

中国自动化学会CG/CAD专业委员会

第八届学术会议论文集

一九九四年十月 中国 西安

邮政编码: 710072

电 话: 5253351-3232

电 挂: 5300

电 传: (FAX) 5261959

CG / CAD 第八届学术会议论文集

编 辑: 西北工业大学 CAD / CAM 中心

印 / 刷: 西安市现代轻印刷部

印 数: 200 工本费: 40 元

陕新出批 (1994 年) 字第 0137 号

中国自动化学会 CG/CAD 专业委员会

第八届学术会议

主办单位：中国自动化学会 CG/CAD 专业委员会

承办单位：西北工业大学 CAD/CAM 研究中心

协办单位：EDS UNIGRAPHICS 中国部

指导委员会

主席：唐荣锡

委员：（以姓氏笔划为序）

王采斐 叶尚辉 孙家广 刘元镛 刘慎权
张申生 陈由迪 陈守厂 陈贤杰 李建新
吴恩华 庞云阶 郑守淇 周 济 杨海成
杨彭基 郝克刚 唐泽圣 高国安 彭群生
蔡宣平 戴国忠 戴冠中

大会主席：杨彭基

执行主席：杨海成

程序委员会

主席：张定华

副主席：魏生民

委员：（以姓氏笔划顺序）

王晨升 张申生 李建新 张树生 张继禹
吴骏恒 郑 飞 杨四亦 胡晓峰 唐卫清
高曙明 彭群生

组织委员会

主席：范彦斌

副主席：王增强 周西军

委员：（以姓氏笔划为序）

任军学 汪文虎 李引娣 宋东科 周惠群
赵歆波 贾天娥

序

中国自动化学会 CG/CAD 专业委员会第八届学术会议由西北工业大学 CAD/CAM 研究中心承办,其宗旨是增进我国 CG/CAD 科学工作者之间的学术交流,促进科技进步,为发展我国计算机应用事业作贡献。

本次会议共收到论文 100 余篇,经过严格初审和终审,最后决定全文录用 88 篇。

会议收到的论文,充分体现了我国 CG/CAD 科学工作者的学术研究及应用水平。从深度上讲,许多论文是国家自然科学基金以及省、部级基金资助的研究成果,反映了 CG/CAD 发展的前沿;从广度上讲,研究内容丰富,从新一代三维建模技术、面向对象在 CAD 中的应用、数控加工自动编程技术到可视化与仿真技术、多媒体技术与动画技术,覆盖了当前 CG/CAD 技术的各个领域;而论文作者,除了一批在本领域工作多年、造诣颇深的中老年专家外,我还十分高兴地看到有很大一部分年青有为的科技工作者。可以说在 CG、CAD 领域里后继有人。

会议的召开,受到了中国自动化学会 CG/CAD 专业委员和西北工业大学有关单位的大力支持。大会筹备小组为大会的召开作了卓有成效、大量细致的准备工作,为大会的顺利召开奠定了基础。最后,祝大会圆满成功。

杨彭基

1994 年 8 月

目 录

第一部分 新一代三维建模技术

对实体造型技术发展动向的认识	唐荣锡	刘晓强	王亚平(1)
一种适用于特征造型的参数化设计方法	高曙明	彭群生(7)	
曲面造型系统中的蒙面技术	孙甘平	常红星	栾晓成(15)
NURBS 曲线等距算法研究	宋德军	杨海成(22)	
三维形体的体元造型	郑 飞	叶尚辉	孙文焕(26)
形状优化几何造型的有理 EB 样条方法	郭太勇	陈时锦	王 妮 孙靖民(30)
参数化特征设计技术研究	张继禹	张铁昌	禹 涌(34)
CACD 中扫描输入一些问题的解决及其扩展	罗伯鹏	陈振宇(39)	
三维计算机动画中人体建模方法的研究	宋顺林	詹永照	薛安荣 伏劲松(42)
面向一般环境的光能传播全局立方体算法	秦学英	彭群生	傅 晟(47)
B 样条曲面的纹理映射			王晓伟(61)
三维空间点分类算法及其应用			王西永(64)
NURBS 应用技术研究	周西军	杨海成	杨彭基(68)
非流形模型的建模及其操作	武仲科	吴骏恒(74)	
冷冲模 CAD 系统存在的问题及解决方法	宋建平	宋 霜	狄颖伟(84)
从多视图重建三维实体技术综述	耿卫东	潘云鹤	何志均(87)
引入中心差分算子技术的约束变尺度法	李海滨	范彦斌(92)	
随机分维几何面的辐射度技术			吴恩华(98)
基于特征的二维变量设计	高 玮	彭群生(103)	
由等高线地图建立三维地形的 TIN 模型	阳俊彪	周石琳(108)	
NPU-1/SPMGNC 系统相关分析概念模型的建立与描述	王争鸣	张定华	刘泽军(112)
高速三维图形系统的软件设计	朱长仁	蔡宣平	孙茂印(118)
用八叉树模式实现造型系统的集合运算	钱文阳	黄尧民(122)	
关于计算机辅助并行设计(CACD)技术的探讨	张申生	侯晓林	王忠辉(127)
参数曲面求交算法的研究			胡德荣(134)
计算机辅助并行设计技术的初步尝试	侯晓林	张申生	王忠辉(141)
一个基于微机的剪板机整机 CAD 系统结构	徐保文	何德誉(148)	
囊括柱贯柱类 2025 种的展开图函数及钣金 CAD			陈仲全(153)
一个新算法—扫描曲面转换成 Bezier 曲面			莫 蓉(160)

第二部分 面向对象在 CAD 中的应用

面向对象技术在 CAD 零件模型中的应用	黄 进	史逸芬(165)
----------------------------	-----	----------

关于智能 CAD 系统中的概念设计模型	吴骏恒(169)
面向对象的系统设计方法研究与实践	杨海成 魏生民 王增强 侯增选(175)
用户界面对象类的交互描述及生成方法	莫 斌 张 倪(182)
用户界面 X Window 模型	吴 勇 范彦斌(187)
面向对象方法在 CAD/CAM 系统二次开发中的应用	谢为敢(192)
XDFEMS 形状特征造型系统中的特征分类	杨运平 叶尚辉(196)
基于 O—O 的零件信息框架描述及其层次推理机制	宋东科 杨海成 范彦斌(202)
工程图标注符号的识别研究	刘 钟 张树生(208)
基于面向目标的用户界面设计	崔晓天(214)
ACDS 系统中面向对象的版本管理和配置管理	张 伟 高光焘 杨彭基(219)
面向对象的 CAD/CAM 一体化系统研究与探索	刘 旻 杨海成 魏生民(221)
CAD 系统中工程设计过程与工程数据的管理及其在实际中的应用	徐 建 袁国平(226)

第三部分 数控加工自动编程技术

集成化 CAD/CAM 技术及发展趋势	李国辉 唐太平 戴国忠(231)
NCS 集成制造软件系统的设计思想与实现方法	王晨升 戴国忠(236)
集成制造软件系统 NCS 的用户界面系统 ncs/UI 简介	唐太平 王晨升 戴国忠(240)
NCS 系统几何模块的原理和使用技巧	蔡东兵 王晨升(244)
集成制造系统后置处理程序的设计方法	孙 放 王晨升(249)
基于特征表示的 NC 自动编程方法	屠长河(254)
一种刀具扫描体算法的提出与实现	乔咏梅 张定华 魏生民(259)
数控铣削试切环境与过程的仿真模型研究	乔咏梅 张定华 魏生民(263)
数控加工程序的验证技术	何 勇(269)
基于知识的装配机器人的编程方法研究	徐国桦 林建勇 徐毓良(274)
自动络筒机制造技术引进中与 Schlafhorst 公司信息技术接轨	李建新(279)
MD 机头骨架零件的 CAD 与 CAM 技术	李蓉华(283)

第四部分 可视化与仿真技术

向量场可视化技术及其进展	梁训东 李 斌 刘慎权(288)
Windows 环境下的数据场可视化系统 PCVISC	任 敬 吴恩华(294)
基于虚拟环境的虚拟风洞	魏生民 张定华 杨海成 范彦斌(299)
虚拟现实及其交互技术	于 静 梁训东(304)
可视化计算在雷达成像研究中的应用	张家林 吴成柯(309)
一个交互式科学计算可视化软件	陈诗笠 杨淑霞(315)
分片深度优先遍历剖面显示算法	李 斌 梁训东 刘慎权(319)
智能化和可视化的有限元网格自动生成	杜群贵 邓达华(324)

可视化技术的一些基本问题.....	张 伟	高光焘	杨彭基(329)
-------------------	-----	-----	----------

第五部分 多媒体技术

多媒体系统中的声音数据压缩技术.....	胡晓峰	姚玉明(331)
多媒体表现的脚本模型.....	陈 怡	邓小妮 胡晓峰(336)
H ³ MMIS 数据模型的体系结构观点	邓小妮	陈 怡 胡晓峰(340)
超媒体编辑语言的设计与实现.....	吴玲达	老松扬 胡晓峰(345)
工程图纸自动录入技术的研究.....	杨瑞原 丁 武	张 莉 胡晓武(350)

第六部分 计算机图形学与动画技术

多边形扫描转换算法中的插值问题求解.....	唐卫清	周建亮	唐荣锡(355)
二维图形的局部修改及参数化.....	甘 平	常红星	袁国平(361)
图象生成专用机中视景数据库的创建与管理.....	董社勤	高国安	(366)
计算机动画中三维逼真人体的显示技术.....	杨四亦	刘慎权	(370)
HVS:一个半现实全景图时空模型	胡晓峰	老松扬	张茂军(375)
多媒体技术在舰载武器系统中的应用.....	吴传利	刘昌禄	闫修林(380)
用 Visual Basic 编制 Windows 下的多媒体应用程序	哈 进		(385)
多媒体技术及其应用.....		黄晓敏	(392)
Lagrange 法在基于物理模型的动态图形仿真中的应用	金小刚	彭群生	(397)
轨迹运动及其变形.....	鲍虎军	金小刚	彭群生(402)
一种用于计算机变形技术的构造两图形顶点对应关系的算法研究.....	许光明	蔡宣平	(409)
基于动态导航原理的 CAD 图形绘制及尺寸的集成标注	王忠辉	张申生	(413)
动画剧本描述语言 SDL/B 的设计与实现	马华东	刘慎权	(419)
油田地质信息管理系统与绘图软件包.....		陈玉祥	(425)
绘画图形学的工具—颜色涂匀方法.....	庞云阶	于大勇	刘国然(430)
图象生成专用机的体系结构.....	董社勤	高国安	(436)
基于 Z 缓冲器的真实感图形生成的并行算法	孟祥旭	王晓波	(441)
i860 微处理器图形处理功能的应用.....	颜飞翔	蔡宣平	孙茂印(446)
Delaunay 三角网格化算法研究.....	管 镭	孟宪琦	魏生民(450)
纺机凸轮 CAD	张睿敏	胡觉影	(455)

对实体造型技术发展动向的认识

唐荣锡 刘晓强 王亚平

北京航空航天大学七〇三教研室

摘要

结合国情, 本文论述了实体造型的发展过程, 趋势和研究方向。

1 CAD 技术的发展动向

计算机集成制造和并行工程的思想都要求整个生产环节采用统一的产品信息模型。这样的模型用三维实体几何作为基础显然要比二维图样、三维线框和表面模型更加严密、完整。据 1991 年 6 月 Aviation Week and space Technology 报道, 波音 777 客机的机体设计中 50% 零件用三维实体构造了 50% 细节。它反映了产品设计中的一个总趋势, 即产品的形状和结构越复杂, 采用三维几何打样的优越性也就越突出。正是这种工程应用上的需求推动了实体造型技术的迅速发展。近几年来国外的实体造型软件都在增加以下功能:

(1) 在理论体系上摆脱了实体表示和拼合运算的正则集和二维流形的束缚, 允许产品几何模型任意组合使用线框、曲面和实体元素。

(2) 实体模型表面采用精确的解析方程或参数曲面表示, 不再用小平面逼近。曲面造型和实体造型技术相互融合, 形成单一的产品几何模型。

(3) 设计可以从勾划草图开始, 采用变量化的约束驱动和尺寸驱动原理, 具体的尺寸标注值经过修改后系统自动修改几何图形。设计工作可以灵活改变方案和回溯。传统的拼合运算耗费时间多, 不十分可靠, 正在采用新的形体拼合处理方法谋求补救。

(4) 系统内维持单一的产品三维几何模型, 任何一个应用环节都可以修改这一模型(当然要经过严格的审批手续), 并行工程的要点就是早在产品的方案设计阶段就组成综合协调小组, 促使产品设计从一开始就兼顾整个生产和售后服务过程的全局, 谋求企业的最高总体效益。产品模型和应用环节的相关性(associativity)无疑是十分重要的。

(5) 引入特征技术, 使产品设计和工艺过程设计、加工编程等都在功能形素的高层次上进行。功能形素有定型的语义、象轴颈、键槽、螺钉孔、销钉孔、箱体、箱盖等, 各有相应的设计和加工规则, 可以在 CAD/CAM 系统中引入知识库和规范库, 向智能化决策和求解迈进。

(6) 扩大系统的集成化综合能力, 从 CAD 的产品几何模型出发可以直接进入工程分析(有限元、运动学、动力学、注塑流变过程模拟等)、工艺过程制定、数控加工和测量编程、装配误差尺寸链分析、加工中心和柔性单元控制等等。

(7) 加强分布式网络数据管理功能, 将 CAD 系统纳入整个企业的生产技术和经营管理体制。

(8) 完善用户界面, 简化操作过程, 将菜单层次减少到两层, 用户命令控制在 200 个以内。尽量让系统猜测用户意图, 主动提示下一步的操作目标。加强显示的直观性, 实时产生产品的真实感明暗图, 明暗模型可以剖切、旋转, 直接施加载荷和约束, 让系统自动产生有限元计算模型。提供产品的性能分析、运动协调、切削加工、机床装夹、机器人操

作等图形仿真。

(9) 采用标准化、开放性运行环境, 提高与其它系统的兼容和数据交换能力, 保护用户过去的老版本和异种系统的产品设计和软件二次开发上所作的成果。

综上所述, 三维实体建模是 CAD 技术应用的大势所趋, 深入研究新一代实体造型技术无疑具有重大的经济效益和社会效益。

2 实体造型技术的发展趋势

经过二十多年的探索, 实体造型技术已经更加实用和成熟。不妨把这一过程划分为两个阶段: 从 1973 年 Braid 提出用体素进行机械设计的思想[1], 到 1982、1983 年 Requicha 发表关于实体造型的两篇综述性文章[2, 3], 这十年是奠基和成长阶段。实体表面大多用平面近似表示, 数据结构采用 Baumgart 提出的翼边结构, 实体构造采用半空间表示、欧拉操作、CSG、B-rep、八叉树、扫成等方法。从 1983 年到 1992 年 Requicha 发表又一篇综述性文章[4], 这十年是应用和发展阶段。在国外, 实体造型系统在 CAD/CAM 领域已形成一定的产业规模。在理论研究上提出了实体造型的正则集理论, 近几年又扩展为非正则集理论, 用来描述非流形实体。一些拓扑学概念如流形、复形(complex)、单元复形(cell complex)被引入到几何造型中。已不仅仅限于用平面构造实体, 广泛引入了二次曲面、自由型曲面以及裁剪曲面。数据结构上相继出现了改进的翼边结构、对称结构、半边结构、混合边结构和放射边结构等。CSG 和 B-rep 已成为表示实体的两种主要形式。为表示非齐次物体, Rossignac 拓展了 CSG 表示, 提出了构造性非正则几何理论(Constructive Non-Regularized Geometry, 简称 CNRG), 并给出了相应的拓扑操作。特征造型的出现为实体模型向产品模型的转化铺平了道路, 基于特征的实体造型已成为研究热点。变量化设计的思想已渗透到几何建模中。从实体造型的发展脉络上可以看出: 这一技术与其它造型技术的联系越来越密切, 各种造型技术相互融合、协调发展已成为今后几何造型发展的大趋势。

几何模型向产品模型的转化; 激烈的市场竞争要求高质量、高速度地推出新产品; 产品设计中建立的全局信息模型要贯穿产品的整个生命周期, 这些都对实体造型提出了更高的要求。

3 我国实体造型技术的研究历程

1979 年冬英国 East Anglia 大学 Robin Forrest 教授应邀来北航讲学, 带来了剑桥大学 Ian Braid 等的有关实体造型的最新研究报告。根据这些资料, 马德昌首先用 Fortran 语言实现了多面体拼合的边界表示算法[5]。由于这是国内第一次尝试, 所以立即印发了源程序并在多次学术会议上作了详细介绍。1980 年初彭群生到 Forrest 教授名下攻读博士学位, 在国际上率先实现了 B-样条曲面的分割求交, 完成了雕塑实体的拼合运算[6]。但是将这些算法上的研究成果转化成实用的 CAD 系统, 还有漫长的道路要走。马德昌的课题小组尝试过引入代数二次曲面、 3×1 和 3×3 次贝齐埃曲面、有理贝齐埃曲面等, 向曲面实体造型技术迈进, 但是效果都不理想。所以在 1987 年的博士论文中仍将研究重点放在多面体模型上, 精化拼合算法, 提高程序的可靠性, 取得了较好的结果[7]。与此同时, 国内的研究、开发工作也在蓬勃开展, 采取了多种多样的技术路线。清华大学的 GEMS 系统主要参考美国 Rochester 大学 H B Voelcker 和 A A G Requicha 教授的

PADL 系统, 采用集合分类算法[8], 大连理工大学孙大新教授效仿东京大学木村文彦教授的 GEOMAP 系统在微机上开发了实体造型软件[10], 浙江大学机械系应道宁、吴中奇教授等引用日本 K Yamaguchi 的 Freedom-II 思想用单一的三角片实现多面体的拼合运算[11, 12], 华中理工大学胡瑞安教授密切跟踪日本北海道大学冲野教郎教授的 TIPS 系统, 尝试了半空间的罚函数求解法建模技术[13], 上海交通大学张申生教授在 EASY CAD 实体造型软件中采用单元分解的 CSG 结构, 不用边界表示法给出一个完整零件的显式拓扑描述, 而是用二叉树记录各个体素之间的装配关系, 并用面替换法局部修改各个体素经过拼合后的边界组成; 引入两个局部操作: 粘合和钻孔[14], 复旦大学刘鼎元教授在与上海内燃机研究所合作过程中将多面体模型的拼合运算过程转化成一个实体的边界平面剖切另一个参与拼合的实体, 在二维剖面环上实现三维拼合的集合分类[15], 以上这些例子反映了这个时期我国丰富多采的实体造型技术研究的一个侧面, 还有更多的论文没有一一列出, 归结起来, 我国这个时期的工作主要围绕多面体模型, 并且形成了实用的软件产品, 其中象浙江大学的 ZDTORUS[9]、清华大学的 GEMS[16]、中国船舶工业总公司应用软件开发中心何援军主持研制的 DPS 系统等都已将拼合运算作得比较可靠, 可以用于生产, TORUS 的原意是 Towards a Really Usable Solid Modeler, 这个目标确已达到。

随后, 从 90 年代起出现一批以 NURBS 曲面实体为研究对象的博士论文[17-21], 标志着我国学术界开始向这一新的险峰进军, 高曙明采用将 NURBS 曲面离散成小三角平面, 然后沿交线定向跟踪作出集合分类的算法, 袁力研究了曲面求交和裁剪, 孙国平改造了原来适用于多面体的翼边结构, 引入相贯线的三重表示: 空间曲线和 $u-v$ 、 $s-t$ 参数域曲线, 罗宏志将实体的布尔算子扩展到曲面操作上, 形成参数曲面的并、交、差算法, 陈景阳将他在北航 703 教研室所作的曲面求交算法带到美国里海大学, 广泛探讨了 NURBS 曲面的求交、裁剪、数控加工和有限元网格自动剖分技术, 高鹏飞将实体造型技术应用干导弹总体设计中的质量分布计算和空间布置干涉检查[22], 与前一时期相比, 这个阶段的工作类似于火力侦察, 已在小范围内试探了问题的虚实, 还没有来得及部署接力的梯队进行认真、持久的攻坚, 而这时国外已开始进入特征造型和产品建模新阶段, 于是国内很快将实体造型技术的研究转向这一新的领域, 企求将两者结合起来一并解决[23-29], 这样, 实体造型技术已经逐步超越了原来的几何造型工具的范畴, 向更广阔的产品建模和并行工程的目标迈进。

4 新时期的实体造型研究课题

结合国情, 实体造型技术目前还存在一定问题, 主要是:

(1) 应用范围有一定局限性

尽管三维实体造型在技术上先进, 但它的应用仍要受到企业资源条件、技术发展水平、产品特点等的制约, 从国内情况看, 当前许多工厂生产的产品大多是用手工方式设计的, 难以直接采用实体造型技术建立产品的三维几何模型, 另一个值得注意的问题是 CAD 技术的应用要求大量的资金投入, 其中包括购置设备, 培训人员, 维护系统等, 目前我国许多企业还难以承受这样的开支规模。

(2) 程序可靠性有待提高

用计算机处理图形本身就存在表示和计算的误差问题, 随着图形算法复杂化, 可靠性

就更难保证。作为实体造型技术核心的体素拼合方法,在引入裁剪曲面后面临新的考验。曲面求交算法的准确性,曲线曲面重合的判别,点/曲线、点/曲面分类方法的实现等等,都影响到最后的拼合结果。国内外一些学者在实体造型的可靠性方面做了许多工作,但多数集中在多面体模型上。而且已有人断言,可靠性问题在理论和实际应用中都是难以完全解决的。

(3) 实体造型与其它造型技术的结合

在实体造型的产生、发展和趋于成熟的过程中,其它造型技术如线框造型、曲面造型和特征造型也获得了长足的发展。每一种造型技术都有其长处和不足,线框造型简便实用,但不含面的信息,存在二义性问题;曲面造型可以构造复杂的几何形状但不提供曲面之间的相关信息;特征造型更接近工程应用,比实体具有更高的抽象层次,但特征求交和复杂特征的定义都有待完善。实体造型具有完整的几何和拓扑信息,可进行真实感显示,消隐处理,干涉检查,物性计算等。但从实际应用看,它也不是“万应灵丹”,必须与其它造型技术相结合,才能各取所长,相得益彰。这涉及到数据结构的简化,实体的多种构造与表示,实体与线框、曲面三者之间的相互转换,具体产品的设计特点等问题。

针对上述情况,我们认为应采取下列措施:

(1) 结合我国生产实际,做好基础性工作。面临国外 CAD/CAM 软件技术飞速发展的强大压力以及国内 CAD/CAM 应用的许多不利因素(资金少,大、中型企业的体制改革正在起步,人员短缺,软件保护不力等),必须走适合我国国情的技术发展道路。国家科委和各部委共同实施的 CAD 应用工程项目正在大力开展人员培训、软件开发、标准技术规范的制定贯彻等,这对 CAD 技术在我国的应用推广将起深远的影响和作用。

(2) 重视推广二维绘图和三维线框技术。一方面这些技术与工厂现有水平和能力较接近;另一方面与实体造型技术相比,这些技术相对更成熟和稳定。

(3) 将现有的实体造型技术与其它技术相结合,解决前者局限性和可靠性的问题。针对具体产品采用“分而治之,综合造型”的策略。即对产品作几何分解,根据每一部分的外形特点选择造型技术,然后再组合成整个产品的三维几何模型。

(4) 实体造型的研究要紧密结合生产实践,先进与实用并举,以实用为主。因为只有实用才能体现先进性和合理性。

我们感到,当前开展实体造型技术应该遵循以下技术路线:

(1) 与特征造型技术紧密结合。特征造型所以比实体造型更高一层,是因为它表达的产品模型兼含语义和形状两方面信息(30)。用户可以用他们熟悉的专用术语表示设计意图,借助计算机独有的数字成像功能直观地仿真设计效果,灵活修改设计方案,直至满意为止。

(2) 增强局部造型功能。在实体造型中,布尔运算不能生成新的面,而扫成法操作可以用简单算法局部生成新的形体。尤其是带有多个内环的平面图形,一组截面沿空间轨道的运动等,可以方便地直接生成复杂物体。这种造型方法还可以与特征语义相结合,例如在面上生成凸台可以将内环向外拉伸,生成凹槽向内拉伸等等。

(3) 采用非流形数据结构。在产品建模中仅有正则意义下的实体是远远不够的。中心线、基准线、加工面、定位面等游离的几何元素经常出现。在产品装配图中,一条边由多个面共享的情况也会发生。在产品设计的中间结果表示中也会遇到非流形情况,如不封闭的实体、不完整的边界、悬边或悬面等等。无论在概念设计阶段还是详细设计阶段,非流

形数据结构都是强有力的信息表示手段。

(4) 引入变量化造型思想。对于基本体素和工程上常用的特征,都存在若干描述它的形状和位置的参数,可以称这些参数是该体素或特征的模型变量,尤其对特征的定位和特征间关系的描述更应采用变量化方法,防止用户错误输入和操作,破坏原有的设计意图。变量化造型还可用于容差分析。

(5) 减少拼合运算。尽管拼合运算是实体造型的基础,但涉及的求交算法复杂,边界赋值耗费时间,不易回溯编辑。因此凡是能采用贴合(merging)、扫成、局部裁剪和相关性推理等技术就不用拼合运算。非用不可的地方,也要利用非流形数据结构提供的手段,记录中间结果,便于回溯。拼合运算要分阶段实施,便于用户查询有关信息,及时发现问题。

(6) 保持完整的设计信息。设计是一项创造性和重复性都非常突出的活动。因此要从数据结构设计,造型算法的设计与实现,几何信息存贮及拓扑信息处理等各方面保证设计数据的完整性,在这里数据结构设计对基本几何元素的计算、显示起重要作用。另外还应该考虑用户设计要求、计算机内存限制、响应速度等因素的影响。

(7) 代数曲面与参数曲面共存。在几何造型中两者各有优势与不足。前者便于使用分治(Divide-and-conquer)算法,便于进行点/面分类,在求等距面时是封闭的,不足处是没有更完善的交互设计方法和与生产制造的接口。参数曲面刚好与之相反,当参数曲面的次数增高后,消元使多项式幂次太高,不宜实现隐式化。因此不妨设想在系统中对于三次以下的曲面采用双重表示形式,而三次和三次以上的曲面都采用参数形式。二次曲面求交可以采用分类的几何求交方法(即圆柱面/圆柱面、圆柱面/球面等等),也可以采用符号计算方法,求得准确的形式解。三次曲面求交只能综合采用分割、跟踪迭代等方法,否则难以得到令人满意的结果。

参考文献

- [1] Braid I C. Designing with volumes. CAD Group, University of Cambridge. Feb. 1973
- [2] Requicha A A G, Voelcker H B. Solid modeling: a historical summary and contemporary assessment. IEEE CGA 1982, 2(3), 9-24
- [3] Requicha A A G, Voelcker H B. Solid modeling: current status and research directions. IEEE CGA 1983, 3(10), 25-37
- [4] Requicha A A G, Rossignac J R. Solid modeling and beyond. IEEE CGA 1992, 12(9), 31-44
- [5] 马德昌, 机械类零件的体素拼合造型, 北京航空学院硕士论文, 1981年6月。
- [6] Peng Qunsheng. Volume modeling for sculptured objects. PhD. Thesis University of East Anglia. Sept. 1983
- [7] 马德昌, 实用化立体造型系统的研制方案探讨, 北京航空学院博士论文, 1987年2月
- [8] 孙家广, 辜凯宁, 郭聿林, 唐泽圣. 三维几何造型系统—GEMS. 计算机学报 1990(4)
- [9] ZD-TORUS. 浙江大学机械产品CAD支撑系统功能介绍. 1991年

- [10] 孙大新, 实体造型系统DSM-1, 中国工程图学学会1988年学术年会论文集(上) 1988年5月
- [11] 应道宁, 陈火根, 周明伟, 胡增加. PLAN-1: 一个机械CAD/CAM一体化系统. 计算机学报, 1989(1)
- [12] 吴中奇, 陈向平等. 新颖的三维几何造型系统. 南昌: 全国第六届CAD/CG学术会议论文集, 中册, 1990年10月, 552-558
- [13] 段卫垠, 朱林, 周济. TIPS-1'83 B-Reps 数据结构. CADDM'88 论文集, 下册. 1988年10月
- [14] 张申生. 基于单元分解的实体构造几何技术 CDCSG —— 一种构造实体模型的新方法. 计算机辅助设计与图形学学报, 1990, 2(2)
- [15] 陈岚, 刘鼎元. 一个基于剖面图的实体布尔运算算法. 计算机辅助设计与图形学学报, 1992, 4(2)
- [16] 李新友. 提高实体布尔运算可靠性的研究与实现. 清华大学博士论文. 1989年10月.
- [17] 高曙明. 具有裁剪曲面功能的立体造型系统研究. 浙江大学博士论文. 1990年5月.
- [18] 袁力. 具有雕塑实体的实体造型系统研究. 北京航空航天大学博士论文. 1990年10月.
- [19] 孙国平. 注塑模计算机辅助设计系统研究. 上海交通大学博士论文. 1991年1月
- [20] 罗宏志. 集成几何造型系统的研究和实践. 华中理工大学博士论文. 1991年12月
- [21] 陈景阳. Hybrid geometric modeling -- synthesis of surface and solid modeling. PhD Thesis. Lehigh University. 1989
- [22] 高鹏飞. 集成化计算机辅助导弹总体设计系统的研究与实践. 北京航空航天大学博士论文. 1993年2月
- [23] 段卫垠. 特征造型的理论研究与实践. 华中理工大学博士论文. 1990年3月
- [24] 刘鹤坤. 基于特征的产品定义的研究与实践. 华中理工大学博士论文. 1992年3月
- [25] 向文. 参数化特征造型系统的研究. 华中理工大学博士论文. 1992年11月
- [26] 焦国方. 产品造型CAD环境的研究与开发. 中科院计算所博士论文. 1990年11月
- [27] 张应中. 机械零件计算机辅助几何造型及特征技术的研究. 大连理工大学博士论文. 1993年7月
- [28] 张文祖. 适应于智能制造环境的机械产品模型研究. 华中理工大学博士论文. 1993年8月
- [29] 葛建新. 新一代造型系统的研究与实践. 浙江大学博士论文. 1993年9月
- [30] 吴红明. 基于线框和曲面模型的特征造型技术研究. 北京航空航天大学博士论文. 1993年4月

一种适用于特征造型的参数化设计方法

高曙明 彭群生

浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室, 310027

摘要:本文提出一种三维参数化设计方法,该方法对三维几何约束在特征设计阶段采用高层表示,并基于特征表示的高层几何约束模型与约束传播实现尺寸驱动几何,从而能够有效地支持特征设计、初始设计。

关键词:参数化设计、约束传播、尺寸驱动、特征造型

一、引言

随着工业生产的不断发展,工业部门对 CAD 与 CAPP、CAM 的集成化及其本身智能化的要求愈益迫切,而以几何造型为核心的现有 CAD 系统已无法满足这些需求,因此近年来人们开始致力于研制新一代智能化、集成化的 CAD 系统,其核心技术则是参数化设计与特征造型。

参数化设计的研究工作开始于 70 年代末。到目前为止,人们已先后提出了变动几何^[1]、几何推理^[2]等多种方法,然而多数方法虽能较好地解决二维参数化设计问题,却难以直接推广应用于三维设计,原因在于二维设计与三维设计在基本设计单元、设计方式、几何模型等诸多方面都存在着本质的区别。举例来说,二维设计的基本设计单元是点、线等最基本的几何元素,而三维设计的基本设计单元则是基本体素或形状特征;二维设计可以借助图形交互技术方便地设计草图,三维设计却难以做到;二维几何模型简单,三维实体模型则复杂得多。应该指出,人们也提出了少量的三维参数化设计方法^[3],但尚属初步探索,且均以实体模型为基础,故难以适用于特征设计、初始设计。

特征造型研究自其从 80 年代中期开始以来,一直受到国内外的高度重视,发展较快。特征的概念及造型技术也已为许多有名的当代 CAD 软件系统所采用。然而正如 Dixon 教授所指出的^[4],特征造型要真正达到人们期望的目标,能够以其为核心实现 CAD 系统的智能化、集成化,尚需解决其自身的诸多难题,需要人们为此付出长久的努力。目前特征造型突出存在着的一些问题包括:难以设计复杂产品、难以进行初始设计、设计效率不高等。这些问题已严重阻碍了特征造型的实用化进程。我们认为,造成这些问题的根本原因之一就是缺乏有效的特征表示的几何约束模型及适用于特征造型的参数化设计方法。

应当指出,围绕着特征造型中的几何约束模型及参数化设计方法这一重要且基本的问题,国内外已开展了一系列的研究工作^[5-10]。Gossard 教授引入相对位置操作显式表示平面之间的尺寸约束,并由相对位置操作与混合 CSG/B-reps 表示一起组成几何

• 本文的研究工作受到国家自然科学基金与博士点基金资助。

约束模型,最后通过布尔运算实现尺寸驱动^[5]。Dixon 教授则采用结合面表示形状特征之间的定位约束关系,通过在其父特征结合面上建立子特征的相对坐标系支持变动设计^[6]。国内在该方面的代表性工作有,吴红明^[8]等提出了由虚面表示法与贴合面结构共同组成的几何约束模型;向文^[9]等研究了通过自动建立整体约束方程组,采用快速约束方程求解算法实现参数化特征造型的方法;罗毅^[10]提出了一种形状特征的非流形体表示模型,并将结合面扩展到包含结合线、结合点的更一般情形。然而,国内外现有的研究工作明显地存在着以下几个问题:第一,现有特征表示的几何约束模型对 B-reps、CSG 等实体模型依赖性很强,因此难以有效地支持初始设计。第二,现有特征造型中的参数化设计方法所能处理的约束种类十分有限,并且无法建立与处理复杂、多重约束,因此难以对复杂产品进行参数化设计。第三,现有方法的效率不高,无法满足实时交互设计的需要。效率不高的原因主要来自两个方面,其一是现有参数化设计方法多数基于底层、复杂的几何模型,故每次变动设计需要重新推导底层的几何模型;其二是现有方法未能完全将因参数变动引起的模型修正限制在确实发生变动的部分。

本文下面提出一种三维参数化设计方法,该方法通过对三维几何约束在特征初始设计阶段采用高层表示,基于特征表示的高层几何约束模型与约束传播实现尺寸驱动几何,从而能够快速有效地支持特征设计、初始设计。

二、三维几何约束的高层表示

几何约束是参数化模型的最关键部分,其表示得是否有效从一定意义上讲直接决定着相应参数化设计方法的功能强弱与效率高低。在具体给出三维几何约束的表示之前,我们首先对几何约束在参数化特征造型中所起的作用进行简要分析。

我们认为在三维设计中三维几何约束主要被设计人员用于起两个方面的作用:一方面用于简洁地刻划出产品的几何形状,在需要时通过它推导出产品精确的几何模型,我们称这个意义上的几何约束为形状约束;另一方面基于其表示公差,为测量、加工、装配等工艺过程服务,我们称其为工艺约束。显然,上述两方面对几何约束在表示上的要求差别很大。具体来说,作为工艺约束,几何约束不得不通过点、线、面等最底层的几何元素表示,然而这样的表示却并不能有效地支持初始形状设计与变动设计,也难以在初始设计阶段建立,因此很难满足作为形状约束的需求。基于上述分析,也考虑到在参数化特征造型中几何约束作为形状约束在前,作为工艺约束在后的特点,我们提出对特征模型中的几何约束采取层次式表示,即作为形状约束采用高层表示,作为工艺约束采用低层表示,且低层表示可由高层表示在需要时直接转换出来。鉴于本文仅讨论特征造型中的参数化设计问题,因此下面只给出三维几何约束的高层表示,具体又分为定形约束表示与定位约束表示。

1. 定形约束表示

所谓定形约束是指专用于刻划形状特征(或基本体素)本身几何形状的约束。鉴于形状特征的几何模型可由定形约束参数(即本质几何参数)与相应的生成算法生成,而

不必预先知道定形约束具体与哪些几何元素直接相关,因此,本文对初始设计阶段的定形约束采用隐含表示,即不对其作专门表示,而就将形状特征隐式表示中具有一定语义的形状参数作为对它的表示。

显然,上述表示是对定形约束的最简单表示,可以大大减轻设计人员在初始设计阶段的输入负担。其不足之处则在于不能支持从变动的定形参数直接查找出受其影响的几何元素,不过这个问题通过有效算法并不难解决,本文后面将给出解决方法。

2. 定位约束表示

定位约束是形状特征之间相对位置的约束,用以根据位置已定的形状特征确定出待定形状特征在世界坐标系中的位置,即待定形状特征的局部坐标系。因此,我们认为表示定位约束的关键在于应使其能够有效地支持对待定形状特征局部坐标系的计算。基于如此分析,我们提出采用定位方式整体表示定位约束的方法。

定位方式是指设计人员根据位置已定的形状特征通过几何约束将待定形状特征的位置完全固定的方法。一种定位方式实质就是一类特定的几何约束集。定位方式的概念就是要将参与一个形状特征定位的所有几何约束作为一个整体进行表示与处理,从而有效地解决单个几何约束难以与形状特征的局部坐标系建立直接联系,难以通过现有几何约束表示求解局部坐标系等问题。

从理论上讲,设计中对形状特征的定位方式可以多种多样,然而实际上意义明确且为设计人员惯于使用的定位方式却很有限。表1列出了我们认为设计人员在设计零件时常用的约束方式,并对其作了分类。其中 $OXYZ$ 为位置已定的形状特征中某一面的特定坐标系, $O^*X^*Y^*Z^*$ 为位置待定形状特征的局部坐标系, $O''X''Y''Z''$ 指位置待定形状特征中某一面的特定坐标系。对于少量特别、专用的定位方式则可在需要时再增加,增加过程并不困难。

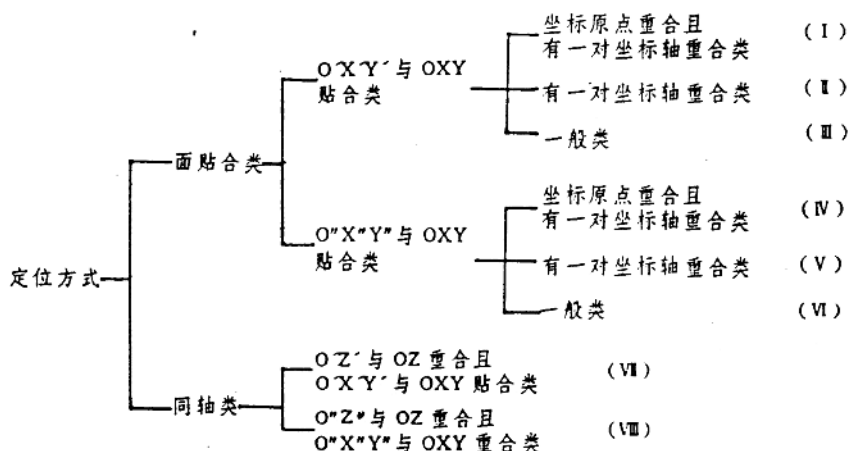


表1 常用定位方式分类表

基于上述定位方式的概念,鉴于定位方式的实际种类并不多,我们采用直接表示定位方式,而不单独表示每个几何约束的方法,即将参于一形状特征定位的所有几何约束以定位方式的形式加以整体表示。定位方式具体采用类结构表示,类结构的主要内容如下:

1). 属性部分,包括:

- 相关坐标系:指与定位方式相关的所有坐标系。一般有两个,一个是已定的辅助定位坐标系,一个为待定局部坐标系。对于特殊情况,如Ⅳ类,则可能有多个。
- 约束参数:指已定的辅助定位坐标系与待定坐标系间相对位置约束参数,用以建立从后者到前者的相对坐标变换。以Ⅲ类为例,其约束参数为 tx 、 ty 、 θ 、 $sign$, 其中 tx 、 ty 为 O' 在 OXY 中的坐标, θ 是 $O'X'$ 轴与 OX 轴之间的夹角, $sign$ 则为 $O'Z'$ 与 OZ 同向与反向的标识符。

2). 方法部分,主要有:

- 待定坐标系计算函数:用以根据约束参数计算出从待定局部坐标系到一已定辅助定位坐标系的相对坐标变换。

通过对定位约束以整体的定位方式表示,设计人员就可以通过选择一种定位方式将一组相关的几何约束简单地一次性施加到形状特征上,从而既减轻了输入负担又可以表示复杂、多重约束。同时,形状特征也能够得到快速定位。

三、特征表示的几何约束模型

与表示三维约束的原则相同,我们对特征造型中的几何约束模型也采用多层次表示模式。同样这里仅给出用于支持初始形状设计、快速变动设计的高层几何约束模型,具体模型如图1所示。

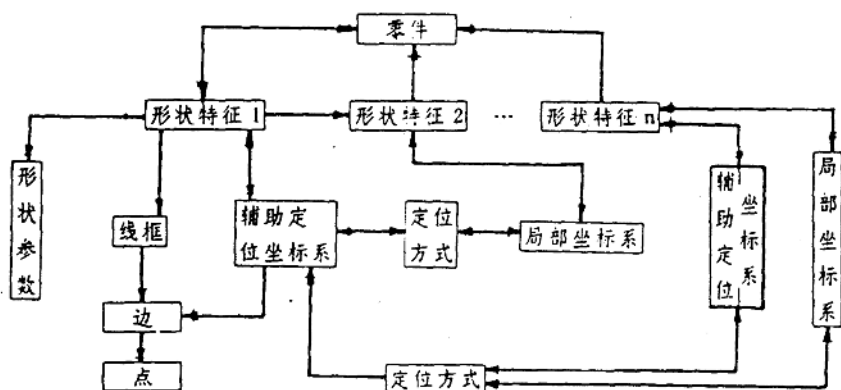


图1 特征表示的高层几何约束模型