

CAD/CAM 技术

唐荣锡 编著

(京)新登字 166 号

内 容 简 介

本书介绍计算机辅助设计、制造通用基础软件的基本实现技术及其近期发展概况,内容包括 CAD/CAM 技术的发展、参数化绘图、三维线框造型、曲面造型、实体造型、特征造型、数控加工编程、有限元网格自动剖分、几何特性计算、机器人的几何造型与运动模拟以及集成系统的数据管理等十一章,反映了有关领域的国内外主要研究成果以及北京航空航天大学飞行器制造教研室近十多年来在研制 CAD/CAM 应用软件中的技术积累,可供机械和工程设计专业的研究生以及 CAD 应用系统的软件开发和使用人员参考。

- 书 名: CAD/CAM 技 术
- 编 著 者: 唐 荣 锡
- 责任编辑: 王 小 青
- 出 版 者: 北京航空航天大学出版社
(北京海淀区学院路 37 号,邮编:100083)
- 印 刷 者: 朝阳科普印刷厂
- 发 行 者: 新华书店总店科技发行所
- 经 售 者: 北京航空航天大学出版社发行科
全国各地新华书店
- 开 本: 787×1092 1/16
- 印 张: 16.75
- 字 数: 428.8 千字
- 印 数: 8000 册
- 版 次: 1994 年 9 月第 1 版
- 印 次: 1994 年 9 月第 1 次印刷
- 书 号: ISBN 7-81012-498-6/TP·121
- 定 价: 16 元

前 言

当前我国正在大力推广 CAD/CAM 技术,它是提高产品质量,加速产品更新换代,增强企业应变和国际竞争能力的必备手段。CAD/CAM 技术的发展极快,文献很分散。本书较系统、深入地介绍它的通用基础技术,主要围绕机械产品的几何模型建立方法及其向特性建模的演变,同时简要说明几何模型的数控加工、网格剖分、几何特性计算以及数据管理等问题。这些内容正是现有 CAD/CAM 商品软件所覆盖的基本范围。本书目的是使读者更好掌握现有软件的实现技术,也为研究生提供适用的教材。

本书的主要特点是:

1. 取材较新,力求综合反映当前国内外正在进行的有关研究开发工作的基本动向。
2. 层次稍高,尽量避免重复现有 CAD/CAM 和计算机图形学书籍的内容,力求在前者的基础上适当提高一步。
3. 兼顾教学和科研两方面需要,注意压缩篇幅,着重阐明基本概念和算法,同时注明原作出处,精选参考文献,供读者进一步深入。
4. 有实践基础,全书主要内容都作过算法研究和软件实现,虽然涉足深浅不同,但对问题的实质都有一定的亲身体验。

由于 CAD/CAM 技术涉及的范围太广,工程实践性强;我国自主知识产权的商品化、集成化软件正在加紧开发中,有待进一步积累实践经验;国际市场的激烈竞争导致有关 CAD/CAM 核心技术的学术论文越来越不公开发表;再加我们的能力和接触面有限,本书距离预期要求还很远,恳请国内同行不吝赐教,以便作出修正和补充。

以非均匀有理 B 样条为代表的参数曲面算法在 CAD/CAM 技术中占有特殊的重要地位,但由于涉及的数学推导太多,需要参考专门著作,书中无法充分展开。国内也正在积极准备编写新的专著。

本书是北京航空航天大学飞行器制造教研室的集体成果,反映了全体教师和研究生十多年来的科研工作积累。具体参与编写的人员有:唐荣锡(第一章),冯秀娟(第二章),黄永红(第三章),宁涛、杨东(第四章),马德昌、刘晓强(第五章),吴红明(第六章),冉瑞江(第七章),王云渤、刘剑飞、周建亮(第八至十章),冯宗律、郑国磊(第十一章),由唐荣锡统一执笔整理。其中第八至十章基本由王云渤定稿。朱心雄和王亚平、范玉青对全书的体系和取材作了全面的指导。中国科学院计算技术研究所 CAD 开放研究实验室刘慎权研究员审阅了全书,提出了宝贵意见,在此一并致谢。

本书可供机械工程和工程设计 CAD 应用软件的开发和使用人员参考,也可作为研究生教材。

编 著 者
一九九四年三月

目 录

第一章 CAD/CAM 技术的发展	(1)
1.1 CAD/CAM 技术的历史地位	(1)
1.2 CAD/CAM 软件产业的特点	(2)
1.3 CAD/CAM 系统的构成	(4)
1.4 X 窗口	(8)
1.5 面向对象程序设计.....	(11)
1.6 产品定义数据的表达与交换标准.....	(15)
1.7 CAD 系统的计算机硬件环境	(24)
1.8 CAD 技术的当前发展重点	(25)
参考文献	(26)
第二章 参数化绘图	(27)
2.1 工程图的扫描输入和识别.....	(27)
2.2 参数化和变量化绘图.....	(31)
2.2.1 非线性方程组整体求解.....	(31)
2.2.2 作图规则匹配.....	(34)
2.2.3 几何作图局部求解.....	(35)
2.2.4 辅助线作图法.....	(37)
2.2.5 交互生成参数绘图命令.....	(39)
2.3 标准件库建库方法.....	(41)
2.3.1 事物特性表.....	(42)
2.3.2 标准件图形特性文件.....	(43)
2.3.3 图形的构成.....	(45)
2.3.4 显示方式.....	(46)
2.4 装配图.....	(47)
2.5 工程图管理系统.....	(49)
附录 飞龙 81 绘图语言.....	(54)
参考文献	(55)
第三章 三维线框造型	(58)
3.1 三维形体的几何描述.....	(58)

3.2	工作平面与工作坐标系	(59)
3.3	几何元素定义	(61)
3.4	线框造型模块的基本功能	(63)
3.4.1	三维点的定义	(63)
3.4.2	直线段的定义	(63)
3.4.3	圆和圆弧段定义	(64)
3.4.4	线框编辑和查询	(64)
3.4.5	三维元素的捡取	(65)
3.4.6	线框模型的分层管理	(65)
3.4.7	线簇操作	(65)
3.5	线框模型向曲面和实体模型的自动转换	(66)
3.6	线框模型的构造实例	(70)
	参考文献	(74)
第四章	曲面造型	(76)
4.1	曲面造型概况	(76)
4.2	曲面构造方法	(76)
4.2.1	线性拉伸面	(77)
4.2.2	直纹面	(77)
4.2.3	旋转面	(78)
4.2.4	扫成面	(79)
4.2.5	DUCT 曲面	(81)
4.2.6	Geomap 曲面	(82)
4.2.7	应用实例	(84)
4.3	曲面光顺	(86)
4.4	曲面求交	(87)
4.5	曲面裁剪	(93)
4.6	等距曲面	(94)
4.7	圆角过渡面	(95)
	参考文献	(96)
第五章	实体造型	(99)
5.1	实体造型技术的发展概况	(99)
5.1.1	体素拼合和边界表示	(99)
5.1.2	半空间法	(104)
5.1.3	CSG 树	(106)
5.1.4	光线投射法	(111)
5.1.5	欧拉操作	(113)
5.1.6	八叉树表示法	(121)

5.1.7 非流形可修改实体	(124)
5.1.8 参数曲面实体	(133)
5.1.9 小结	(133)
5.2 多面体模型的拼合算法	(135)
5.2.1 平面多边形的拼合运算	(135)
5.2.2 三维物体拼合中的降维处理	(137)
5.2.3 多面体模型的数据结构和拼合准备	(137)
5.2.4 新边的左右邻面选取	(139)
5.2.5 新物体的生成	(140)
5.3 提高拼合运算可靠性的措施	(142)
5.4 NURBS 曲面实体的处理特点	(144)
参考文献	(145)
第六章 特征造型	(149)
6.1 特征技术的发展概况	(149)
6.1.1 特征造型的特点和作用	(149)
6.1.2 特征技术的历史概况	(151)
6.1.3 特征的定义准则	(151)
6.1.4 特征表示的几何模型	(155)
6.1.5 特征识别	(158)
6.2 轴类和箱体类零件的特征造型	(159)
6.2.1 零件机械加工工艺过程的设计原理	(159)
6.2.2 特征造型的技术实施	(161)
6.2.3 特征造型系统与 CAPP 的接口	(164)
参考文献	(166)
第七章 数控加工编程	(169)
7.1 数控加工的应用	(169)
7.2 数控加工编程系统	(174)
7.3 平面内槽加工	(178)
7.4 参数曲面加工的刀位计算	(182)
7.5 曲面离散和刀位干涉检查	(186)
7.6 车削加工编程	(188)
7.7 铣削加工程序的仿真校验	(189)
参考文献	(190)
第八章 有限元网格自动剖分	(192)
8.1 有限元法及其应用	(192)
8.2 有限单元类型	(193)

8.3	有限元网格的剖分要求	(195)
8.4	网格生成方法的分类	(195)
8.5	结点连元法	(196)
8.5.1	二维网格结点的生成和连接	(197)
8.5.2	三维网格生成	(202)
8.6	网格模板法	(204)
8.7	拓扑分解法	(208)
8.8	几何分解法	(210)
	参考文献	(214)
第九章	几何特性计算	(216)
9.1	基本解析表达式	(216)
9.2	平面区域的几何特性计算	(218)
9.3	三维物体的递归分割	(219)
9.4	表面积分算法	(221)
9.5	NURBS 曲面的自适应离散	(222)
	参考文献	(223)
第十章	机器人的几何造型与运动模拟	(224)
10.1	机器人的几何造型	(224)
10.2	齐次坐标变换的基本公式	(225)
10.3	机器人的运动求解	(228)
10.3.1	机器人手部位置和方向的描述	(228)
10.3.2	连杆间相对位置的描述	(229)
10.3.3	多关节机器人的运动求解公式	(230)
10.3.4	多关节机器人的运动求解举例	(230)
10.4	人体的几何模型和运动模拟	(234)
	参考文献	(235)
第十一章	集成系统的数据管理	(236)
11.1	信息技术的发展	(236)
11.2	CAD/CAM 集成系统的统一数据模式和存储管理	(237)
11.3	CIM 环境下的信息集成	(245)
11.4	数据模型	(249)
11.5	面向对象数据管理	(251)
11.6	飞机型架设计的数据流	(256)
	参考文献	(260)

第一章 CAD/CAM 技术的发展

1.1 CAD/CAM 技术的历史地位

1989 年美国评出近 25 年间当代十项最杰出的工程技术成就,其中第 4 项是 CAD/CAM。1991 年 3 月 20 日,海湾战争结束后的第三个星期美国政府发表了跨世纪的国家关键技术发展战略,列举了 6 大技术领域中的 22 项关键项目,认为这些项目对于美国的长期国家安全和经济繁荣至关重要^[1]。而 CAD/CAM 技术与其中的两大领域 11 个项目紧密相关,这就是制造与信息、通信。制造技术为工业界生产一系列创新的、成本上有竞争能力和高质量的产品投入市场打下基础。而信息和通信技术则以惊人的速度不断发展,改变着社会的通信、教育和制造方法。制造技术的关键项目有柔性计算机集成制造、智能加工设备、微米级和毫米级制造、系统管理技术;信息和通信技术包括软件、微电子学和光电子学、高性能计算和联网、高清晰度成像显示、传感器和信号处理、数据存贮器和外围设备、计算机仿真和建模。

CAD/CAM 技术为什么这样重要?因为它推动了几乎一切领域的设计革命,CAD 技术的发展和水平已成为衡量一个国家科技现代化和工业现代化水平的重要标志之一。CAD/CAM 技术从根本上改变了过去的手工绘图、发图、凭图纸组织整个生产过程的技术管理方式,将它变为在图形工作站上交互设计、用数据文件发送产品定义、在统一的数字化产品模型下进行产品的设计打样、分析计算、工艺计划、工艺装备设计、数控加工、质量控制、编印产品维护手册、组织备件订货供应等等。所谓建立一个产品的 CAD 系统,首先应该理解为建立一种新的设计和生产技术管理体制。有了这样的新体制,就可以方便地:

1. 组织平行作业。产品的各个部件设计组、系统组、专业分析组、试验组、生产准备组都可以及时从屏幕上看到产品的总体布局,及早进行各种专业协调。

2. 在产品阶段用三维几何模型模拟零件、部件、设备的装配和安装,及早发现结构布局 and 系统安装的空间干涉。

3. 组织迅速有效的发图更改。德国 MBB 飞机公司与英国、意大利合作生产“狂风”(Tornado) 战斗机,1983 年在型号管理数据库中存储了 7500 项用户提出的各种设计更改要求,18000 个工厂内部的更改单,8000 个三国协作的各种更改通知,95000 个图纸更改单,16000 个生产更改单。日本从波音飞机公司转包生产 777 客机,在名古屋建立数据中心,与波音的西雅图总部联网,将 777 的图纸和生产要求转送富士、川崎、三菱三家公司。

4. 进行产品的性能仿真。核武器的物理设计要对比上千种模型。一次核反应在微秒级的时间内完成,温度达到几千万度,压力超过几千万大气压,只有依靠计算机数值模拟,才能从上千种设计方案中优选出一种进行物理试验。导弹设计的发射仿真同样可以大大减少实地打靶数量。

5. 提前进行产品的外观造型设计。这点对轻工业产品尤其重要,及早让订货单位从屏幕上评审产品的色彩、装璜和包装。

9510011

CAD 的设计对象有两大类,一类是工程设计,国外简称 AEC(Architecture, Engineering, Construction);另一类是产品设计,又分为机械产品,电气、电子产品和轻工、纺织产品。近年来我国每年的基本建设投资都在 5 千亿元以上。采用 CAD 技术提高设计质量,缩短工程周期可以节约建设投资 2%~5%。全国有 8000 个工程设计单位,其中甲级设计院 500 个,乙级设计院 3000 个。全国还有 100 万个中小型机械工厂。所有这些单位迟早都要采用 CAD 技术。由此可见,我国有最广阔的 CAD 市场。

1.2 CAD/CAM 软件产业的特点

CAD 属于高技术产业,它的特点是高投入、高效益、高风险。说得更简单些,它要造成垄断优势,使别人可望而不可及,高不可攀。我国 863 高技术计划中提出一个十分形象的口号,就是要“顶天立地”。“顶天”是要跟踪国外技术发展的前沿,遵循各种国际规范,在国际和国内形成独特的优势,从学术思想到产品性能出人头地,得到国际公认;“立地”是要立足国内,结合国情,面向国内经济建设的实际需要,在国内生根开花,在近期发挥效益。CAD/CAM 软件是国内急需的设计现代化和工厂技术改造的重要手段,它的开发更要贯彻远近结合的原则。在我们看来,近期的应用考核尤其重要。一个需要量大、适应面广的基础应用软件如果不能在当前生产中赢得用户的承认,就谈不上今后长远的发展。因此,首先要“立地”,才能“顶天”。

美国有世界第一的计算机软件产业,根本原因在于它有高度发达的市场经济,由此孕育出高效的新产品开发、技术转让和商品化包装、销售、服务的成套运行机制。个别 CAD 公司在剧烈的市场竞争中升沉起伏,相互兼并,但是人才和技术始终在发展壮大,通过各种形式的转移被集中到更有活力的公司中,形成更完美实用的新一代软件。我国要创建 CAD 软件产业还有艰苦漫长的路要走,因此更要认真借鉴国外成功和失败的经验教训。

我们认为应该注意以下几点:

1. 全盘吸收已有的软件开发成果。国外有明确的一条经验,如果软件合用,买别人已有成果一定比自己开发合算。美国洛克希德飞机公司在 IBM 主机上开发的 CADAM 系统,Pat Hanratty 在小型机上开发的 AD2000 CAD/CAM 系统,英国 Shape Data 公司研制的 Romulus 实体造型系统等在 60 年代末和 70 年代都卖源程序。法国达索飞机公司的 CATIA 系统正是在 CADAM 软件的框架上迅速成长起来的,青出于蓝而胜于蓝,最后合并了 CADAM。AD2000 的成果被移植到很多有名的 CAD 系统中,象 Computer Vision 公司的 CADDs, CDC 公司的 ICEM,麦道公司的 Unigraphics,Calma 公司的 DDM,以及 Auto-trol Series 7000, Gerber, Graftek 等,促进了这些系统的快速发展。AD2000 本身也在更新,成为 Anvil 5000 和 Omni Solid。以后,随着竞争的加剧,大公司往往连人带技术整个合并一家或几家公司,或者几家公司联合,相互拥有对方股票。不管具体方式如何,这种软件和人才集中转移的作法有助于加快软件成果的积累和提高,对于发展一个国家的软件产业是十分有利的。

2. 把握时机不断创新。计算机技术的发展日新月异。美国的微机及工作站的价格/性能比,1991 年比十年前下降为 1/300 至 1/400。如果加入通货膨胀因素后,实际价格/性能比只有原来的 1/1000。CAD/CAM 软件的开发周期长,必须提前规划好发展目标才有可能及时跟上硬件发展的速度以及用户需求的相应变化。在这里,因循守旧,决策错误都会造成失败。CAD Report 1990, 10(10)指出:“只有少数几个在十年前处于领先地位的 CAD/CAM 公司妥

善处理了这些变化。在 1980 年处于领先地位的 10 家公司中有 7 家结局不好”。“许多创造性的思想来自小公司,象 ICAD, Parametric Technology, Ashlar, Optigraphics, Valisys 和 Combustion Engineering”。其实这是十分自然的,市场经济正是依靠这种优胜劣败,推陈出新的竞争机制推动技术飞速前进。公司越大,软件规模越大,更新整个软件体系的决心就越难下。新的软件构思必然是从小公司首先诞生的,但是小公司的实力小,必须采取灵活的策略与大公司结盟才能生存和发展。从高技术产业的全局看,个别公司的兴衰和技术产品的持续更新都是历史的必然。

3. 发挥优势独树一帜。在强手如林的国际市场竞争中要想争得一席之地,产品必须要有自己的特色,要在应用领域上或在处理水平上独树一帜。例如 SDRC 公司创建于 1967 年,一开始是咨询公司。正如公司名字 Structural Dynamics Research Corporation 所反映,它的业务范围侧重于结构动力分析。它在 1970 年推出的第一个产品是模态分析。目前它的软件产品仍是侧重工程分析和产品建模。1993 年 3 月发布的新版 Master Series 才开始转向全面的 CAE/CAD/CAM 集成系统,用自己开发的数控加工模块逐步取代原来英国 CAD 中心的 GNC 软件。法国达索飞机公司研制 CATIA 时,从自己的飞机设计需要出发,首先解决三维吹风模型的造型和加工,以后又扩展到实体造型和运动机构,用它模拟机舱设备布置和起落架的收放动作。1981 年它的第一个版本公开发售,版本是以三维曲面的设计和加工上的优势与 CADAM 系统的二维绘图功能互为补充的。到了 1984 年,它自觉羽毛丰满,推出了 CATIA 二维绘图模块,走上了与 CADAM 公开竞争的道路。麦道飞机公司在 70 年代设计 F15 战斗机时使用自己在 IBM 主机上研制的 CADD 系统。为了广大生产部门的工装设计和数控加工编程需要,1975 年买下了从事 APT 语言开发的 United Computing Corporation,在 AD2000 的基础上不断移植 CADD 的软件成果,形成了 Unigraphics 产品。因此 UG 的第一长处是复杂型面的设计和加工。以上几个软件都是从某一领域起步,不断扩充功能,最后成为功能齐全的集成化大系统。也有公司坚守某一领域,精益求精地不断完善产品,在产品性能上始终保持领先。例如英国的 Romulus 实体造型软件,1981 年并入美国 Evans & Sutherland 公司后产生新版 Parasolid,1989 年又发展出 ACIS。ACIS 是三位核心人员名(Alan Grayer, Charles Lang, Ian Braid)和 solid 的字首。具体的开发公司的名称和从属关系几经变化,实体造型软件的源程序和版权不断出售,但是核心班子始终未散,所以软件仍有旺盛的生命力。第三代的 ACIS 用 C++ 编程,采用面向对象方法,并且与非均匀有理 B 样条 NURBS 曲面系统配套,作为三维几何建模的基础平台供其他厂商开发应用系统用。这也是一种成功的经营策略。

4. 注意技术积累。软件产品的基础技术需要长时间的探索、试验、改进,才能逐渐成熟起来。回顾当代 CAD/CAM 系统最流行的基础技术和开发工具,它们的开始年代都很早。如 UNIX 操作系统创始于 1969 年,C 语言 1970 年,NURBS 1972 年,实体造型的边界表示和布尔运算 1972 年,变量化设计 1976 年,特征造型 1978 年。对于参数曲面的研究,从 60 年代中期算起,至少已发表了上千篇论文,但是至今还有大量问题有待深入,很多技术诀窍还是掌握在各家软件公司的手里。如果我们不能在理论上做出新的突破,开发高水平的软件只能是一句空话。

5. 形成巩固的技术和经营核心。国外凡是自己创业的 CAD/CAM 软件公司都是从 3~5 人起家的,象 CADAM、CATIA、AutoCAD、Pro/Engineer 都是如此。一个创新的软件,整个系统结构往往只能由 1~2 人构思和抓总实现。只有等软件初具规模,方案趋于成熟并且显示

出生命力后,才能进一步扩大队伍,组织更细的分工,将软件原型变成软件产品。归根结底,高技术产业所赖以生存和发展的第一要素是核心班子的素质。创业人要有远见,有出众的决策能力,善于团结和形成精干的技术开发核心和经营队伍,在短期内将成熟的技术转化为高新技术产品,一举占领市场。

1.3 CAD/CAM 系统的构成

CAD/CAM 技术的应用牵涉三个层次的工作,即

1. 应用软件 它在不同的专业领域里有不同的内容,象飞机设计包括了总体方案、重量计算、空气动力计算、载荷分析、结构分析、应力计算、动力颤振分析、疲劳断裂计算、起落架设计、飞行控制、航空电子、电气系统、液压系统、机构设计、可靠性设计、弹射座椅、火力控制、隐身设计等。工程设计包含的专业更广。在激烈的市场竞争中,各家公司都力求保住技术优势,决不肯轻易出售自己的 CAD 专业设计系统。这类软件必须由各行业、各企业单位自己开发。

2. 通用支撑软件 这就是目前市场上供应的各种商品化 CAD/CAM 系统。我国从国外引进的,如 ComputerVision, Intergraph, CATIA, SDRC/I-DEAS, Unigraphics I, Euclid, Applicon, Pro/Engineer, DUCT, Medusa, CDC/ICEM, CADAM, Calma, Auto-trol, Gerber 等等,都属于这一类型。对于机械产品,它的内容一般包含:二维绘图,三维线框、曲面、实体造型,真实感显示,特征设计,有限元前后置处理,运动机构造型,几何特性计算,数控加工和测量编程,工艺过程设计,装配设计,钣金件展开和排样,加工尺寸精度控制,过程仿真和干涉检查,工程数据管理和技术文件签发系统等。这些内容也就是本书所要讨论的范围。设计中的分析计算工作,象有限元分析、机构分析、模态分析等,当用计算机完成时往往称作计算机辅助工程 CAE。

3. 硬件和系统软件 这方面越来越趋于开放和标准化,象工作站的 RISC(缩减指令系统计算机)体系结构,UNIX 操作系统,GKS 和 PHIGS 图形软件,X Window 和 Windows/NT 窗口系统,Motif 图形界面开发工具,TCP/IP 网络协议等,都已成为当前 CAD/CAM 系统的通用开发平台。在这类环境下开发的软件容易移植,可以运行于各种流行的机型上;用户界面统一,便于使用人员掌握和适应;开放性好,容易与其他软件衔接和进行二次开发。当然,人们要达到这样的统一认识并不容易,是经过了艰苦的探索和实践才趋于一致的。以下是过去十年间为了寻求一个通用的 CAD/CAM 开发平台所经历过的几个实例。

第一个例子是美国波音飞机公司 1980~1985 年实施的 TIGER(The Interactive Graphics Engineering Resource)计划。这是公司企图摆脱 CAD/CAM 系统配置太乱,数据交换困难而采取的断然措施。TIGER 的基本构思如图 1.1 所示。

TIGER 的主导思想是增强应用软件的生命力,使它能在当时最典型的几种计算机型号上运行,适应相应的几种操作系统。软件开发按照系统工程的方法组织,建立成套软件工具,以便提高编程效率,降低成本,方便软件的移植和维护。TIGER 计划共花费了 3000 万美元,投入了 250 人年,最终发现工作量太大,难以完成,只有中途下马。1986 年波音公司选中了法国达索公司的 CATIA 软件,逐渐用它替代现有的各种 CAD/CAM 系统。从 1990 年起设计 777 客机的机体结构时完全用 CATIA 建立机体的三维几何模型。

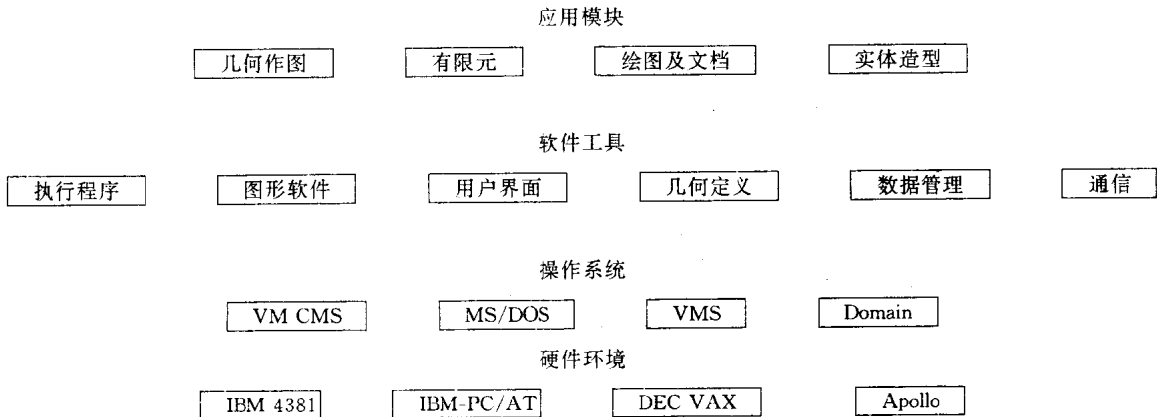


图 1.1 美国波音公司的 TIGER 计划(1980 年~1985 年)

第二个例子是我国航空工业部与德国 MBB 公司军用机分部从 1984 年起开始执行的 CADEMÁS 计划^[2]。CADMEAS(Computer Aided Development, Manufacturing and Support)是计算机辅助工程开发、制造和支持系统的缩写,它的目的在于通过主数据库和数据总线将生产中已经使用的 6 个子系统集成在一起,并且创造一个良好的足以适应 90 年代 CAD/CAM 软件发展需要的开发环境。有待集成的 6 个子系统是:

1. 计算机辅助设计 CAD 包括二维绘图、曲面造型、实体造型等新开发的功能和已有的 CADAM 和 CATIA 等商品软件。
2. 计算机辅助工程分析 CAE 对于飞机设计主要涉及空气动力、结构强度、温度场、颤振、总体参数优化等程序,其中既有中、德各方自行开发的软件成果,也有现成的 Supertab, Nastran 等商品软件。
3. 计算机辅助制造 CAM 包括自行开发的 2½ 坐标数控加工编程系统、基于 APT 的曲面加工系统、多坐标编程系统等。
4. 计算机辅助型号管理 CAPM 这是为了统一控制产品的各种设计更改和生产更改,使得飞机设计图纸和生产文件的更改严格遵守统一的审批、发放、归档制度,杜绝一切差错。
5. 计算机辅助文档服务 CADS 供编辑出版产品的技术说明、使用手册、维护手册、备件目录以及企业内部的刊物用。软件工具有图像扫描输入的数值化处理和数据压缩、图文编辑、激光排版系统等。
6. 计算机辅助供应 CAS 包括生成全机的材料清单,组织原材料、零部件、成件的订货、跟踪和入库,向领导部门提供各种统计分析报表。

CADEMAS 采用总线系统结构,如图 1.2 所示,通过总线控制产品数据的存取和实现外系统的数据交换。它的系统软件使用 UNIX 操作系统环境,用 C 语言编写,而工程应用程序用 FORTRAN77 编写。凡是应用系统都要用到的共性功能,象交互操作、图形显示、数据结构生成和管理等,统一集中到系统核心程序包中。这样可使应用软件与具体的计算机系统相隔离。当计算机环境改变时只需少量修改系统核心中与操作系统、图形显示等有关的部分程序。CADEMAS 还研制了很多软件工具,用来统一程序设计和文档编写的格式,管理程序版本的更新,管理整个项目的进展等。图 1.2 中的 RMI(Root Modeling Interface)是用 C 语言编写的一个小型几何数据管理系统,采用网状数据模型,在计算机内存中运行,因此响应速度快。凡

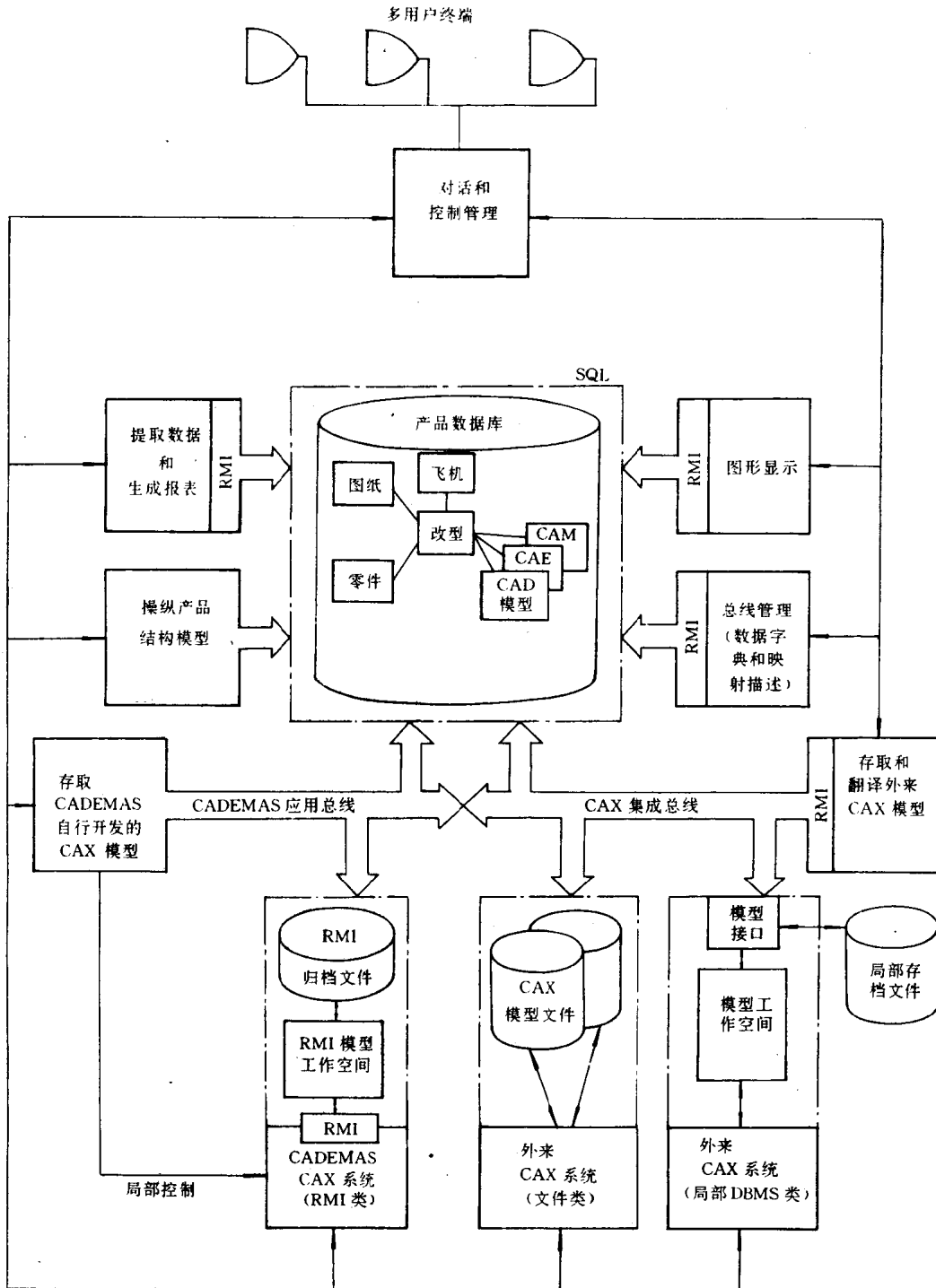


图 1.2 CADEMAs 采用的总线系统结构

是 CADEMAs 中新开发的 CAD/CAM 系统都用 RMI 统一管理几何模型。CADEMAs 的第一期工程 1984~1987 年在德国进行，共约投入了 140 人年，使用 IBM 主机和 5080 型图形终

端。二期工程在国内结合飞机设计集成系统和工作站 CAD/CAM 系统等项目开展,部分成果已经投入生产使用,产生了明显的技术经济效益。

第三个例子是美国 Unicad 公司提供的——一个商品化的 CAD 集成开发环境和通用几何设计工具,又称 M/P/E (Modifiable/Portable/Extendable),意思是整个系统可以修改、移植和扩充,有良好的开放性。Unicad 公司成立于 1983 年初,主要人员来自 Manufacturing Consulting Service, Graftek, Calma, IBM, Autotrol 等,有长期从事 CAD/CAE/CAM 产品开发的实际经验。他们感到市场上的一般 CAD 系统往往只提供定型的功能,不便于用户开发专用系统,因此研制了一个通用的 CAD 开发平台,出售源程序,给用户以发展软件的充分自主权。M/P/E 的系统结构如图 1.3 所示,图中除了应用部分由用户自己增加外,其余模块都由系统提供。我国在七五期间开发 CAD/CAM 系统时也使用了 M/P/E 平台,具有良好的效果。

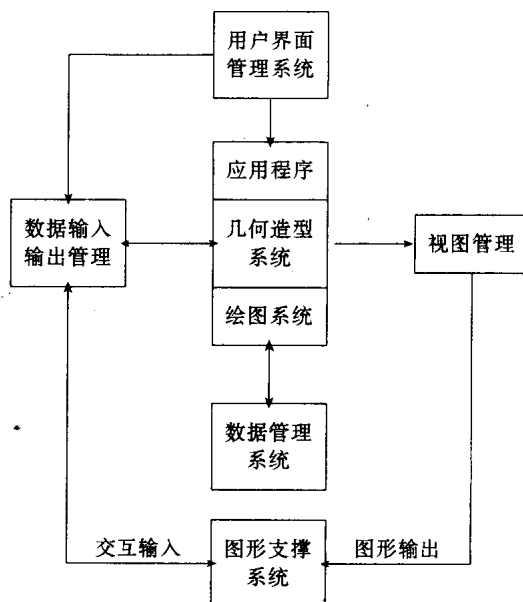


图1.3 Unicad公司的M/P/E开发平台

最后一个例子是美国 CV 公司的软件发展。CV 是美国规模最大的 CAD/CAM/CAE 软件和服务公司,创建于 1969 年。1983 年合并了英国剑桥的 CIS 公司,获得 MEDUSA 实体造型软件。1989 年又合并 Calma 公司,拥有了 DDM 和 DIMENSION III 机械、工程设计软件。CV 本身的 CADDS 系统等也要不断更新。为了更好利用资源和加快产品总体水平的提高,首先调整底层的公用核心软件,在 1992 年推出 CV-DORS (Developers Open Resource Software),向软件开发人员提供开放的资源框架^[3]。CV-DORS 包含 4 个库:三维几何造型、数据存取、图形生

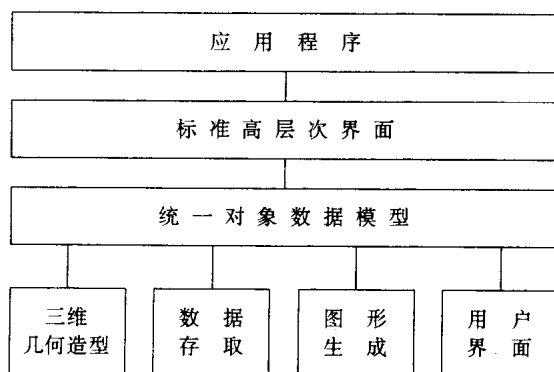


图 1.4 CV-DORS 通用开发框架

成和用户界面,见图 1.4。它既是 CADDS 5 的组成部分,在 CV 公司内部统一使用,逐步将 CADDS 5, DIMENSION III, MEDUSA 纳入统一的集成化体系结构;同时也向外界提供源程序,作为各厂商发展自己使用或向外出售的专业系统开发框架。CV-DORS 可以在各种工作站上运行,使用 X Window 或 Windows NT 环境。几何造型系统混合使用线框、曲面和实体模

型,采用 NURBS 构造实体模型的边界,用面向对象方法编程,提供 C++,C 和 Fortran 接口。CV-DORS 的发行标志着 CAD 厂商决心向用户更多敞开核心技术,给予用户更大的二次开发自主权,因而更广泛更深入地占领 CAD 市场。

1.4 X 窗口

MS Windows 和 X Window 现在基本上已成为微机和工作站上应用软件的标准界面。它们在屏幕上产生的画面效果都和 Macintosh 十分相似,用直观的图形符号表示按钮开关、页面滚动、程序的执行等待,提供生成各种菜单、对话区、标题栏、图符的工具,大大简化了应用程序的商品化包装和不同机型之间的移植。这种图形用户界面 GUI(Graphical User Interface)技术创始于 70 年代 Xerox 的 Palo Alto 研究中心,首先应用在苹果机上。X Window 是 1984 年美国麻省理工学院 MIT 着手研制的在网络上运行而又超脱于各种操作系统、图形显示器型号以及网络协议的图形用户界面开发环境^[43]。它的产生背景是 MIT 有多种多样的工作站,有公司赠送的,也有自己买来的。它们的操作系统不同,显示器指令不同,而 MIT 的教学和科研又需要一个多处理器分布式调试环境,需要在不同的工作站间传输大量图形。于是决定立项开发一个通用的窗口系统,称之为雅典娜 Athena 工程,主持人是 MIT 的 Robert Scheifler 和 Jim Gettys。他们吸收了斯坦福大学网络软件环境下的 W 窗口软件中很多成果,并且沿用 W 的下一个字母,称作 X 窗口系统。由于外界也想引用 X 窗口,1988 年 3 月 MIT 正式公布了 11.2 版,以后又陆续更新为 11.4 和 11.5。为了便于外界参考和联合开发,MIT 采取了与 UNIX 相同的策略,公开源程序。雅典娜工程一开始得到 DEC 和 IBM 的合作,1989 年 1 月 OSF 采纳 X 窗口作为 UNIX 的图形界面,成为当前最流行的 GUI 工业标准之一。

窗口是一种多任务编程的屏幕显示和用户界面技术。运用窗口系统可以在屏幕上生成多个窗口,同时显示多道程序的活动。每个窗口的大小、形状和在屏幕上的位置都可根据用户的要求变化。X 是面向网络的窗口系统,它采用客户/服务器(client/server)工作方式。客户是广义的应用程序,它可以在 Cray,DEC 以至 PC,Macintosh 上运行,而运行结果可以在网络的其他显示器,例如 SUN 或 HP 工作站上显示。一个显示(display)定义为一个由键盘、鼠标和屏幕组成的工作站。屏幕是图形方式的,即屏幕上的每一个象素都是可控的。屏幕、鼠标和键盘由一个专门服务器来管理。服务器常驻本地,控制屏幕、键盘和鼠标,处理与网络有关的任务。它接受多道程序对显示的访问;解释程序发来的网络信息;通过网络将工作站的输入送至指定的程序;管理共享的数据结构,如窗口、光标、字模等。这种客户/服务器模式可以保证客户与硬件无关,网络透明。多个客户可以同时连接到一个服务器,一个客户也可以同时连接到多个服务器。

X 允许在屏幕上生成多个窗口。所有窗口都是矩形的,大小和长宽比例可变。窗口可以任意移动,相互间可以重叠。键盘总是连接到屏幕的某一窗口,只能由后者接受键盘输入,而鼠标的光标移动可以穿过窗口边界。所有的窗口都由一个专门的程序即窗口管理器来管理。X 窗口的结构如图 1.5 所示。

各种输入和应用程序之间的交互作用称为事件,例如按一个键,移动一次鼠标,都是事件。事件进行排队,送到应用程序,由后者作出响应。下面是一段典型的 X 程序,引自参考文献[5,6],反映了应用程序通过网络与显示接通,查询显示器的名字,设定显示的色彩,检查

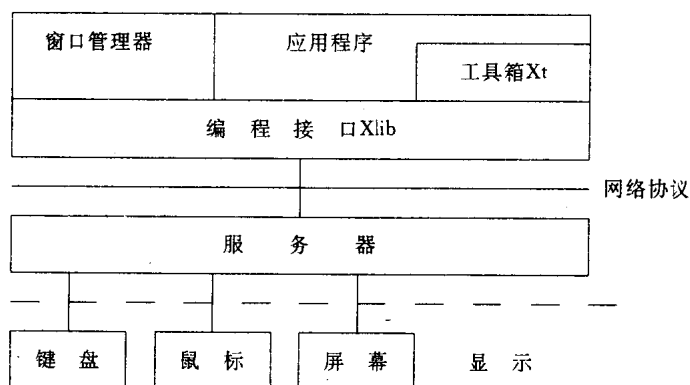


图1.5 X窗口系统结构

显示屏幕的坐标原点和长宽，打开窗口，准备接受事件，最后释放字模，关闭窗口，中断显示，退出 X。程序中的全局变量 GC 是 Graphics Context 的缩写，表示一个数据结构，存入绘图的所有参数，如底色、面色、线型、线宽、字体等。

程序 1.1 X Window 调用格式举例：

```

#include <stdio.h>
#include <X11/Xlib.h>
#include <X11/Xutil.h>

extern Display          * theDisplay;

GC                      * theGC;
XFontStruct             * fontStruct;

main( argc, argv )
int      argc;
char     * argv[];
{
    Window      theWindow, operWindow();
    XFontStruct * initFont();
    int         iconicState;
    int         geometryStatus;
    int         x,y,width, height;
    char        theDisplayName[120];
    char        theGeometry[ 120 ];
    char        theTitle[120];
    char        theFontName [120];

    /*
    **          分析命令行参数
    */
    iconicState = getArguments( argc, argv,
                                theDisplayName,

```



```

        theGeometry,
        theFontName,
        theTitle);

/*
 * *           与 X 系统连接
 */
    initX( theDisplayName );
/*
 * *           取得显示器信息并显示于屏幕上
 */
    getXInfo();
/*
 * *           设定颜色
 */
    initDefaultColors();
/*
 * *           分析几何参数
 */
    geometryStatus = xParseGeometry ( theGeometry, &x,&y,&width, &height);
/*
 * *           检查屏幕几何参数中哪些已被设定
 */
if ( ! (geometryStatus & XValue ) )
    x = 10;
if ( ! (geometryStatus & YValue ) )
    y=10;
if ( ! (geometryStatus & WidthValue ) )
    width = 300;
if ( ! (geometryStatus & HeightValue ) )
    height = 300;
/*
 * *           打开一个窗口
 */
theWindow = openWindow ( x,y,                /* x,y 定位点 */
                        width,height,        /* 宽,高 */
                        0,                   /* 非弹出式 */
                        theTitle,           /* 窗口标题 */
                        iconicState,        /* 初始状态 */
                        &theGC );           /* 图形显示参数 */
initEvents ( theWindow );
/*
 * *           装载一种字体
 */

```