

基于充分性原理的特征交互检测策略

孙立镛 金瑛浩

(哈尔滨理工大学计算机科学与技术学院 哈尔滨 150080)

摘要 在特征造型系统中,系统必须跟踪并检测每一步造型操作,以确保整个模型的有效性。当前普遍采用的特征交互检测策略难以适应拓扑结构复杂、特征数量较多的产品模型,因此如何提高特征交互检测的效率,成为特征造型技术研究中最具挑战的课题之一。通过深入研究特征交互机制,将细胞元模型理论和特征交互的充分性原理引入特征交互的检测中,提出了一种全新的特征交互策略,有效地解决了特征造型系统性能瓶颈的问题。

关键词 细胞元模型,语义特征造型,约束求解,特征交互,特征交互充分性原理

中图分类号 TP391 **文献标识码** A

Strategy of Feature Interaction Based on the Sufficiency Principle

SUN Li-juan JIN Ying-hao

(College of Computer Science and Technology, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

Abstract To maintain validation of models, it must track and check each modeling operation in feature modeling systems. The ways used at large about feature interaction checking can not be used for product models with complicated topology and lots of features. Improving feature interaction checking efficiency is one of the most challenge questions in the researching on feature modeling technology. By the deeply research on feature interaction, cellular models theory and feature interaction principle were imported into feature interaction checking, a new feature interaction strategy was put forward, and this method solved effectively the problem about capability limitation.

Keywords Cellular model, Semantic feature modeling, Constraint solving, Feature interaction, Sufficiency principle of feature interaction

语义特征造型^[1]的基本思想就是在一个特征模型中把形状信息与功能信息有机地结合在一起,共同构成特征的语义,其最终目的就是维护特征模型的有效性。有效性维护就是为了保证模型中所有的特征必须符合特征类中所描述的特征语义而进行的对每个造型操作的监测过程。在创建特征和特征造型的整个过程中,都要对有效性进行检查,以便判断特征模型的有效性^[2]。而有效性失败的过程几乎都是由特征交互(Feature Interaction)导致的。目前,语义特征造型系统中采用的特征交互检测方法是每个造型操作进行跟踪,每一步操作后都立即对整个模型进行约束求解,以确定整个模型的有效性^[3-5]。这种方法的缺点是随着模型的复杂程度和特征数量的增加而变得越来越困难,从而使特征交互检测成为特征造型系统性能的瓶颈。本文通过对特征交互机制的深入研究,将细胞元模型理论和特征交互的充分性原理引入特征交互的检测中,提出了一种全新的特征交互策略,有效地解决了特征造型系统性能瓶颈的问题,提高了细胞元^[6-8]语义特征造型系统的整体性能。

1 细胞元模型中的特征交互

在细胞元语义特征造型系统中,当向模型中加入、删除或修改一个特征时,如果某两个特征之间有共用的空间区域(即

特征形状相交),就说两个特征间发生了特征交互(Feature Interaction),可表示为 $F_1 \leftrightarrow F_2 \Leftrightarrow IE(F_1, F_2) \neq \emptyset$, 而 $IE(F_1, F_2) = FV(F_1) \cap FV(F_2)$, $FV(F_i)$ 表示特征 F_i 的特征体积(Feature Volume), 而 $IE(F_1, F_2)$ 表示特征相交区域(Interaction Extent)。根据特征相交区域 IE , 特征交互可分为两种方式: 体积相互作用方式 VI (Volumetric Interaction) 和边界相互作用方式 BI (Boundary Interaction)。根据细胞元语义特征造型系统中的造型标准和技术标准可分为分裂交互、分离交互、边界清除交互、体积清除交互、封装交互、吸收交互、几何交互、变形交互和语义交互^[9,10]。在细胞元模型中特征交互检测的主要算法如下:

```
foreach cell C in s, cells
    overlappingSet, union(c, ownerlist)
foreach cell face cfin s, boundary
    overlappingSet, union(cf, ownerlist)
for each cell edge ce in s, wire
    overlappingSet, union(ce, ownerlist)
    overlappingSet, remove(s)
return overlappingSet //返回与特征形状 S 体积相交的所有特征形状的集合
for each cell face cfj in Si, boundary( additive)
for each cell face cf in s, boundary
```

到稿日期:2009-09-30 返修日期:2009-12-29 本文受国家自然科学基金(60173055)资助。

孙立镛(1944-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为计算机图形学与 CAD, E-mail: cnxiaobai@163.com; 金瑛浩(1978-),男,博士,讲师,主要研究方向为计算机图形学与 CAD、细胞元语义特征造型及人工智能。

```
(additive)
if cf. adjacent(cfj)
    return true
return false
```

对于构成形状特征 S 的每个细胞元、细胞面、细胞边来说,分别找出它们的物主列表与 S 的交集,最后返回在体积上与 S 相交的所有特征集。如果集合非空,则表示发生了体积相互作用。对于特征边界中的每一个细胞边来说,如果有构成另一形状特征边界的细胞边与之相邻(Adjacent),则返回真值(即发生了边界相互作用),否则返回假值。

2 基于特征交互充分性原理的特征交互检测策略

2.1 简化特征检测策略的可行性

根据特征交互的机制可知,在原有模型基础上增加、删除或修改一个特征,都要进行特征交互检测,以确保整个模型的语义约束都能得到满足。而每次检测都要检索主动特征与被动特征之间所有的细胞元、细胞面和细胞边,分别找出它们的物主列表相交的所有特征集。假设模型中已有 n 个特征,且全都满足语义约束,那么向其中添加一个新特征,系统必须对这个新特征和模型中的其它 n 个特征进行语义约束的求解,以确定整个特征模型的语义约束得到满足。即使新特征或主动特征可能与模型中原有特征没有发生交互,也要进行一次全部的约束求解工作。也就是说,对于一个已有 n 个特征的模型,现有系统至少要进行 $n(n+1)/2$ 次特征交互检测(对于删除特征和修改特征的情况与之类似)。

因此,当模型中特征数量较少,且每个表示特征的细胞联合体中的细胞数量较少时,系统的全局约束求解规模还能接受。但是,如果模型结构比较复杂,特征交互检测的效率就会迅速下降,成为细胞元语义特征造型系统亟待解决的问题之一。

然而,造型工作是一个由简单到复杂、逐步细化的过程。每次新发生特征交互的特征数量相对系统中所有的特征来说是一个较小的值。另外,如果原有模型的语义约束得到满足,同时新加入的特征与发生交互的特征的语义也得到满足,那么新的模型的语义也必然满足。反之,如果新加入的特征与发生交互的特征不满足语义,那么整个模型的语义也必然无法满足。这就是细胞元特征造型系统中约束求解的局部性原理。因此,如果在特征交互检测前,能找出可能与新特征发生交互的被动特征的集合(称之为特征交互充分集),然后只对新特征与特征交互充分集进行约束求解,必然会大大提高特征检测的速度。如果这一方案可行,那么特征交互检测的时间复杂度将不再受模型中特征的数量或细胞联合体中细胞的数量所影响,而只与用户的具体操作相关,必然会大大提高语义特征造型系统的性能。

2.2 特征交互充分性原理的引入

为了适应高层次语义建模和提高交互检测的效率,笔者将特征交互充分性原理引入到细胞元语义特征模型的研究中来,并通过“最值空间”这一概念来描述每个特征在细胞元模型中的影响范围。所谓的最值空间,就是一个能完整地包含特征影响范围的长方体空间。为了便于检测,我们规定最值空间的每个边都与世界坐标系的 3 个轴平行或垂直。在细胞元语义特征模型中,这个最值空间的长、宽、高就是由该特征的细胞联合体 $|K|$ 中在 x 轴、 y 轴、 z 轴上最远的两个点确定的。这样就很容易定义最值空间的数据结构:

```
typedef structure max_space
{
    //最大影响空间的长、宽、高
    double max_w,max_l,max_h;
    //最大影响空间 x 轴上投影坐标的端值
    double max_w_x1,max_w_x2;
    //最大影响空间 y 轴上投影坐标的端值
    double max_l_y1,max_l_y2;
    //最大影响空间 z 轴上投影坐标的端值
    double max_h_z1,max_h_z2;
} m_space;
```

其中 $\max_w_x1, \max_w_x2, \max_l_y1, \max_l_y2, \max_h_z1$ 和 \max_h_z2 是细胞联合体 $|K|$ 中沿坐标轴方向上处于最边缘的细胞在相应轴上的投影。这样就可以得到: $\max_w = |\max_w_x1 - \max_w_x2|$, $\max_l = |\max_l_y1 - \max_l_y2|$, $\max_h = |\max_h_z1 - \max_h_z2|$ 。

引入特征交互充分性原理后,如果两个特征 F_1 和 F_2 发生交互,则必然同时满足如下 3 个不等式:

$$F2. my_mspace. \max_w_x1 < F1. my. mspace. \max_w_x1 < F2. my_mspace. \max_w_x2$$

$$F2. my_mspace. \max_l_y1 < F1. my. mspace. \max_l_y1 < F2. my_mspace. \max_l_y2$$

$$F2. my_mspace. \max_h_z1 < F1. my. mspace. \max_h_z1 < F2. my_mspace. \max_h_z2$$

反之,只要这 3 个不等式中有 1 个不满足,那么 F_1 和 F_2 就肯定不会发生特征交互。可见,在细胞元语义特征模型中引入特征交互充分性这一原理,对于特征交互检测十分有利。

3 基于充分性原理的特征交互检测

经过以上几方面的改进,原有的特征交互检测过程就转换为先根据新特征确定特征交互充分集,然后对新特征和特征交互充分集中的特征进行语义约束求解的过程。这样,既保证了整个模型语义约束的满足,也提高了语义约束求解的速度。由于特征交互充分集通过特征的最值空间的筛选后特征数量大大减少,因此这种方法从根本上解决了系统性能瓶颈的问题。而特征交互充分集的具体算法也十分简单:

```
create_sub_set(Fn)
{
    for each F in model
        if(judgeinteraction(F,Fn)) //判断特征 F 与 Fn 的 3 个不等式是否成立
            insert_sub_set(F); //如果 3 个不等式均成立,则将 F 插入充分集中
    return ture;
}
```

这样采用特征交互充分集的建模流程就如图 1 所示。

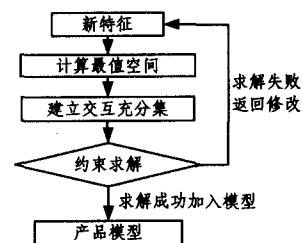


图 1 基于特征充分集的建模流程

通过在自主开发的 HUST-CAID 系统上仿真,可以看到

一个槽特征、盲孔特征和通孔特征的最值空间及其交互情况。如图2所示,一个盲孔的最值空间和槽的最值空间发生交互,其特征也发生交互,盲孔的语义被改变。而通孔的最值空间与其他两个特征的最值空间没有发生交互,所以没有发生特征交互,语义也得到了保持。与图2对应的产品模型渲染图如图3所示。

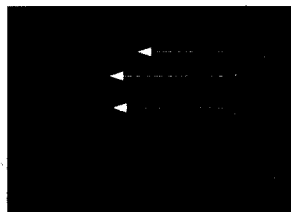


图2 槽、盲孔和通孔的最值空间

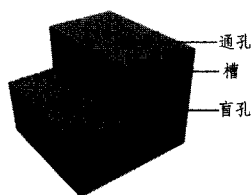


图3 产品模型渲染图

4 结果和讨论

通过 HUST-CAID 系统上的多次试验发现,传统的特征交互检测过程中,需要检测的特征数量与模型中特征数量呈线性关系。也就是说,模型中特征数量越多,特征交互检测的时间代价就越高。然而,在使用了最值空间这一方法后,由于特征交互充分集中特征的数量与模型中的特征数量没有依赖关系,因此在特征交互检测过程中极大地提高了检测效率。经统计,使用本文提出的特征交互检测策略后,每次参与特征交互检测的特征数量一般只有 2~15 个,平均 5 个左右。其对比情况如表 1 所列。

表 1 特征交互的检测次数比较

特征数	传统策略	新策略	效果
1-20	12	1-7	一般
20-30	25	2-9	一般
30-40	35	2-13	中
40 以上	—	2-15	好

通过分析对基于特征交互充分性原理的特征检测策略的算法可知,当模型中特征数量较少时,特征交互充分集中的特征数量与模型中的特征数量相差不大,因此系统性能的提升有限。但是对于复杂的模型,尤其是建模的后期过程中,模型

中特征的数量明显增多,而特征交互充分集中特征的数量能够始终保持较小的规模,从而保证了系统特征交互检测的性能。

可见,在细胞元语义特征造型系统中采用这一新的检测策略后,可大大地减少约束求解的次数。尤其对于复杂模型的建模过程,性能提升的作用较大。

结束语 通过使用特征交互充分集,充分挖掘了细胞元模型本身所具备的优势,在不增加算法复杂度的前提下,很大程度地提高了特征交互检测的效率。在采用这种检测策略中,如何减少存储空间的开销,以及如何提高小模型的稳定性,是值得进一步研究的课题。另外,对于自定义特征以及组合特征的特征交互检测稳定性的研究,也非常必要。

参考文献

- [1] Bronsvort W F, Bidarra R, Nyirenda P J. Developments in feature modeling [J]. Computer-Aided Design and Applications, 2006, 3(5): 655-664
- [2] Lourenço D, Oliveira P, Noort A, et al. Constraint solving for direct manipulation of features [J]. Journal of Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, 2006, 20(4): 369-382
- [3] 左继红,王千祥,梅宏. 基于模式分析的特征交互检测[J]. 软件学报, 2007, 18(4): 796-807
- [4] 唐敏,董金祥,Chou Shang-Ching. 多客户协同特征造型系统中的冲突解决[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2005, 17(6): 1139-1145
- [5] 陈正鸣,高曙明,彭群生. 基于局部特征识别的特征有效性维护方法[J]. 软件学报, 2002, 13(4): 552-560
- [6] Bidarra R, Madeira J, Neels W J, et al. Efficiency of boundary evaluation for a cellular model[J]. Computer Aided Design, 2005, 37(12): 1266-1284
- [7] Bidarra R, Neels W J, Bronsvort W F. Boundary evaluation for a cellular model[C]//Computers and Information in Engineering Conference, Chicago, USA, 2003: 255-265
- [8] Hilderick A, van der Meiden, Bronsvort W F. A constructive approach to calculate parameter ranges for systems of geometric constraints[J]. Computer-Aided Design, 2006, 38(4): 275-283
- [9] Bidarra R, Noort A. Advanced Direct Manipulation of Feature Models [C]//Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Graphics Theory and Applications (GRAPP 07). Barcelona, Spain, 2007: 8-11
- [10] Hilderick A, van der Meiden, Bronsvort W F. Solving topological constraints for declarative families of objects[J]. Computer Aided Design, 2007, 39(8): 652-662

(上接第 269 页)

- [6] 李新,谢勇智,等. 基于运动图像序列的啤酒瓶凸性字符快速提取方法[J]. 桂林工学院学报, 2005, 25(1): 97-100
- [7] 王新,黄兆云. 基于多结构元素的数学形态学图像边缘检[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(7): 89-112
- [8] Lei Tao, Fan Yang-yu, Huang Lian-bing. Fast lane recognition based on morphological multi-structure element model[J]. Optoelectronics Letters, 2009, 5(4): 304-308
- [9] 孙达,刘家峰. 基于概率密度梯度的边缘检测[J]. 计算机学报, 2009, 32(2): 299-307
- [10] 冯会真,夏哲雷,等. 基于神经网络的图象边缘检测方法[J]. 中

国计量学院学报, 2006, 17(4): 289-291

- [11] 张东波,王耀南. FCM 聚类算法和粗糙集在医疗图象分割中的应用[J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(12): 1683-1687
- [12] Besbeas P, Feis I D, Sapatinas H. A comparative simulation study of wavelet shrinkage estimators for Poisson counts[J]. Int. Stat. Re., 2004, 72(2): 209-237
- [13] 虞伟,张小刚. 遗传算法优化的形态学边缘检测算子[J]. 微计算机信息, 2008, 24(9): 168-170
- [14] 钟玉琢,乔秉新,李树青. 机器人视觉技术(第一版)[D]. 北京: 国防工业出版社, 1994: 327-330