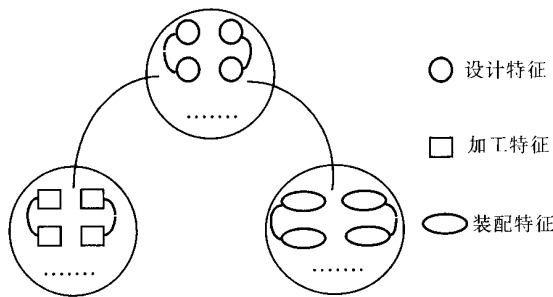


图3 特征相关图的表示策略

图 4 为一个零件模型的各种特征表示及特征相关图的例子。

由图 4 可以看出, 特征相关图与一般的图结构相比, 有以下几个特点: 1 2 个节点之间可能有多个指针联接; ° 联接指针即有无方向的, 也有有方向的; » 节点类型有多种。

无论是有向图, 还是无向图, 为了方便地进行对图的操作(如搜索), 一般除了节点自身的表示以外, 都辅助以矩阵表示形式。但由于上述特征相关图的 3 个特点, 使用一般的矩阵来完全表示其所有的联接关系是很困难的, 为此, 本文设计了一种双数据项字符矩阵, 可以方便地描述特征相关图各节点的类型及各种相关关系。

双数据项字符矩阵具有以下特点:

矩阵的每一个数据域存有二个数据,

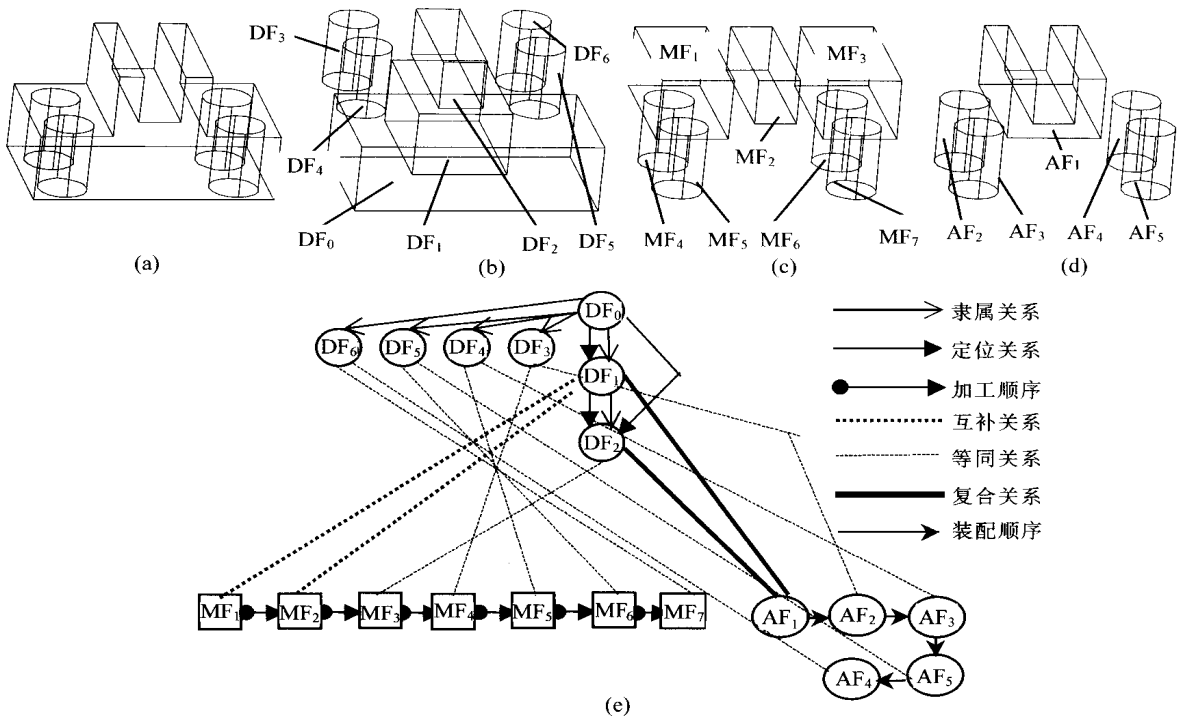


图 4 设计模型、各种特征及其特征相关图逻辑结构

(a) 设计模型; (b) 设计特征; (c) 加工特征; (d) 装配特征; (e) 特征相关图逻辑结构示例

° 矩阵数据域内的每一个数据类型都为字符型;

» 矩阵数据域内的 2 个数据中, 1 个数据表示哪 2 个特征有关系, 如果设计特征 DF_1 与加工特征 MF_1 之间具有某种相关关系, 则该数据为: “ DF_1, MF_1 ”; 另一数据表示两特征的关系类型, 本文采用数字字符代表特征之间的关系类型, “0”代表无关系, “1”到“4”顺序代表上述设计特征之间的 4 种关系, 同样, “5”到“8”代表设计特征与加工特征之间的 4 种关系, “9”以上代表制造特征之间的关系。

¼ 如果 2 个特征之间有 2 个以上的关系, 则在表示特征相关关系的数据中, 应该同时包含代

表这几种关系的数字字符。如 DF_0 与 DF_1 之间既有隶属关系, 又有定位关系, 则该数据为“1, 3”。

根据以上表示原则, 图 4(e) 所示的特征相关图如果完全用双数据项字符矩阵描述出来, 需要 361 个数据, 过于庞大, 为了便于说明问题, 若只考虑 $DF_0, DF_1, DF_2, MF_1, MF_2, MF_3, AF_1$ 等特征, 可以用图 5 所示矩阵来表示。(在具体实现中, 采用稀疏矩阵来表示)

(注: 为了保证矩阵的完整性, 可假定加工特征之间的加工顺序关系为 9。)

可见, 双数据项字符矩阵可以完整地描述各种类型之间特征的各种相关关系, 极大地方便了

NULL	DF_0, DF_1	DF_0, DF_2	DF_0, MF_1	DF_0, MF_2	DF_0, MF_3	DF_0, AF_1
0	1, 3	3	0	0	0	0
DF_1, DF_0	NULL	DF_1, DF_2	DF_1, MF_1	DF_1, MF_2	DF_1, MF_3	DF_1, AF_1
0	0	1, 3	6	6	0	7
DF_2, DF_0	DF_2, DF_1	NULL	DF_2, MF_1	DF_2, MF_2	DF_2, MF_3	DF_2, AF_1
0	0	0	0	0	5	7
MF_1, DF_0	MF_1, DF_1	MF_1, DF_2	NULL	MF_1, MF_2	MF_1, MF_3	MF_1, AF_1
0	6	0	0	9	0	0
MF_2, DF_0	MF_2, DF_1	MF_2, DF_2	MF_2, MF_1	NULL	MF_2, MF_3	MF_2, AF_1
0	6	0	0	0	9	0
MF_3, DF_0	MF_3, DF_1	MF_3, DF_2	MF_3, MF_1	MF_3, MF_2	NULL	MF_3, AF_1
0	0	5	0	0	0	0
AF, DF_0	AF, DF_1	AF, DF_2	AF, MF_1	AF, MF_2	AF, MF_3	NULL
0	7	7	0	0	0	0

图 5 双数据项字符矩阵示例

对特征相关图的各种操作。

应该指出的是:

¹ 在特征相关图中, 设计员利用设计特征进行特征造型的顺序并不能象 CSG 树表示那样直观地表达出来, 但它还是可以包含 CSG 树在内的。因为, 仅仅考虑定位关系指针的特征相关图中设计特征模型表示部分还是具有层次关系的, 定位关系指针为限制, 以一定算法搜索特征相关图, 仍然可以得到特征造型时的设计特征先后顺序。

^o 由于对不同的工厂、不同区域的加工方法可能不同, 导致制造特征可能完全不同, 所以, 用统一的方法表示制造特征对复杂产品来说是很困难的。为了保证研究工作的顺利进行, 本文在对问题领域的适当简化以后, 提出了上述表示方法, 它具有较大的理论意义与一定的实用价值, 虽然还有一定的局限性, 但值得进一步进行深入研究。

另外, 本文采用矩阵, 而不采用指针来描述特征相关图的原因是: 基于矩阵实现图结构的一些搜索及其它算法较为成熟与方便。

2.5 模型表示的统一性

以上所介绍的各个部分并不是独立存在的, 而是有机地组织在面向并行的产品模型表示中, 是一个统一的整体。

综上所述, 产品模型的表示由两大部分组成: 模型整体实体表示的 B-Rep 和特征相关图, 于是, 模型表示的统一性便可由整体实体表示的 B-Rep 与特征相关图之间的联系来实现。可以在模型整体实体表示 B-Rep 的面节点中加入指向其所属设计特征记录的指针, 以建立 B-Rep 与设计特征模型之间的相关关系, 这样, 模型表示的各个部分之间便全部联系起来, 成了一个有机的整体。

3 结 论

对并行 CAD/CAM 集成方式与环境下的产

品模型表示的需求进行分析, 在为了满足这些需求的前提下, 提出了一种面向并行的产品模型表示方法。面向并行的产品模型是设计员与各种工艺人员在不同的计算机终端协同产生的, 这种模型表示中, 反映模型形状的整体 B-Rep、面向零件形状的设计特征、面向制造的各种制造特征同时存在, 并通过各种指针链接关系完整地反映了模型几何、设计及制造之间的相关关系, 从而使各相对独立的部分有机地结合成为一个统一的整体, 形成面向并行的产品模型。

参 考 文 献

- [1] Saad M, Lou M M. Shared understanding in computer-supported collected design[J]. Computer-Aided Design, 1996, 3(28): 183~192.
- [2] Rosenman M A, Gero J S. Modelling multiple views of design objects in a collaborative CAD environment[J]. Computer-Aided Design, 1996, 3(28), 193~205.
- [3] Palmer J D. Computer-supported cooperative work[J]. IEEE, computer, 1994(5): 15~17.
- [4] de Martino T, et al. Feature-based modelling by integrating design and recognition approaches[J]. Computer-Aided Design, 1994, 26(8): 646~653.
- [5] Han J H Requicha A A G. Integration of feature based design and feature recognition[J]. Computer-Aided Design, 1997, 29(5): 393~403.

作者简介:



何小朝 男, 1972 生, 工学博士, 中国航空史研究会会员, 北京大学计算机科学技术系博士后。长期以来从事并行协同设计, 参数化特征技术, 图形仿真技术及嵌入式系统等方面的研发工作, 在国内重要期刊及国外公开发行人期刊上共发表学术论文 16 篇。

沈梅 女, 1964 年 4 月生, 博士研究生, 西北工业大学机械系讲师, 研究方向: 特征技术、装配技术、发表论文 4 篇。

张铁昌 男, 1934 年生, 西北工业大学教授, 博士生导师。研究方向: 特征技术。发表论文 30 余篇, 曾获国家科技进步二等奖。

(上接 42 页) 作者简介:



魏法杰 男, 硕士, 副教授, 1954 年生。1981 年毕业于北京航空学院。主要从事工业企业生产管理、工业工程等方面的研究。发表论文 20 多篇。编有一部教材, 一本译著。电话: 010-82317803, E-mail: weifajie@263.net。



张人千 男, 硕士研究生, 1974 年生。1997 年毕业于清华大学, 同年进入北京航空航天大学管理学院攻读工业工程硕士学位。主要从事制造业成本控制研究。电话: 010-82324634, E-mail: deltablues@263.net。

王丹 女, 1969 年生。硕士, 经济师。通讯地址: 沈阳飞机制造公司数控中心计划室。邮编: 110034。电话: 024-86594509。