

基于 STEP 的特征模型及重构算法^{*}

刘乃若 王金伦

(清华大学计算机科学与技术系 北京100084)

STEP-Based Feature Model and Feature Reconstructed Arithmetic

LIU Nai-Ruo WANG Jin-Lun

(Dept. of Computer Science and Technology of Tsinghua University, Beijing 100080)

Abstract For CAX systems, the technology of Feature-based product data integration is one of hot points. STEP AP214 protocol provides a standard to resolve this problem. This paper discusses the relations of entities in STEP AP214. Especially, for the problem that the protocol doesn't obviously give those features, it puts forward methods on expression and operation of feature-oriented data model. It gives the feature model mapping between AP214 and feature-based CAD systems, which is a basal theory to design out a uniform feature model of CAD/CAPP/CAM.

Keywords STEP, Feature mapping, Feature model

随着 CAX 技术的发展,特征技术得到越来越多的重视,特征技术的使用,大幅度提高了产品的设计、制造、集成等过程的效率。目前,基于特征的 CAD、CAM 系统是市场的主流,CAPP 是完全基于特征的应用系统。

但是在 STEP 的众多应用协议中,涉及机械设计、制造、管理的应用协议有很多,但是这些应用协议基本上没有提供对特征的支持。AP224是较早支持特征的 STEP 应用协议,主要用于 CAPP 系统。由于没有提供对 CAD 等应用的支持,一直没有得到广泛的实施。AP214协议的出现,为解决这一问题提供了标准支持。AP214是基于特征的、面向汽车设计全过程的应用协议,汽车制造是机械领域最复杂的工程之一,基本上涉及到所有的机械设计、规划、加工、管理等过程,代表了机械行业的最高水平,研究和设计基于 AP214的 STEP 集成技术,有着很重要的意义^[1]。

文[7]讨论了 AP214的特征表达问题,但未给出特征构建算法,也没有解决特征模型的映射问题。目前,大多数的 CAX 系统没有完成对 AP214特征的支持^[2,3]。本文通过对 AP214特征表达的分析,提出了处理 AP214特征模型的算法,讨论了 AP214特征模型与基于特征的 CAD 模型的映射理论,给出了 STEP 特征模型与 CAD 特征模型的一般映射方法,为 CAD/CAPP/CAM 中建立统一的特征模型提供了理论基础。

1. 特征模型

STEP AP214的 CC14提供了较为完整的特征表达模型,为基于特征的产品数据集成,提供了协议基础。特征技术是信息集成中最引人注目的技术之一。特征技术使得产品设计及其相关应用活动,既能利用特征元素的语义进行宏操作和推理决策,而形成基于特征的模型,又允许不同应用能按自身的含义来理解产品的构成。

定义1(特征形状与特征形状空间^[3]) 如果令 C^* 为一组几何约束 $\{c_1^*, c_2^*, \dots, c_n^*\}$, 其中 c_i^* 作用于 3D 欧氏空间的子集 E_i 之上, 即 $E_i, i=1, \dots, n \subseteq E^3$ (E^3 为欧氏空间), 则显然约束集

C 在 E^3 上定义了特征 f 的形状属性 f_i^* , 并且有 $f_i^* \subseteq E^3$, 定义特征形状空间 $F^f = \{f_i^*\}$ 。

定义2(特征模型) $M_f = \{f_i^*, \rightarrow G_i\}$ 为产品的特征模型, 其中 $\rightarrow G_i$ 是特征的非形状信息。

定义3(特征映射) 在欧氏空间中, 有两个特征模型 M_1^f 和 M_2^f , 如果存在一个函数 F_f , 使得 M_1^f 能够投影在 M_2^f 上成立, 即 $M_1^f \xrightarrow{F_f} M_2^f$, 则称 F_f 是 M_1^f 到 M_2^f 的一个特征映射。

定义4(特征映射评价过程) 对于映射 F_f , 定义一个过程 P_f 来保证映射过程的正确性和完备性, 称 P_f 为特征映射 F_f 的评价过程。

2. STEP AP214的特征表达和处理算法

正是因为基于特征的产品模型的优越性, 使 STEP AP214区别于 AP203的一个显著特点是支持特征设计。在 STEP AP214中并没有直接给出特征的显式定义, 而且特征在物理文件中不能单独实例化, 也就是说物理文件中不能出现特征的具体实例。AP214 CC14中的特征表达采用隐式说明的方式表达, 只给出特征内容的组织方法, 具体特征的形状几何信息、公差、粗糙度和管理信息等, 分布在 Part42、Part41等协议说明的几何拓扑实体的表达中。

隐式的特征表达方式实现起来比较复杂, 但是它有明显的优点:

- 不支持特征的 STEP 集成工具, 可以不关心特征内容, 直接按 AP214 CC1的方式读取 CC14的物理文件, 只是在写出的物理文件中去掉有关特征的说明;

- 可以方便地与非基于特征的 CAD、CAPP、CAM 集成, 按 AP214 CC1的方式读取不会丢失产品的几何拓扑信息, 能够顺利地显示零件形状;

- 更简洁地构造、说明特征。

在 AP214的模型中所有的特征定义为:

ENTITY 特征名;

subtype of feature_definition;

^{*} 本文得到国家863项目资助(863-511-820-002)。

WHERE 子句 LIST;
.....

END_ENTITY;

隐式表达的特征,必须重构成显式特征。但所有的 feature-definition 类型不显式地表达任何几何拓扑信息,只有一些说明性注释。而 WHERE 子句提供了特征的应用参考模型的约束规则,根据这些约束规则,可以推断特征的几何拓扑内容。具有约束规则的特征和具有几何拓扑信息的形状表达,按设计要求组合成 shape-definition-representation 实体的显式属性,这样对应的几何拓扑信息就可以为特征所用,通过一定的特征数据搜索算法,就可以建立具有几何拓扑信息的显式表达的特征,即计算机内存数据模型,可以用于与 CAD 的信息集成。AP214 的 CC14 通过 shape-definition-representation 来建立特征实体(带部分描述信息)和几何拓扑表达的连接,这是 STEP AP214 特征的核心表达思想,具体表现为: shape-definition-representation (特征定义—给出产品特征的约束规则和描述信息,形状定义表达—给出几何拓扑信息);

其中几何拓扑信息表现为点、二维封闭曲线、平面(曲面由平面拟合而成)及拓扑关系,令 AP214 物理文件表达的特征模型为 M_f , 二维封闭曲线为 $Curve_2$, 点为 P_3 , 方向为 D_3 , 平面为 $Plane$, 长度为 $Length$, 非几何拓扑信息为 $\rightarrow G$, 特征的生成规则和几何拓扑关系为 $C = \{C_i, i=1, \dots, n\}$, 则有:

定理1 M_f 是规则集 C 定义在应用空间 $D = Curve_2 \cup P_3 \cup D_3 \cup Plane \cup Length \cup \rightarrow G$ 上的一组约束向量集。

证明:根据 AP214 文本的特征说明可知,特征的内容由二维封闭曲线、点、方向、平面、长度和相关非几何拓扑信息组成;同时在 WHERE 子句中,给出规则集 C ;由相关定理知,定理1成立。

所以 M_f 的读取重构算法,描述为:

step1: 从特征的 WHERE 子句获取特征的生成规则集 C , 和几何拓扑关系;

step2: 生成特征的显式结构;

step3: 根据 C , 从物理文件的 shape-definition-representation 实体开始获取: $Curve_2, P_3, D_3, Plane, Length, \rightarrow G$; 并写入特征显式表达中;

step4: 有无特征?有, goto step1; 否, 结束。

M_f 的隐式写出算法相对简单,因为此时的特征一定是显式表达,算法描述为:

step1: 考察特征的规则集 C , 检查特征的约束空间的合法性,如果出错,则停止并报错;

step2: 按 STEP part21 和 AP214 的格式,完成 $Curve_2, P_3, D_3, Plane, Length, \rightarrow G$ 的物理文件表达;

step3: 有无特征?有, goto step1; 否, 结束。

通过以上的实体和特征的关系分析,建立了特征模型构建的框架,可以很容易设计特征的搜索和重构程序方法。但是,AP214 在给出特征内容上具有很大的灵活性,也就是说只要对特征内容的定义符合 WHERE 子句的约束条件,特征的内容定义表达就可以是任意的,如一个轮廓线,既可以用点来表达,也可以用 CURVE 实体来表达。这样的表达,为特征模型和应用系统内部特征结构映射造成了一定的困难。而且,这时读取重构的特征是动态的结构,因为 STEP 没有提供特征操作平台,还不能对其进行显示、编辑等工作,必须将特征映射到 CAD 系统中。

3. 基于 AP214 的特征模型映射和处理算法

通过前面的讨论,已经可以建立 AP214 的特征结构,但是这些特征必须借助于 CAD 系统,才能进行显示、检查、编辑等工作;CAD 系统的特征数据也需要转换成 AP214 的特征结构,完成 STEP 处理器的数据写出工作。这些工作实现的关键是二者的特征模型映射^[5]。

通过上节提供的算法,可以得到基于 AP214 CC14 的特征数据,现在就可以把 AP214 的特征作为显式特征来处理了。接下来,讨论如何将这此特征映射到 CAD 软件系统的特征中。

令 CC14 的特征模型为 M^{214} , 上面的内容给出了 M^{214} 在点、线、面等几何拓扑空间的表达,这种表达比较复杂,不适合在特征层次上的讨论。考察 CC14 的特征模型为 M^{214} 在协议文本的定义^[1],在特征层次空间里,可以将 M^{214} 分为三类:协议直接说明特征 F_d (即协议包括的特征),用户定义特征 F_u , 生成的特征 F_g 。

定理2 AP214 的特征 M^{214} 可以表达为:

$$M^{214} = (F_d \cup F_u \cup F_g) \otimes C_i^{214},$$

其中: C_i^{214} 是定义在 F_d, F_u, F_g 上的特征表达和生成的规则约束集, \otimes 表示 C_i^{214} 对 F_d, F_u, F_g 的约束操作。

证明:考察 AP214 文本中 M^{214} 特征层次上的说明可知, M^{214} 是 $F_d \cup F_u \cup F_g$ 的并集, F_d, F_u, F_g 通过 C_i^{214} 说明来构成特征种类和数量,从而有定理2成立。

协议直接说明特征 F_d 规定了已经设计好的形状,这些特征对用户来讲有固定的意义,如孔、凸台、槽、肋、螺纹和滚珠等,以及过渡特征如倒角、圆角、圆边等。将这些特征记为:

$$F_d = \{geometrical_data, attrib_data\} \quad (1)$$

其中: $geometrical_data$ 是几何数据信息, $attrib_data$ 包括一些非几何信息,如公差、粗糙度、锥度等。

用户定义特征 F_u 将多种形状表达表示为特征,并且可以组合成混合的通常特征。综合分析 CC14 中的自定义特征集,自定义特征可以记为:

$$F_u = \{general_closed_profile, sweep_path/screw_path/strech_path, direct, Attrib_data\} \quad (2)$$

其中: $general_closed_profile$ 是一个封闭的轮廓线,可以是 $ngon_closed_profile, rectangular_closed_profile, circular_closed$ 等。 $sweep_path/screw_path/strech_path$ 是指在生成特征过程中的扫荡、旋转或拉伸路径/角度,它的类型是直线段或圆弧。 $direct$ 是拉伸方向, $attrib_data$ 与式(1)中的表达意思相同。即 F_u 是生成规则 C_i^{214} 在二维封闭曲线、点、线、平面和非几何数据的约束空间。

生成的特征 F_g 是通过基本特征的操作得到各种可能的形状表达。基本特征包含协议直接说明特征和用户定义特征,记为:

$$F_g = \{(F_d)^* \cup (F_u)^*\} \otimes C_i^{214} \quad (3)$$

其中: \otimes 在 F_d, F_u 特征上的操作,包括 CSG 中具有的各种操作。操作的特征可以是 F_d 中的,也可以是 F_u 中的,所以用集合元素任意组合操作 $*$ 来表示涉及的特征^[6]。

令 CAD 的特征模型为 M^{CAD} , 则其特征模型可以表达为:

$$M^{CAD} = (F^{CAD} \cup F_{gen}^{CAD} \cup F_{com}^{CAD}) \times C_i^{CAD} \quad (4)$$

其中: F^{CAD} , CAD 提供的基本特征,包括最常见的几十种特征, $F_d \subset F^{CAD}; F_{gen}^{CAD}, CAD$ 提供的组合特征,即提供由其它特征组

合而产生的新特征; F_v^{cad} , 针对实际应用中用户的特殊要求, CAD 通过提供二维曲线、点、线、方向、平面的绘图方法, 使用户可以自定义特征; C_f^{cad} 是 CAD 的特征生成规则约束。

由式(4), 很容易知道:

定理3 F_v^{cad} 是二维曲线、点、线、方向、平面和非几何信息空间, 在设计方法约束空间的特征模型。

定理4 F_{group}^{cad} 可以表示为 F_d^{cad} 、 F_v^{cad} 在 C_f^{cad} 上的生成约束空间,

$$F_{group}^{cad} = \{((F_d^{cad})^* \cup (F_v^{cad})^*) \otimes C_f^{cad}\} \quad (5)$$

各项表达的意义与式(3)相同。

考察特征模型 M_j^{214} 和 M_j^{214} , 二者之间的特征映射, 算法表述为:

1. 对于 F_d 特征则有 $F_d \xrightarrow{\text{映射}} F_d^{cad}$ 。

2. 对于 F_v 特征, 一般不具有直接映射的条件, 可能是对应、投影或组合映射, F_v 通常是通过二维绘图, 经过三维操作得到的, 这就需要基于特征的 CAD 系统提供由二维绘图经三维拉伸、旋转或扫成特征的功能, 即提供这样的特征生成方式。幸运的是, 主流 CAD 系统都具备这个功能^[2,4], 在这方面提供了强大的操作支持。由式(2)和定理3可知, F_v 到 F_v^{cad} 的映射就是 F_v 特征提供约束规则给 CAD 系统, 从而生成新的自定义特征 F_v^{cad} 的过程。算法简述:

step1: 取拉伸/扫荡的路径的终点, 以拉伸/扫荡的方向为平面的方向, 计算出一个平面; 按拉伸/扫荡的方向, 将轮廓线向此平面投影, 得到一个在平面上的封闭曲线, 将此曲线作为原始的二维草图曲线^[1,2]。

step2: 方向和路径等参数也可以写进相应特征结构中。

3. F_v 与 F_{group}^{cad} 的映射, 可以分解为 $F_d \xrightarrow{\text{映射}} F_d^{cad}$ 、 F_v 与 F_v^{cad} 的映射, 即映射表现为组合映射。映射规则约束来自 C_f^{214} 或 C_f^{cad} , 算法可以参照前两种映射的做法, 在 CAD 系统中按其原始操作重新生成。

这个特征映射过程不是完全可逆的, 但在一定误差范围内, 表达的信息是一致的。特征映射的过程, 还应该包括特征映射算法的评价, 来评价映射过程中的信息丢失情况, 限于篇幅, 本文不讨论这个问题。

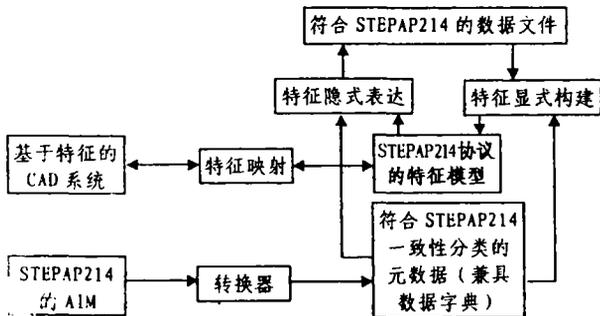


图1 基于 STEP AP214的特征映射实现结构

经过以上几节的特征映射过程, 就可以建立起 AP214特征和 CAD 特征的数据集成。图1给出了一个基于 AP214和 CAD 的映射过程的实现结构。图2给出了一个采用这种映射

过程, 使用高华 GEMS 系统从 AP214 文件得到的零件。

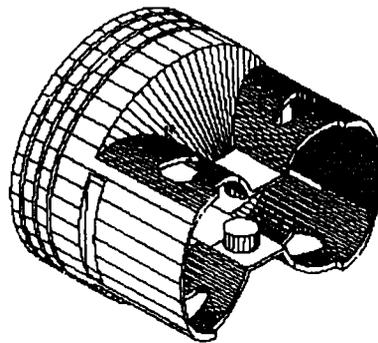


图2 基于 CC14的特征零件在 CAD 中的一个显示例子

结论 STEP AP214是应用协议中比较复杂的一个协议, 它描述了汽车制造业的全过程, 是第一个基于特征的面向 CAD 的应用协议。AP214是 STEP 在 CAD 数据模型表达方面的一个飞跃—支持特征模型。AP214涉及的范围极其广泛, 本文对其它一些一致性分类, 未给予讨论, 关于这些内容, 需要结合其它领域的技术, 如 PDM、装配知识等, 进行研究实现。

注1: 从 CAD 特征生成过程知, 这个二维平面曲线可以认为是原始的二维草图曲线, 但拉伸/扫荡的高度不一定正确, 但此高度对生成的特征形状无影响, 也符合加工工艺等后续过程的加工要求。对于旋转操作生成的特征, 轮廓线就是一个带弧度限制的圆。将轮廓线写入 CAD 系统提供的相应特征结构中。

注2: 有些用户自定义特征可能非常复杂, 属于特殊类特征, 这些特征需要特定的编程处理, 根据 STEP 标准的一致性测试要求, 可以不考虑对这些特征的处理, 在本文也无法一一说明。如果特征的轮廓线特别复杂, 一般要给出误差范围, 采用二次曲线拟合的方法, 在三维空间上表现为面片拟合。

参考文献

- 1 Industry Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange - Part 214, Core Data for Automotive Mechanical Design Process. ISO-10303 214, 1998
- 2 http://pdesinc.atcorp.org/vendor.html 2000/8
- 3 LIU Nairuo. Research of STEP-based Product Data Integration Technology: [Zhejiang University Doctor Theme]. Hangzhou, 2000
- 4 Http://www.IDA.com 6/2000
- 5 Shah J J, Mathew. An Experimental Investigation of the STEP Form Feature Information Model. Computer Aided Des., 1991, 282~296
- 6 Ting-Kuo Peng, Amy J C, Trappey. A step toward STEP-compatible engineering data management; the data models of product structure and engineering changes. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 1998, 14: 89~109
- 7 ANSI ISO TC 184/SC4/WG3 N754 ISO/WD Validation Report on ISO/DIS 10303-214 1998. 09. 15