

# 基于局部特征识别的特征有效性维护方法\*

陈正鸣<sup>1,2</sup>, 高曙明<sup>1</sup>, 彭群生<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室, 浙江 杭州 310027);

<sup>2</sup>(河海大学 计算机与信息工程学院, 江苏 常州 213022)

E-mail: zmchen@hhuc.edu.cn; smgao@cad.zju.edu.cn; peng@cad.zju.edu.cn

http://www.hhuc.edu.cn

**摘要:** 缺乏特征模型的有效性维护功能已经成为目前特征造型系统存在的一个严重而亟待解决的问题. 在对特征有效性条件进行深入分析的基础上, 提出了一个基于扩展属性邻接图(extended attributed adjacency graph, 简称 EAAG)的特征有效性表示方法, 特别是提出了基于局部特征识别的特征有效性维护新方法. 该方法不仅能够自动判别特征的有效性是否被破坏, 而且能确定导致特征无效的原因和遭破坏后特征的状态, 从而能够根据用户的意图自动维持特征模型的有效性.

**关键词:** 特征; 特征造型; 特征有效性; 特征识别; CAD/CAM

**中图法分类号:** TP391 **文献标识码:** A

目前, 在 CAD/CAM 系统中, 产品建模已广泛采用特征技术. 特征造型系统以特征为基本设计单元, 使得产品模型的构造和修改更加方便; 更使得所建的产品模型能够带有丰富的工程语义. 鉴于特征是具有一定工程语义的几何形状, 而特征的工程语义包含着设计者的设计意图, 因此特征的语义应在产品模型中进行表示, 并在模

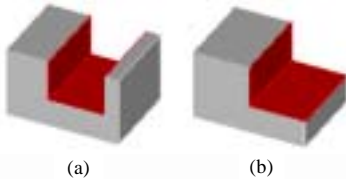


Fig.1 A slot is converted to a step  
图1 槽转化为台阶

型的建立与修改过程中得以维持, 这就是特征有效性的表示与维护问题. 长期以来, 尽管特征有效性的表示与维护问题一直被人们视为特征造型领域一个至关重要的问题, 但至今这方面的进展甚微. 目前的商品化特征造型系统都还不具备特征的有效性维护功能. 以图 1 为例, 当图 1(a)中的槽特征经修改后变成图 1(b)中的台阶时, 现有系统依然将其视为槽来表示和处理. 因此, 正如 Jami Shah 教授所说<sup>[1]</sup>, 如此的特征造型系统只是在实体造型的基础上扩展了几何造型的功

能, 不能有效地表达设计者的设计意图.

比较系统地讨论特征有效性问题的研究工作现在还不多见. Rossignac<sup>[2]</sup>较早地分析了特征模型在编辑过程中的特征有效性问题. Mandorli 等人<sup>[3]</sup>提出了自有效特征的概念, 他们设想在通常的特征定义中加入一系列规则来保持特征的形状与功能语义的一致性, 但尚未对规则的具体表示与处理进行深入研究. Bidarra, Dohmen, Bronsvort 等人<sup>[4-6]</sup>比较深入地研究了特征有效性问题. 他们提出了一个基于约束的特征有效性条件的表示与维护方法. 但他们的方法存在两方面的问题: 一方面是对有些情况不能处理, 如当两特征能够合并为一个新特征时他们的方法不能判别和处理; 另一方面, 他们的方法依赖于单元体模型(cellular model)<sup>[7]</sup>这一 STEP 标准不支持的产品几何表示, 这不仅使得算法复杂、耗时而且难以通用. 近来, 一些学者研究了用描述性方法(declarative

\* 收稿日期: 2000-03-24; 修改日期: 2001-01-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(69973045); 国家创新研究群体科学基金资助项目(60021201)

作者简介: 陈正鸣(1965 - ), 男, 浙江东阳人, 博士, 副教授, 主要研究领域为特征技术, 计算机图形学; 高曙明(1964 - ), 男, 安徽天长人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为特征技术, 虚拟设计与装配, 基于 Internet 的产品协同设计与开发; 彭群生(1947 - ), 男, 湖南新化人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为计算机图形学, 计算机动画, 计算机辅助设计.

scheme)进行用户自定义特征中特征有效性的表示问题<sup>[3,8]</sup>.

针对特征造型系统中的特征有效性问题,本文提出了基于扩展属性邻接图(extended attributed adjacency graph,简称 EAAG)的特征有效性条件表示方法和基于局部特征识别的特征有效性维护方法.

## 1 特征有效性条件及其表示

一个特征的工程语义具体由定义特征的参数和出现在产品几何模型中的特征边界元素的特性确定.为了使特征的工程语义在特征模型的构造和编辑过程中得以维持,特征的参数和出现在产品几何模型中的特征边界元素必须满足一定的条件,我们称这样的条件为特征的有效性条件.

### 1.1 特征有效性条件的分类

为了表示和处理特征有效性条件,我们将特征有效性条件分成 3 类:参数有效性条件、拓扑有效性条件和全局有效性条件.

#### 1.1.1 特征的参数有效性条件(parametric validity condition,简称 PVC)

定义 1. 特征的参数有效性条件是指与特征参数的取值范围及参数间的相互关系相关的约束条件.

#### 1.1.2 特征的拓扑有效性条件(topologic validity condition,简称 TVC)

定义 2. 特征的拓扑有效性条件是指与特征边界元素的拓扑特性、特征边界元素间的拓扑关系相关的约束条件.

特征边界元素的拓扑特性包括面的拓扑特性和边的拓扑特性.

面的拓扑特性(a face's TVC,简称 FTVC)包括:      边的拓扑特性(an edge's TVC,简称 ETVC)包括:

- |                        |                        |
|------------------------|------------------------|
| · FTVC1:面是否可以被分割;      | · ETVC1:边是否可以被分割;      |
| · FTVC2:面是否可以被合并;      | · ETVC2:边是否可以被吸收;      |
| · FTVC3:是否可以有内环;       | · ETVC3:边为凸边还是凹边;      |
| · FTVC4:面的几何类型,平面还是曲面. | · ETVC4:边所在环为内环还是外环;   |
|                        | · ETVC5:边的几何类型,直线还是曲线. |

#### 1.1.3 特征的全局有效性条件(global validity condition,简称 GVC)

首先,我们定义特征的真实边界和特征的边界边集两个概念.

定义 3. 特征的真实边界是指该特征出现在结果物体几何模型中的所有几何元素(面、边、点)的集合.

定义 4. 特征的边界边集是指该特征的真实边界中与其他特征的真实边界面共享的边的集合.

若一特征的边界边集中的所有边皆为凹边(凸边),则称此特征的边界边集为凹(凸);若构成一特征的边界边集中既有凹边又有凸边,则称此特征的边界边集为非凹凸(non-concave-convex,简称 NCC).图 2 和图 3 的加黑部分显示了台阶特征的真实边界和边界边集.

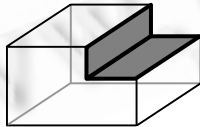


Fig.2 A step and its real boundary  
图2 台阶特征及其真实边界

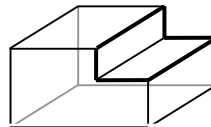


Fig.3 The boundary edge set of the step  
图3 台阶特征的边界边集

利用定义 3 和定义 4,我们定义特征的全局有效性条件如下:

定义 5. 特征的全局有效性条件是指与该特征的真实边界和边界边集相关的约束条件.

特征的全局有效性条件包括:

- GVC1:特征的真实边界是否为空;
- GVC2:特征的真实边界是否可被分割;
- GVC3:特征的边界边集属性为凹、凸还是非凹凸.

事实上,特征的全局有效性条件用以约束该特征与其他特征的关系,它不包含在拓扑有效性条件中.

1.2 特征有效性条件的表示

根据特征有效性条件的定义和分类,其表示方法如下.

1.2.1 特征参数有效性条件表示

特征的参数有效性条件用代数约束表示.以图 4 的盲孔为例,设盲孔的直径为  $d$ 、高度为  $h$ ;设钻头的最小直径为  $d_0$ 、最大直径为  $d_1$ ,其长径比( $d/h$ )限制为  $p$ ,则我们可以表示该类盲孔特征的参数有效性条件为  $d_0 < d < d_1; h < d/p$ .

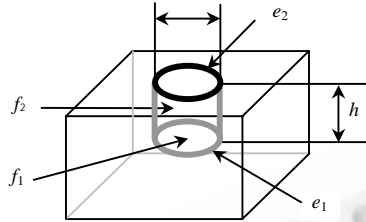


Fig.4 A blind hole and its parameters 图4 盲孔特征及其参数

1.2.2 特征拓扑有效性条件表示

根据拓扑有效性条件的定义,一个特征的拓扑有效性条件可通过扩展属性邻接图(EAAG)表示<sup>[9]</sup>.与传统的 AAG(attributed adjacency graph)<sup>[10]</sup>比较,EAAG 包含更多面结点的属性和弧的属性,它们是:

结点(面)属性:

- 可分割性:面是否可被分割(FTVC1)
- 可合并性:面是否可被合并(FTVC2)
- 环数:可否有内环 (FTVC3)
- 几何性质:平面还是曲面(FTVC4)

弧(边)属性:

- 可分割性:边是否可被分割(ETVC1)
- 虚实性:实边还是虚边(ETVC2)
- 凹凸性:凸边还是凹边(ETVC3)
- 所在环类型:内环还是外环(ETVC4)
- 几何性质:直线还是曲线(ETVC5)

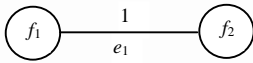


Fig.5 The simplified EAAG of the blind hole in Fig.4 图5 盲孔的EAAG

用特征的 EAAG 表示特征的拓扑有效性条件的主要好处在于,它和基于图的特征识别方法所需的特征表示方法一致;另外,特征实例 EAAG 可从特征实例自动产生.

以图 4 的盲孔为例,其 EAAG 如图 5 所示,其特征边界元素的属性见表 1.

Table 1 Attributes of the EAAG of blind hole feature, T means TURE and F means FALSE

表 1 盲孔特征边界元素的属性,T 表示肯定,F 表示否定

Face	FTVC1	FTVC2	FTVC3	FTVC4	Edge	ETVC1	ETVC2	ETVC3	ETVC4	ETVC5
$f_1$	T	F	T	Planar	$e_1$	T	F	Concave	Outer	Curved
$f_2$	F	F	F	Non-Planar						

1.2.3 特征全局有效性条件表示

首先,根据设计特征以其在设计过程中的作用引入如下定义.

定义 6. 使产品几何模型的体积增加的特征称为正特征.

定义 7. 使产品几何模型的体积减少的特征称为负特征.

定义 8. 为完成某特定设计目标而其功能意义可被改变的特征称为中介特征.图 6 中的台阶特征  $F_1$  即为中介特征,它可以带有一孤岛.

定义 9. 为完成某特定功能而其功能意义不能被改变的特征称为功能特征.即常规定义的特征.

定义 10. 不依赖其他特征的特征称为基特征,即没有父特征的特征.

定义 11. 依赖其他特征的特征称为非基特征,即有父特征的特征.

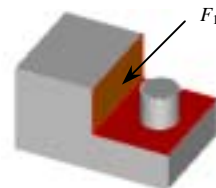


Fig.6 An example of medi-feature 图6 中介特征例子

特征全局有效性条件的表示依赖于特征的具体类型,为此,我们把所有设计特征分为基特征、非基正中介特征、负中介特征、非基正功能特征和负功能特征 5 类.每类特征的全局有效性条件 GVC1,GVC2 和 GVC3 见表 2.

**Table 2** Representation of global validity conditions, T means TURE and F means FALSE  
表 2 设计特征的全局有效性条件的确定,T 表示肯定,F 表示否定

Feature type	GVC1	GVC2	GVC3
Base feature	F	F	NULL
Non-Base positive medi-feature	F	F	Concave or NCC
Negative medi-feature	F	T or F	Convex or NCC
Non-Base positive functional feature	F	F	Concave or NCC
Negative functional feature	F	T or F	Convex

特征类型, 基特征, 非基正中介特征, 负中介特征, 非基正功能特征, 负功能特征.

## 2 基于局部特征识别的特征有效性维护方法概述

从用户需求来看,我们认为特征造型系统中的有效性维护应具备以下功能:

- 当特征有效性被破坏时,能够指出特征有效性被破坏的原因,并提示用户如何避免其有效性被破坏.
- 删除所有无效特征.
- 确定有效性被破坏特征的新状态.
- 根据用户意图自动修复有效性被破坏的特征.

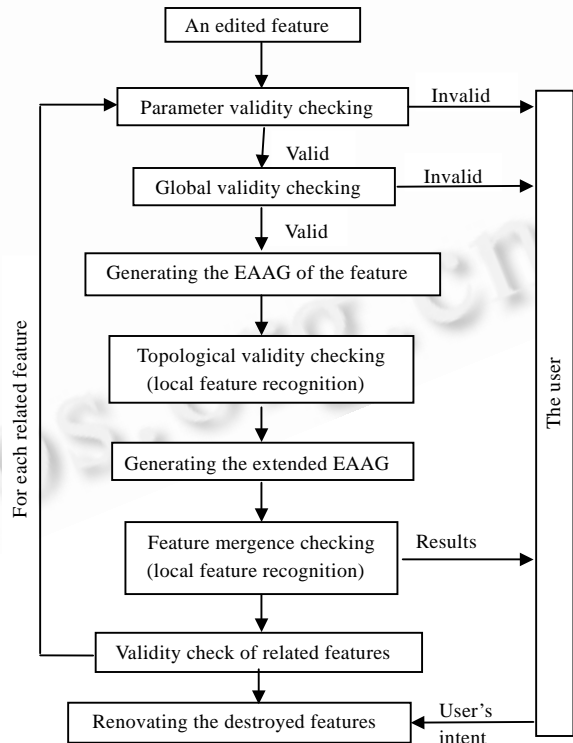
特征.

为满足如上功能需求,本文提出了一种新的特征有效性维护方法.该方法的主要思想是:当一特征编辑后,通过对编辑后模型的局部区域进行局部特征识别,自动检测出特征的有效性,并确定出有效性被破坏特征的新状态.

由于特征识别仅对被编辑特征或与其相交的特征的几何拓扑元素进行,故称其为局部特征识别.局部特征识别算法是由 Gao 和 Shah<sup>[9]</sup>所提出的特征识别方法改进而来,具体变化在两个方面:一是所需输入为零件的一部分而不再是全部边界元素,也取消了毛坯;二是利用设计特征信息和零件的边界表示进行构造被编辑特征的实例 EAAG.EAAG 的构造方法在第 3、4 两节给出,限于篇幅,详细的局部特征识别算法这里不再给出.

特征有效性维护算法在一个特征操作完成后启动.其输入为被编辑特征,具体算法分为以下 8 个步骤(如图 7 所示):

- (1) 对被编辑特征的参数有效性进行检查.
- (2) 对被编辑特征的全局有效性进行检查.
- (3) 生成被编辑特征的实例 EAAG.
- (4) 通过对特征实例 EAAG 局部特征识别进行拓扑有效性检查.



被编辑特征, 参数有效性检查, 有效, 无效, 全局有效性检查, 生成特征的实例 EAAG, 拓扑有效性检查(局部特征识别), 生成特征的扩展 EAAG, 特征合并检查(局部特征识别), 相关特征检测, 特征有效性修复.

Fig.7 Flow chat of the new approach to feature validity maintenance

图7 特征有效性维护流程

- (5) 生成被编辑特征的扩展 EAAG.
- (6) 通过对被编辑特征的扩展 EAAG 进行局部特征识别,检查是否发生特征合并.
- (7) 确定被编辑特征的相关特征集,并对每个相关特征执行(1)~(7)步,进行有效性检查.这里,相关特征集是指受被编辑特征影响的所有特征的集合.
- (8) 根据用户意图,系统自动修复特征模型的有效性.

### 3 基于局部特征识别的特征有效性检查方法

一个特征被编辑后,此特征及其每个相关特征的有效性都要接受检查.我们把特征有效性检查分成以下 4 个步骤.为方便计,在本节中我们记待检查的特征为 CF(changed feature).

#### 3.1 特征的参数有效性检查

通过对 CF 的参数与 CF 所属的特征类的参数有效性条件的比较,进行特征有效性检查.若特征参数满足其参数约束条件,则其参数有效,否则,其参数有效性被破坏,提示用户对特征参数按该参数的允许值范围进行调整.

#### 3.2 特征的全局有效性检查

特征的全局有效性检查分为两步:首先确定 CF 的 GVC1,GVC2 和 GVC3 的属性值,再将它们与 CF 所属的特征类定义中的全局有效性条件进行比较.若特征的全局有效性条件皆满足,则继续进行拓扑有效性检查,否则根据被破坏的全局有效性条件给用户提示有效性条件被破坏的原因和解决方法.CF 的 GVC1,GVC2 和 GVC3 的属性值确定如下:

(1) 检查特征是否被吸收以确定 GVC1.检查产品几何模型中是否存在属于 CF 的边界元素.若产品几何模型中不存在这样的边界元素,则 CF 被吸收且置 GVC1 的值为 TRUE;否则置 GVC1 的值为 FALSE.

(2) 检查特征是否被分割以确定 GVC2.CF 被分割的条件为当且仅当 CF 的特征体被特征模型中的其他特征分割成孤立的多个体.显然,只有与 CF 相交的负特征可导致 CF 被分割.检查 CF 是否被分割的具体算法为:首先,找出与 CF 相交的所有负特征 NIFS(negative intersected feature set);然后对 NIFS 中的所有特征的特征体作布尔和,得到一个几何体 UFV(united feature volume);最后用 UFV 减去 CF 的特征体得到一个几何体 NV.若 NV 有多个孤立的体,则表明 CF 被分割且置 GVC2 的值为 TRUE;否则置 GVC2 的值为 FALSE.

(3) 检查特征的边界属性以确定 GVC3.首先确定 CF 的边界边集 BES(boundary edge set),再通过检查 BES 中的每条边的凹凸性确定出 BES 的凹凸性.若 BES 中所有边为凹(凸),则置 GVC3 的值为凹(凸);否则置 GVC3 的值为 NCC.

#### 3.3 基于局部特征识别的拓扑有效性检查

特征的拓扑有效性条件被破坏是最常发生也最难判别与处理的情况.本文采用局部特征识别进行特征的拓扑有效性检查,一方面要判别出特征的有效性是否被破坏,另外,要判别出被破坏的特征的新状态,以便可以基于用户意图修复特征模型的有效性.具体检查算法分成以下两步.

##### 3.3.1 生成特征 CF 的实例 EAAG

在通常的特征识别算法中,EAAG 基于零件的边界表示生成,其中分割面合并和虚边生成十分复杂耗时<sup>[9]</sup>.本文利用设计特征信息生成被检查特征的实例 EAAG,以使分割面合并和虚边生成高效简单.下面我们以图 8 的台阶特征为例,具体描述特征实例 EAAG 的生成步骤(如图 9 所示).

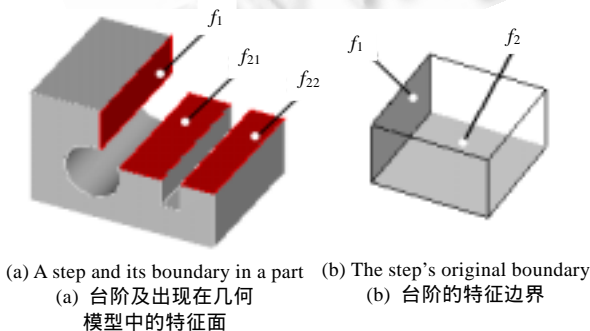


Fig.8 Illustration of a step and its boundary  
图8 台阶特征及其特征边界

(1) 初始实例 EAAG 生成.根据出现在产品几何模型中的 CF 的特征面及它们之间的邻接关系构造出 CF 的初始实例 EAAG.图 9(a)为图 8(a)的台阶的初始实例 EAAG.

(2) 分割面合并.若特征的初始实例 EAAG 中有多个面结点属于 CF 的同一个特征面,则把这些面结点合并为一个,并置该面的分割属性值 FTVC1 为 TRUE.图 9(b)显示了面结点  $f_2$  由  $f_{21}, f_{22}$  合并而得.

(3) 虚边生成.虚边是指因特征相交而消失,但同时也是识别出相交特征所需要的边<sup>[9]</sup>,如图 8(a)中  $f_1$  与  $f_{21}$  的交边即为虚边.为生成虚边,我们对特征实例 EAAG 中的任意两不相连面结点找到特征体中相应的两个特征面,若两个特征面在特征体中相邻,则说明它们的公共边因特征相交而在结果物体中消失,因此我们在这两个不相连的面结点之间生成一个连接它们的新边结点,并记录该边结点为虚边.图 9(c)的弧  $ve$  即为新生成的连接  $f_1$  和  $f_2$  的虚边结点.

(4) 建立特征实例 EAAG 中的结点和弧的其他属性,如几何类型、内外环和凹凸性等.

### 3.3.2 对特征 CF 的实例 EAAG 进行局部特征识别

在特征 CF 的实例 EAAG 生成后,对 CF 的实例 EAAG 进行局部特征识别检查 CF 的拓扑有效性.当 CF 拓扑有效时,CF 的实例 EAAG 必与 CF 所属的特征类的 EAAG 相匹配.然而,如果发生特征相交,由于此时特征实例的拓扑元素的属性会发生改变,因此特征实例 EAAG 所对应的特征可能不再是原特征类型.通过对 CF 的实例 EAAG 的识别,可确定 CF 在产品几何模型中的新状态,其识别结果存在以下 3 种类型:

- 识别成功,但识别出的特征类型与 CF 的特征类型不同.此时,提示用户是否进行特征转换.
- 识别成功,识别出的特征类型与 CF 的特征类型一致.表明 CF 拓扑有效.
- 识别失败,即实例 EAAG 不与特征库中的任何特征匹配,可见 CF 的拓扑结构遭到了严重破坏.

### 3.4 基于局部特征识别的特征合并检查

特征相交会导致多个特征合并为一个新特征,而合并后的特征可能是设计者所希望的.因此,在对特征 CF 拓扑有效性检查之后,若 CF 与其他特征相交,我们进一步检查 CF 能否与其他特征合并为新特征.当然,特征合并只可能在同类特征(都是正特征或负特征)之间进行.特征合并检查算法包括以下 3 步:

(1) 生成 CF 的扩展 EAAG.CF 的扩展 EAAG 是指以产品几何模型中属于 CF 及与 CF 相交的所有同类特征的面为结点构成的 EAAG.CF 的扩展 EAAG 构造方法为:

- 首先,确定所有与 CF 相交的同类特征集,记其为 MFS(mergence feature set);
- 其次,在物体边界中找出所有属于 MFS 的面,记这些面的集合为 MFFS(mergence feature face set);
- 最后,根据 MFFS 中的面及其邻接关系生成一个 EAAG,即 CF 的扩展 EAAG,记为 M\_EAAG.

(2) 对 M\_EAAG 进行局部特征识别.这一步与拓扑有效性检查方法一样,记识别出的特征集为 RFS(result feature set).

(3) 确定合并结果.若 RFS 中有这样的特征(记为 NF),NF 不与 CF 完全一样且 CF 体现在物体中的所有特征面都包含在 NF 中,则 NF 即为 CF 与其他特征合并产生的新特征.否则,CF 不与其他特征发生合并.

当某一特征与其他特征发生合并时,系统提示用户选择是否进行特征合并.

## 4 基于用户意图的有效性修复方法

进行特征有效性维护最直接简单的方法就是撤消当前操作,然而这种方法存在一个严重的问题,即不允许用户有意识地在设计过程中通过特征转化或特征合并修改已设计的特征来生成所需的新特征.如果用户需要

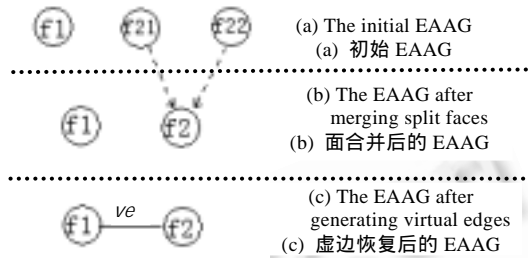


Fig.9 The generation process of the EAAG of the step in Fig. 8(a)

图9 台阶特征的实例EAAG的生成过程



改变已设计的特征类型(由于设计是逐步进化的,因此这种情况时常发生),则用户必须首先删除该特征和依附于其上的特征,然后再创建所需类型的特征以及依附于其上的所有特征,经历一个往往十分繁琐耗时的过程.导致上述问题的原因在于对有意识和无意识的有效性破坏不加区分.

为使有效性维护具有智能性,本文依据有效性检查所返回的特征有效性遭到破坏的原因和特征的现状,并结合用户意图进行特征模型的有效性维护.具体方法分为以下3种情况:

- 参数有效性被破坏.当系统检查出某一特征的参数有效性条件被破坏时,自动提示无效参数和该参数的有效域,以引导用户对这样的特征参数进行调整.

- 全局有效性被破坏.当某一特征的某个全局有效性条件被破坏时,系统自动提示导致这一情况的可能的特征(以高亮度显示相关特征),若找不到相应的特征则提示用户撤消相应操作.例如,当某一特征被吸收时,首先提示用户被吸收的特征,并提示用户撤消相应操作,若用户仍选择允许此特征被吸收,则系统自动在特征模型中删除此特征.

- 拓扑有效性被破坏.当某一特征的拓扑有效性被破坏时,包括发生特征转化和特征合并,系统首先将当前特征的新状态提示给用户,然后系统根据用户的选择自动维护模型的有效性.具体方法如下:

- (1) 若发生特征转化且用户选择将有效性被破坏的特征转化为识别出的新特征,则系统自动在特征模型中删除当前特征并插入识别出的新特征.

- (2) 若发生特征合并且用户选择进行特征合并,则系统自动在特征模型中删除所有被合并的特征,同时插入合并生成的新特征.

- (3) 若用户确定特征无效,则系统自动执行撤消操作.

## 5 实例

在 ACIS5.0 开发平台上,我们研制了一个具有特征有效性维护功能的特征造型原型系统-ZDFMS(Zhejiang Daxue feature modeling system).本节通过一个测试零件的特征模型建立过程来说明在 ZDFMS 中特征有效性维护的过程和实现机制.限于篇幅,我们仅对设计过程中的关键步骤加以说明.

- (1) 首先,用户创建一个 T 型基特征 1-Base;然后在基特征上加上两个通孔 2-Hole 和 3-Hole(如图 10(a)和图 10(b)所示).此时所生成的特征都为有效特征.

- (2) 然后,在基特征上加上一个肋特征 4-Rib(如图 11(a)所示).此时系统自动检测出,并提示用户 3-Hole 被阻挡(如图 11(b)所示)和 4-Rib 的有效性被破坏(如图 11(c)所示).此例中用户通过修改 4-Rib 的参数来修复 3-Hole 和 4-Rib 的有效性,修改后的有效特征如图 10(c)所示.随后继续在此模型中加上另一肋特征 5-Rib、两台阶 6-Step 和 7-Step、一个槽特征 8-Slot 以及一个盲槽特征 9-B\_Slot,如图 10(c)~(e)所示.

- (3) 为了把盲槽 9-B\_Slot 变为圆头盲槽,用户在此模型中加上一盲孔特征 10-B\_Hole.此时,系统自动检测出并提示用户 9-B\_Slot 和 10-B\_Hole 合并为一圆头盲槽(如图 12(c)所示).按照用户的要求,系统自动删除 9-B\_Slot 和 10-B\_Hole,并加入合并后的新特征 9-B\_Slot1,合并后的新特征模型的特征树如图 12(b)所示,图 12(a)显示了合并前的特征树.随后用户继续在此模型中加入一盲孔特征 10-B\_Hole 和一盲槽 11-B\_Slot(如图 10(f)和图 10(g)所示).

- (4) 最后,用户加长盲槽 11-B\_Slot 的长度(如图 13(d)所示).此时,系统自动检测出并提示用户 11-B\_Slot 已转化为一通槽而盲孔 10-B\_Hole 已转化为一通孔.系统检测结果如图 13(b)和图 13(c)所示,用户选择 Y 进行特征转化,图 13(d)的特征树中的 10-Hole 和 11-Slot 是转化而来的新特征.需注意的是,虽然特征 6-Step 和 7-Step 也与 11-Slot 特征相交,但系统仍然能检测出它们是有效特征,当然,此时不必提示用户.

## 6 结论与进一步工作

特征有效性的维护是特征造型领域中一个十分重要但至今尚未得到有效解决的问题.本文从设计人员的需求出发,提出了一种特征有效性条件的分类和表示方法.提出了基于用户意图进行特征模型有效性维护的新

方法.与已有的工作相比,本文工作具有以下 4 个特点:

(1) 提出了基于局部特征识别进行特征模型的有效性维护.本文方法不仅能够告之用户特征是否被破坏,更可以告之它们遭到破坏的原因和遭到破坏后的状态.

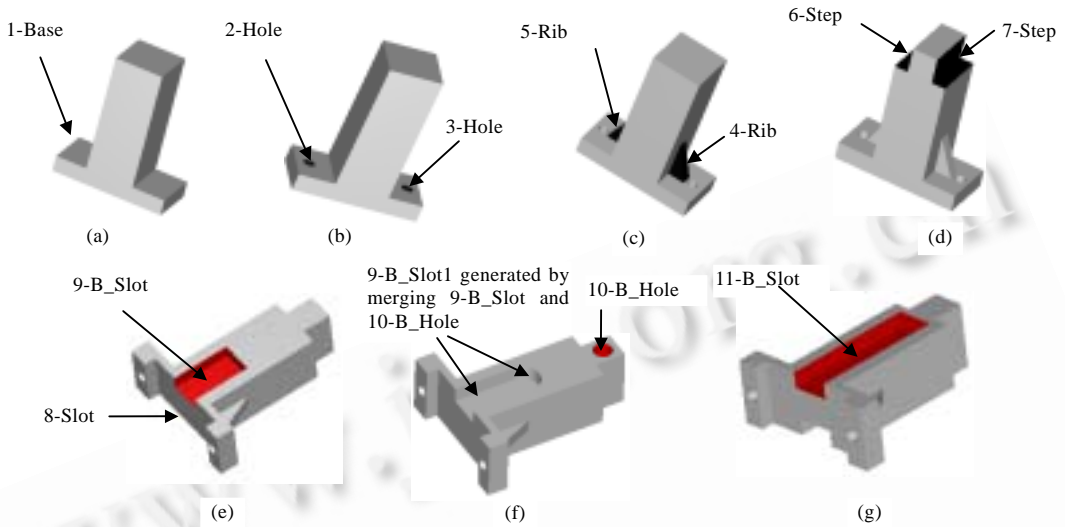


Fig.10 A test part and its features  
图10 特征模型示例及其特征

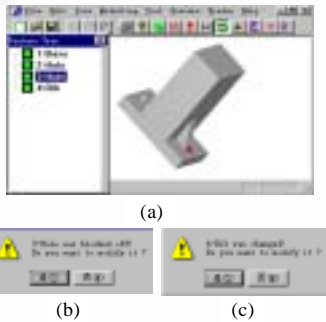


Fig.11 The validity problem with 3-Hole and 4-rib is detected  
图11 特征3-Hole和4-rib的有效性被破坏

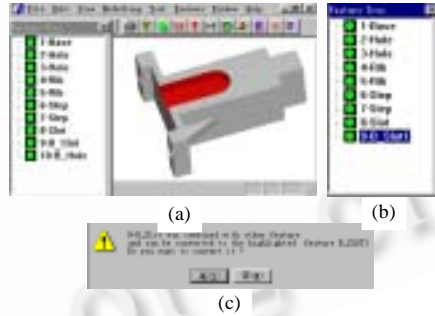


Fig.12 9-B\_Slot and 10-B\_Hole are detected being merged into a new feature 9-B\_Slot1  
图12 特征9-B\_Slot和10-B\_Hole合并为一新特征

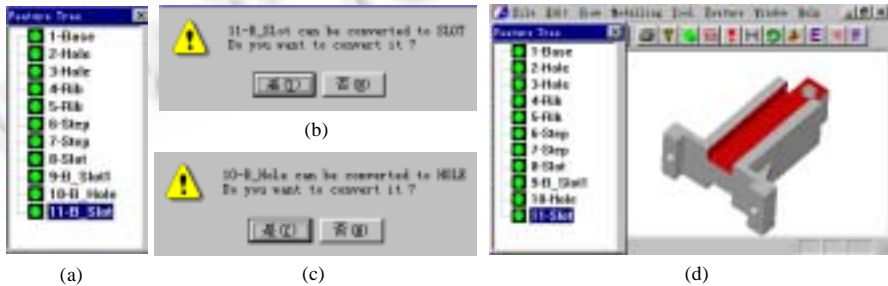


Fig.13 Validity maintaining after the length of 11-B\_Slot is increased  
图13 特征11-B\_Slot的长度增加后模型的有效性维护

(2) 基于用户意图修复特征模型的有效性.当用户有意识地通过设计新特征同时修改已设计特征的类型时,本文方法能够根据用户意图和特征识别结果自动建立起新的有效的特征模型.

(3) 提出了特征全局有效性条件的概念和基于 EAAG 的特征拓扑有效性条件表示方法.



(4) 利用设计特征信息提高了局部特征识别的效率.

本文着重于特征在结果物体中的状态分析和特征语义的有效性维护.但是,从更广泛的角度讲,特征模型的有效性不仅局限于此.为此,我们将进一步对以下问题进行研究:

- 特征模型的约束有效性问题,即特征模型修改后特征的几何约束特别是定位约束是否继续保持有效的问题;
- 特征模型修改后,由于拓扑元素命名不当引起的特征操作不符合用户设计意图的问题.

#### References:

- [1] Shah, J.J, Mantyla, M. Parametric and Feature-Based CAD/CAM: Concepts, Techniques and Application. New York: John Wiley & Sons, 1995.
- [2] Rossignac, J.R. Issues on feature-based editing and interrogation of solid models. *Computers & Graphics*, 1990,14(2):149~172.
- [3] Mandiorli, F., Cugini, U., Otto, H.E., *et al.* Modeling with self validation features. In: Hoffmann, C., Bronsvoort, W.F., eds. *Proceedings of the Solid Modeling'97—4th Symposium on Solid Modeling and Application*. New York: ACM Press, 1997. 88~96.
- [4] Bidarra, R., Idri, A., Noort, A., *et al.* Declarative user\_defined feature classes. In: *Proceedings of the 1998 ASME Design Engineering Technical Conferences*. New York: ASME, 1998.
- [5] Bidarra, R., Bronsvoort, W.F. Validity maintenance of semantic feature models. In: Bronsvoort, W.F., Anderson, D.C., eds. *Proceedings of the Solid Modeling'99—5th Symposium on Solid Modeling and Application*. New York: ACM Press, 1999. 85~96.
- [6] Dohmen, M., de Kraker, K.J., Bronsvoort, W.F. Feature validation in a multiple-view modeling system. In: *Proceedings of the 1996 ASME Design Engineering Technical Conferences and Computers in Engineering Conference*. New York: ASME, 1996.
- [7] Bidarra, R., de Kraker, K.J., Bronsvoort, W.F. Representation and management of feature information in a cellular model. *Computer-Aided Design*, 1998,30(4):301~313.
- [8] Hoffmann, C.M., Joan-Arubby, R. On user-defined features. *Computer-Aided Design*, 1998,30(5):321~332.
- [9] Gao, S., Shah, J.J. Automatic recognition of interacting machining features based on minimal condition subgraph. *Computer-Aided Design*, 1998,30(9):727~739.
- [10] Joshi, S., Chang, T.C. Graph-Based heuristics for recognition of machined features from a 3D solid model. *Computer-Aided Design*, 1988,20(2):58~66.

## Feature Validity Maintaining Approach Based on Local Feature Recognition\*

CHEN Zheng-ming<sup>1,2</sup>, GAO Shu-ming<sup>1</sup>, PENG Qun-sheng<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(State Key Laboratory of CAD & CG, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China);

<sup>2</sup>(College of Computer and Information Engineering, Hehai University, Changzhou 213022, China)

E-mail: zmchen@hhuc.edu.cn; smgao@cad.zju.edu.cn; peng@cad.zju.edu.cn

<http://www.hhuc.edu.cn>

**Abstract:** Lacking of feature validity maintaining function has become a serious problem with existing feature modeling systems. In this paper, a representation for feature validity condition based on the extended attributed adjacency graph is proposed, and a novel approach is particularly proposed to feature validity maintaining using local feature recognition technique. The approach can not only automatically detect if the feature validity is destroyed, but also accurately determine the reason why the feature becomes invalid and the state of the destroyed feature. Furthermore, the approach can automatically renovate the feature model based on the user's intention.

**Key words:** feature; feature modeling; feature validity; feature recognition; CAD/CAM

\* Received March 24, 2000; accepted January 15, 2001

Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No.69973045; the National Natural Science Foundation for Innovative Research Groups of China under Grant No.60021201