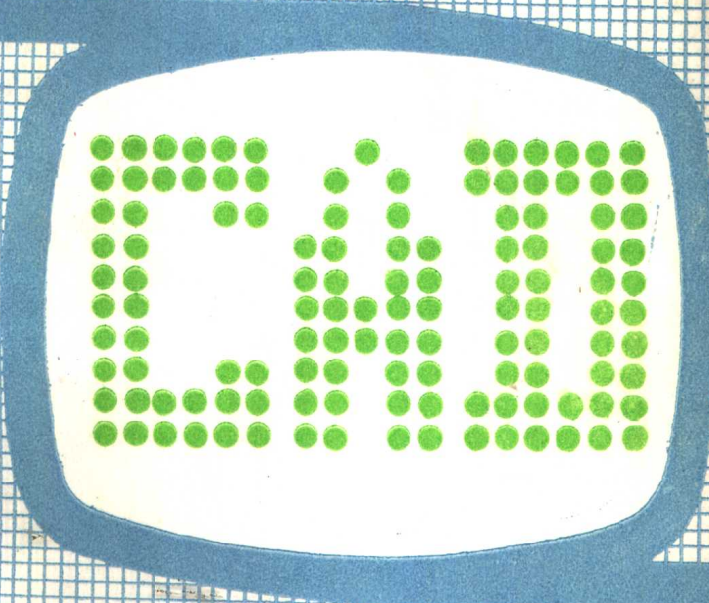


COMPUTER AIDED DESIGN

计算机辅助设计

——方法、技术与系统

朱 辉 励泰兴 编著



CAD

中国纺织大学出版社

计 算 机 辅 助 设 计

——方法、技术与系统

朱 辉 励泰兴 编著

中国纺织大学出版社

一九九三年十二月

(沪)新登字第 209 号

责任编辑: 刘立夫

封面设计: 赵 需

计算机辅助设计

——方法、技术与系统

朱 辉 励泰兴 编著

中国纺织大学出版社出版

(上海市延安西路 1882 号 邮编 200051)

新华书店上海发行所发行 常熟市文化印刷厂印刷

开本 850×1168 1/32 印张 10.5 字数 250(千字)

1994 年 4 月第 1 版 1994 年 4 月第 1 次印刷

印数 1—2500

ISBN 7-81038-001-x/TP·01 定价: 9.8 元

内 容 提 要

本书由计算机辅助设计 (CAD) 的基本概念入手, 详细介绍了作为 CAD 基础的图形数据结构、形状处理和图形处理方法。以此为基础, 进一步讨论了图形数据库、图形标准、CAD 系统设计方法等内容。对 CAD 系统设计的基本理论和具体方法作了完整的介绍。

本书以全新的体系、深入浅出的方法和详细具体的算法例子, 介绍了 CAD 系统设计的基本技术和方法, 反映了该学科发展的最新动向。因此, 本书既可作为大专院校有关专业的研究生、本科生的教学用书, 亦可供从事 CAD 技术研究和 CAD 系统开发的科技人员参考。对于广大的 CAD 技术的自学人员, 本书也有极好的参考价值。

前 言

本书主要是作为面向机械类 CAD 及其它有关专业的研究生和本科生的教材并兼顾广大自学 CAD 技术的科技人员的入门之需而编写的。编者曾在 1984 年编写了《计算机辅助设计技术和方法》一书,作为在中国纺织大学开设计算机辅助设计课程的教材。经过多年教学实践,考虑到近年来 CAD 技术的发展,在原有教材的基础上充实补充,编写了本书。

本书以 CAD 系统的设计为贯穿全书的主线,集中讨论了 CAD 系统设计中的各种具体技术和方法。本书以图形数据结构作为整个 CAD 系统设计的基础,对此进行了较为详尽的讨论,以求读者对此有充分的了解。对于具体的 CAD 技术,主要是从形状处理和图形处理两方面来予以介绍。本书具体介绍了各种典型的几何构形技术,具体分析了体素拼合的基本方法。在图形处理的介绍中,主要突出了裁剪、消隐和浓淡的处理方法。这些内容在一般计算机图形学教材中涉及较少,而对于 CAD 系统的设计来讲,却是较为重要的内容。本书以较多的篇幅,介绍了 CAD 系统设计的具体方法。编者感到,掌握科学的工程化的 CAD 系统设计方法是十分重要的。它将对我国的 CAD 技术研究及各种 CAD 系统的开发起重要的推进和保证作用。

本书采用了一种特定的算法描述语言来具体描述书中所涉及的算法。这是一种类似于 C 语言,但又不尽相同的表述形式。采用这种方式的目的是为了使得算法的描述不受某种程序设计语言的限制,而又可以方便地转换成各种常用的程序设计语言。在附录中,对此进行了简单的说明。

本书由中国纺织大学朱辉、励泰兴编写。中国工程图学学会副理事长、浙江大学应道宁教授审阅了全书,并提出了许多改进意见。中国纺织大学的姜月玲、钱炯帮助描绘了部分插图。本书在编写中,参考并引用某些现成的材料。对此,除在书后参考文献中予以列出外,在此向这些作者深表谢意。

由于编者的水平有限,编写时间仓促,加之 CAD 技术的迅速发展,因此,在本书中疏漏和不妥之处,恳请读者指正。

编 者

目 录

第一章 CAD 系统概述	1
第一节 CAD 和 CAD 系统	1
一、CAD 的产生与发展	1
二、CAD 系统的组成	4
三、CAD 的基础技术	5
第二节 工程设计与 CAD	8
第三节 CAD 系统设计概述	12
第二章 图形数据结构	15
第一节 图形数据结构的基本概念	15
第二节 基本数据结构	17
一、线性表	18
二、树结构	38
第三节 图形的分层结构	47
一、图形分层结构的基本构造	47
二、SKETCHPAD 系统的图形数据结构	50
第四节 图形的翼边结构	77
一、图形翼边结构的基本思路	77
二、图形翼边结构的基本构造	78
第五节 图形数据结构的设计	83
一、几何元素的从属性及相关性	83
二、几何元素的选择及关系的描述	84
三、设计步骤	86

第六节 图形数据库概述	87
一、图形数据库的基本特点	88
二、图形数据库的设计	92
第三章 形状处理方法	96
第一节 几何构形的基本概念	96
一、几何构形的基本原理	97
二、线框模型和实体模型	100
第二节 几何构形的基本方法	103
一、空间格子表示方法	104
二、网格分割表示方法	105
三、基本体素表示方法	105
四、半空间表示方法	107
五、“扫”的表示方法	108
六、边界表示方法	108
第三节 CSG 和 B-Reps 方法	111
第四节 TIPS 系统	115
一、描述立体形状的基本数学模型	115
二、描述形体的基本元素	117
三、形状定义语句格式	118
四、形状边界的生成	121
五、程序结构	124
第五节 PADL 系统	125
一、基本元素及其内部表示	125
二、几何定义方法	128
三、形体运算方法	131
四、尺寸标注及表面特性信息	133
五、系统结构	134

第六节 一种体素拼合方法的分析	135
一、基本图形数据结构	135
二、体素拼合的操作内容	140
第四章 图形处理方法	150
第一节 裁剪处理方法	150
一、裁剪的基本概念	150
二、矢量裁剪	155
三、多边形裁剪	179
第二节 三维线框图的生成	192
一、透视线框图	193
二、三维物体的二维显示	198
三、一个简单的例子	210
第三节 消隐处理	215
一、Roberts 消隐算法	218
二、Warnock 消隐算法	228
三、深度缓冲器消隐算法(Z-Buffer)	241
第四节 浓淡处理	245
一、基本浓淡模型	246
二、浓淡处理方法	249
三、浓淡的特殊效应处理	257
第五章 CAD 系统设计方法	264
第一节 图形标准	264
一、图形标准的基本概念	264
二、图形核心系统——GKS	271
三、CORE 系统	276
四、PHIGS 系统	280

五、图形标准的研制	284
第二节 CAD 系统引入方法	287
一、CAD 系统引入的基本步骤	287
二、CAD 系统的技术论证	295
第三节 CAD 系统设计方法	297
一、CAD系统设计方法的基本概念	297
二、系统分析	300
三、系统设计	311
四、系统编写及测试	313
五、小 结	316
第四节 CAE 方法概述	317
附录 算法描述语言	322
参考文献	325

第一章 CAD系统概述

第一节 CAD 和 CAD 系统

计算机辅助设计——CAD(Computer Aided Design)是一门系统化的技术。它是由许多专门的基础技术综合起来的一门新兴的技术。当前,这门新兴的技术已经获得了很大的发展,并且在各个领域中都得到广泛的应用。由于许多行业都在利用和研究CAD的基本技术,促使了CAD技术的迅速发展。反过来,CAD技术的发展,也必将推动着这些行业的飞速前进。

本章简要介绍CAD的发展过程,分析CAD与传统的设计工程的关系,由此出发,概要介绍CAD系统设计的基本方法。

一、CAD的产生与发展

CAD技术的发展历史大约可追溯到三十多年前,1959年美国麻省理工学院(MIT)成立了一个CAD课题小组,由此揭开了CAD研究的序幕。当时,MIT是有名的数控(NO)研究中心,他们早在五十年代初就研制成功了世界上最先进的数控机床,不久,又完成了用于数控的APT语言。为了继续发展已取得的成就,并向着设计自动化的方向迈进,MIT开始了对CAD技术的研究。当时,他们提出了下列目标:

- (1) 实现人与计算机的交互式对话;
- (2) 以图形为媒介实现人机对话;
- (3) 实现计算机辅助模拟。

这三个目标直到1963年MIT的I.E. Sutherland发表了著名的SKETCHPAD系统后,才获得初步结果。SKETCHPAD是

一个二维的人—机交互系统。设计者可以和计算机进行对话，并对在显示屏幕上所显示的各种图形进行修改、增加和删除等操作。这在当时给人们展示了一个光辉的前景，引起了工程技术界的巨大震动。

然而，Sutherland 在以后的进展并不顺利。在将 SKETCH-PAD 系统实用化的过程中碰到了一系列的问题，而其中最主要的是当时计算机、图形显示器的功能和价格昂贵等硬件方面的问题以及在处理图形信息时的困难程度等等。这些都有待于硬件和软件在技术上取得新的突破。

现在三十年过去了，MIT 在当时所提出的目标中，前二项已经由于计算机技术的发展、各种外部设备的性能价格比的提高以及有关图形显示软件的高度发展而获得了基本解决。实现人—机交互式对话，在屏幕上对图形进行各种操作，这些都已经成为现实，且已达到相当实用化的程度。

特别是当 Applicon 公司、Computervision 公司、Calma 公司等推出了称为 turn key 式的图形处理系统后，交互式作图已是十分容易的事了。

但是，达到了这一程度只能是充分应用于计算机辅助绘图 (Computer Aided Drawing)，对于实现真正的 CAD 则仍是十分不够的。真正的 CAD 要求能由计算机辅助以往的工程设计的整个过程。这就要求能达到 MIT 所提出的第三个目标，即实现计算机辅助模拟，模拟人在设计过程中的所有工作，使设计工作能更快、更精确、更容易地进行。这是一个相当高的要求，也是一个相当困难的要求。全世界的科学技术工作者为此已经进行了长期而又艰苦的努力。

表 1-1 列出了 CAD 技术发展的四个阶段。第一阶段是 CAD 技术发展的摇篮期。在这一阶段，随着 Sutherland 的 SKETCH-PAD 系统的发表，引发了世界上研究 CAD 技术的热潮，并由此进

行有关计算机图形学(Computer Graphics)、几何构形(Geometric Modelling)等基础技术的研究。在此期间,除了 Sutherland 的研究进展外,最重要的是 1973 年在匈牙利的布达佩斯召开了 PROLAMT '73 会议。会上发表了著名的 TIPS-1、PADL-1、BUILD-1 等系统,提出了几何构形的基本思想。1974 年在美国 UTAH 大学召开了第一届 CAGD (Computer Aided Geometric Design)会议,发表了许多重要论文。这些都标志着 CAD 的基础技术研究取得了突破性的进展。

第二阶段是由七十年代后半时期到八十年代前半时期。在此期间,由于 turn key 式系统的问世,使得计算机绘图的实用化获得飞速发展。在此期间产生了大量的实用化系统和微型机系统,将 CAD 的实用化大大推向前进。

第三阶段即目前阶段,其目标是实现整个设计过程的 CAD。自进入八十年代以来,几何构形技术、各种解析方法都得到了很大的发展。这些为实现设计过程的全部 CAD 化创造了条件,并为实现 CAD 和 CAM(Computer Aided Manufacturing)的一体化打下了基础。在此基础之上,计算机辅助工程 CAE (Computer Aided Engineering)亦将得到迅速发展。

表 1-1 CAD 的发展

阶 段	时 代	CAD 发 展
第一阶段 摇篮期	六十年代 ~七十年代后半期	SKETCHPAD 系统、几何构形的基础研究取得进展。
第二阶段 实用初期	七十年代后半期 ~八十年代前半期	turn key 式系统问世, 计算机绘图技术实用化, 图形数据库应用。
第三阶段 实用期	八十年代	实现设计过程的全部 CAD 化。
第四阶段 新发展期	九十年代	智能 CAD 得到发展。

作为前景的第四阶段,将把人工智能(Artificial Intelligence)引入 CAD,从而使 CAD 朝着更加自动化、智能化的方向发展。它不仅能帮助人们进行一般的设计工作,也能在一定程度上帮助人们进行构思、推理、决策,从而在更高的程度上实现智能化的 CAD。

二、CAD 系统的组成

图 1-1 表示了一个 CAD 系统硬件环境的例子。设计者是在工作站(Workstation)前进行设计工作。CAD 工作站主要由 CRT 图形显示设备、数字化仪、绘图机等组成。设计者可利用数字化仪输入图形,并在 CRT 图形显示设备上对各种图形的操作和处理,最后可在绘图机或硬拷贝设备上得到设计结果的输出。整个系统处理的数据都可由图形数据库管理存放,而经过 CAD 系统处理后得到的各种结果,亦可根据需要送入加工控制中心,以实现 CAD/CAM 的一体化。CAD 系统的硬件配置可以有多种形式,图 1-1 所示是一个基本的组成。

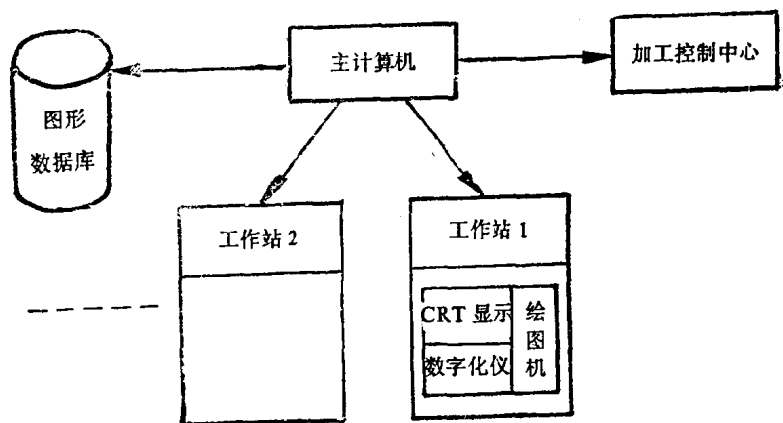


图 1-1

CAD 系统的软件组成, 通常根据各个 CAD 系统的具体要求不同而有所不同。图 1-2 表示了一个 CAD 系统软件组成的例子。其中交互式图形处理、几何构形处理、输入输出处理、数据库管理系统、图形数据库等所有的 CAD 系统都具有这些基本部分。

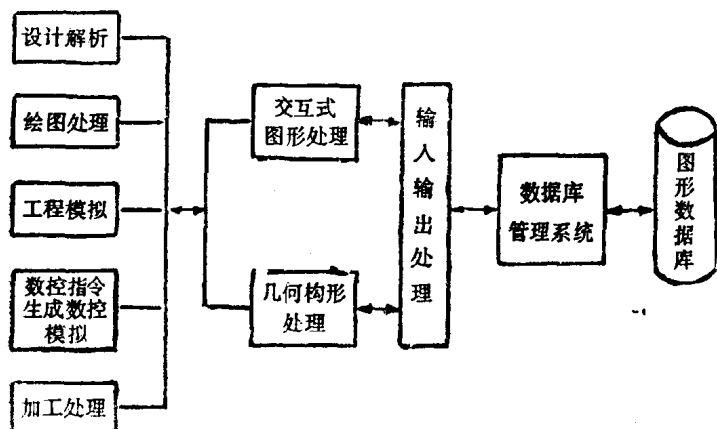


图 1-2

三、CAD 的基础技术

CAD 是一门综合性技术, 它是由各种基础技术所组成的。

1. 计算机绘图技术

计算机绘图是 CAD 技术的最基本的组成部分, 可以说 CAD 技术是由计算机绘图而逐步发展起来的。在 CAD 系统中, 绘图处理担负着输出图形的任务。无论是面向何种设计的 CAD 系统都要求有一定的图形输出, 而这都有赖于计算机绘图技术的处理。在 CAD 系统中, 对绘图处理的要求是很高的。它要求能处理各种不同的图形、线型、字体、尺寸、公差标记、剖面线、标题栏等等, 即在各种输出图形中可能出现的内容, 都要求能够处理。除此

之外,还要考虑能处理有关的图形变换和数据转换,并且要求能很方便地与整个CAD系统连接起来。

2. 交互式图形显示技术

CAD系统是通过显示屏幕的图形来进行各种操作的,因此交互式图形显示技术就成为CAD系统中必不可少的组成部分。交互式图形显示包含很多内容,一般讲可分成如下三大类:

(1) 图形的生成 如同绘图系统那样,交互式图形显示技术也要有一套生成各种图形的功能。但是因为要在屏幕上显示图形,而且现在又大多采用光栅显示方式来实现,因此,其具体的处理方法与绘图技术是不尽相同的。而且,在屏幕上显示图形要求速度快和动态响应。这些都表明需要有另外的图形生成技术。现在,在很多的CAD系统中都采用了如COREL、GKS、PHIGS等标准化的图形生成方式。

(2) 屏幕图形处理 除了生成屏幕图形外,在CAD系统中还要求能在屏幕上实时地对图形进行各种操作。譬如,剪掉在指定区域外的图形内容的裁剪处理;消去在观察者看来不可见的线段的消隐处理;为了得到透视、轴测等各种不同形式图形的变换处理等等,这些都要求在图形显示技术中予以很好解决。

(3) 浓淡处理 为了得到高度逼真的显示图形,在CAD系统中要求输出具有明暗层次的浓淡图形。这就要求系统内部具有基本的浓淡模型,并可根据各种光照条件和物体的表面条件,模拟真实世界的明暗效果,生成高度逼真的浓淡图形。

3. 几何构形技术

CAD系统并不是单纯解决已有形体的描述。真正的CAD系统要具有由基本体素出发构作形体的能力,即要求能根据各个具体要求及输入参数来构作新的形体,并根据需要对形体实施各种拼合操作,这就是几何构形技术。

在几何构形中,一般采用以下几种模型,

(1) 线框模型(Wireframe Model) 这是仅具有形体的棱线、轮廓线、交线等特征线信息的模型,它只能处理用线框表示的图形,作为一个立体,其信息是不完备的。更不能提供诸如形体的重量、重心等信息。

(2) 面模型(Surface Model) 将形体以表面来定义,以表面的集合来组成形体。比较线框模型,它提供了更多的信息,但其仍不是形体的真实描述,因此也很难在CAD系统里进行有关操作。

(3) 实体模型(Solid Model) 实体模型是真正的立体模型,是具有三维信息的立体表示。现在一般有两种定义方法的实体模型:

① 以基本体素来定义的 CSG (Constructive Solid Geometry) 方法;

② 以边界表示的 B-Reps (Boundary Representation) 方法。

CSG 方法以各种基本体素的拼合来形成立体的描述,输入简单,直观,计算机内部表示紧凑,操作者使用方便。但是,采用 CSG 方法来进行内部拼合表示是比较困难的。B-Reps 把空间形体的形状表示作为一组有界表面的集合来予以表示,生成比较麻烦,但内部数据操作简便。因此现在有把此两种方法结合的趋势。

此外,在几何构形技术中还有很重要的自由曲面构形。对于不规则的曲面,可以通过逼近或拟合离散点的方法来构造自由曲面,这在 CAD 系统中也是极为重要的。

4. 各种解析计算技术

在 CAD^③系统中,如同一般的设计工程一样,也要对设计对象进行必要的解析与计算。但是与平时设计不一样的是,在 CAD 系统中往往要采用特定的专用算法(如有限元素法等)来进行处理。