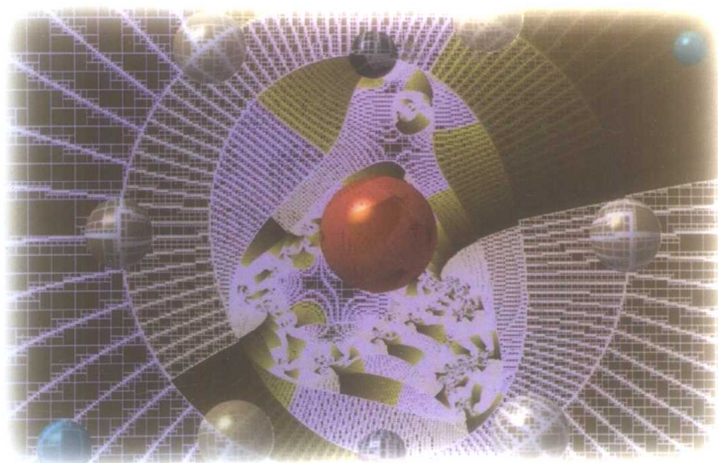




清华大学计算机基础教育课程系列教材

计算机图形学教程

陆润民 编著



清华大学出版社



清华大学计算机基础教育课程系列教材

计算机图形学教程

陆润民 编著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书是作者自己多年来在清华大学讲授“计算机图形学”的基础上,参考一系列典型教材,整理编写而成的。

全书的主要内容包括:计算机图形系统、图形程序设计方法、图形数据结构、图形变换、图形算法、曲线曲面、几何造型、三维真实感图形和计算机动画技术等。

本书内容丰富且层次分明,可以适合各种不同的教学模式。书中既讲授基础理论,也提供了大量应用实例,同时还介绍了 AutoCAD 和 3DSMAX 的应用,有利于学以致用,提高学生的实际能力。

本书可作为普通高校“计算机图形学”课程的教材,也可供函授大学、电视大学等成人高校使用,亦可作为从事计算机辅助设计工作的工程技术人员的参考书。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

计算机图形学教程/陆润民编著. —北京:清华大学出版社,2003

(清华大学计算机基础教育课程系列教材)

ISBN 7-302-06242-0

I. 计… II. 陆… III. 计算机图形学—高等学校—教材 IV. TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 001426 号

出 版 者: 清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,邮编 100084)

<http://www.tup.com.cn>

印 刷 者: 北京国马印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 787×1092 1/16 **印张:** 14.25 **字数:** 324 千字

版 次: 2003 年 3 月第 1 版 2003 年 3 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-06242-0/TP·3737

印 数: 0001~5000

定 价: 19.00 元

序

计算机科学技术的发展不仅极大地促进了整个科学技术的发展,而且明显地加快了经济信息化和社会信息化的进程。因此,计算机教育在各国备受重视,计算机知识与能力已成为 21 世纪人才素质的基本要素之一。

清华大学自 1990 年开始将计算机教学纳入基础课的范畴,作为校重点课程进行建设和管理,并按照“计算机文化基础”、“计算机技术基础”和“计算机应用基础”3 个层次的课程体系组织教学:

第一层次“计算机文化基础”的教学目的是培养学生掌握在未来信息化社会里更好地学习、工作和生活所必须具备的计算机基础知识和基本操作技能,并进行计算机文化道德规范教育。

第二层次“计算机技术基础”是讲授计算机软硬件的基础知识、基本技术与方法,从而为学生进一步学习计算机的后续课程,并利用计算机解决本专业及相关领域中的问题打下必要的基础。

第三层次“计算机应用基础”则是讲解计算机应用中带有基础性、普遍性的知识,讲解计算机应用与开发中的基本技术、工具与环境。

以上述课程体系为依据,设计了计算机基础教育系列课程。随着计算机技术的飞速发展,计算机教学的内容与方法也在不断更新。近几年来,清华大学不断丰富和完善教学内容,在有关课程中先后引入了面向对象技术、多媒体技术、Internet 与互联网技术等。与此同时,在教材与 CAI 课件建设、网络化的教学环境建设等方面也正在大力开展工作,并积极探索适应 21 世纪人才培养的教学模式。

为进一步加强计算机基础教学工作,适应高校正在开展的课程体系与教学内容的改革,及时反映清华大学计算机基础教学的成果,加强与兄弟院校的交流,清华大学在原有工作的基础上,重新规划了“清华大学计算机基础教育课程系列教材”。

该系列教材有如下几个特色。

1. 自成体系:该系列教材覆盖了计算机基础教学 3 个层次的教学内容。其中既包括所有大学生都必须掌握的计算机文化基础,也包括适用于各专业的软、硬件基础知识;既包括基本概念、方法与规范,也包括计算机应用开发的工具与环境。

2. 内容先进:该系列教材注重将计算机技术的最新发展适当地引入教学中来,保持了教学内容的先进性。例如,系列教材中包括了面向对象与可视化编程、多媒体技术与应用、Internet 与互联网技术、大型数据库技术等。

3. 适应面广：该系列教材照顾了理、工、文等各种类型专业的教材要求。

4. 立体配套：为适应教学模式、教学方法和手段的改革，该系列教材中多数都配有习题集和实验指导、多媒体电子教案，有的还配有 CAI 课件以及相应的网络教学资源。

本系列教材源于清华大学计算机基础教育的教学实践，凝聚了工作在第一线的任课教师的教学经验与科研成果。我希望本系列教材不断完善，不断更新，为我国高校计算机基础教育做出新的贡献。



1999 年 12 月

注：周远清，曾任教育部副部长，原清华大学副校长、计算机专业教授。

前言

计算机图形技术作为科学计算可视化和计算机辅助设计两大领域中的核心内容,近30年来获得了空前的发展。这除了主要得益于计算机硬件技术本身的惊人发展外,还基于这样一个明显的事实,即如果没有计算机图形技术的成就,其他计算机应用技术要获得快速发展,几乎是不可能的。因此,“计算机图形学”已在实际上成为了计算机应用领域的基础课程。

计算机作为人类智慧的完美结晶、当今科学技术的最高成果,已经走出了神秘的圣殿,成为大众手中的普通工具。试问,现在还有哪个领域、又有谁不知道计算机呢?在庞大的计算机应用队伍中,主要分为两个部分:一部分是只涉及到计算机的操作和通用软件的应用,如计算机游戏、学习辅助教学的课件、文字处理以及上网、通信等;另一部分是各个专业领域的工程技术和研究人员,他们要应用计算机去解决本领域的专业课题,要研制和开发一些专门的应用软件。事实上,绝大部分的应用软件也就是这些非计算机专业的工程技术和研究人员开发的。要开发计算机应用软件,必然离不开计算机图形技术。因此,“计算机图形学”也就成为了计算机软件技术的基础课程。

这本“计算机图形学教程”,是作者在多年来讲授“计算机图形学”的经验进行总结的基础上,再参考这方面的一些典型教材,整理编写而成的。该书具有以下特点:

(1) 书中的内容选取面较宽,并分成不同层次,可以适应不同的教学要求和模式,便于教师根据具体情况灵活开展教学工作;

(2) 在讲授图形学基本理论的同时,介绍了著名图形应用软件 AutoCAD 的实体造型功能和动画制作软件 3DS MAX 的应用,使得计算机图形学的教学内容更为丰富。

本书采用 C 语言作为编程语言。书中附有大量的图形程序实例,可供学生在学习、练习时参考。

学习“计算机图形学”课程时,最好先修 C 语言或其他任意一门高级程序设计语言;教师在讲授时应根据具体情况选取书中内容,一般可用 32 学时讲授该书中的基本内容,其余部分可留给学生作为自学、拓展和提高的内容。“计算机图形学”是一门实践性很强的课程,所以应该鼓励学生尽可能多花时间上机练习。在本书的附录中提供了部分上机练习题,供教师和学生参考选用。

在本书的编写过程中,始终得到了王菱女士的具体帮助,在此表示诚挚的感谢。

书中难免有不足和错漏之处,恳请读者批评指正。

陆润民

2002 年 12 月于清华园

目 录

第 1 章 计算机图形系统	1
1.1 绪论	1
1.1.1 计算机图形学概况	1
1.1.2 计算机图形学的主要应用领域	2
1.1.3 计算机图形学与计算机辅助设计	3
1.2 计算机图形系统	4
1.2.1 计算机图形系统的功能与组成	4
1.2.2 图形设备	6
1.2.3 图形软件	11
第 2 章 图形程序	13
2.1 图案程序	13
2.1.1 金刚石图案	13
2.1.2 肾形图案	14
2.1.3 海绵图案	15
2.2 通用图形程序	17
2.2.1 构造功能模块的基本原则	17
2.2.2 图形程序	17
2.2.3 以外接圆圆心定位的正多边形	19
2.2.4 螺旋图案	20
2.3 典型绘图方法	22
2.3.1 参数法绘图	23
2.3.2 子图形拼接法绘图	25
2.4 动画程序	28
2.4.1 用重画技术设计动画程序	28
2.4.2 利用多图形页功能设计动画程序	30
2.4.3 用位图像函数设计动画程序	32
第 3 章 图形数据结构	35
3.1 图形数据结构概述	35
3.2 线性列表结构	36
3.2.1 线性表	36
3.2.2 线性表的运算	37

3.2.3 栈结构	38
3.3 链表结构	38
3.3.1 单向链表	39
3.3.2 循环链表	40
3.3.3 多重链表	41
3.4 树形结构简介	41
3.4.1 树的基本概念	42
3.4.2 二叉树	43
3.4.3 二叉排序树	45
3.5 排序及查找	46
3.5.1 排序的基本概念	46
3.5.2 排序的方法	47
3.5.3 查找	48
第4章 图形变换	50
4.1 图形变换的基本原理	50
4.2 二维图形的变换	51
4.2.1 二维基本变换	51
4.2.2 二维组合变换	55
4.3 三维图形的变换	58
4.3.1 三维变换矩阵	58
4.3.2 三维图形的基本变换	59
4.3.3 三维组合变换	62
4.4 三维投影变换	64
4.4.1 三视图	64
4.4.2 正轴测投影图	65
4.4.3 透视投影图	66
4.5 任意视点透视变换	69
4.5.1 视向变换	69
4.5.2 透视变换	72
第5章 图形算法	74
5.1 基本运算	74
5.1.1 交点计算	74
5.1.2 关系判别	76
5.1.3 窗口运算	78
5.2 基本图形生成算法	79
5.2.1 直线的生成算法	80
5.2.2 圆弧的生成算法	84

5.3 填充算法	88
5.3.1 剖面线算法	88
5.3.2 填充算法	91
5.4 直线段裁剪算法	92
5.4.1 直线段和窗口的关系	92
5.4.2 代码裁剪算法	93
5.4.3 矢量裁剪算法	95
5.4.4 中点再分裁剪算法	96
5.5 多边形运算	97
5.5.1 多边形的裁剪算法	97
5.5.2 多边形运算	100
第6章 曲线曲面	104
6.1 常见二次曲线的绘制	104
6.1.1 绘制曲线的基本方法	104
6.1.2 椭圆绘图程序分析	105
6.2 抛物样条曲线	107
6.2.1 曲线生成的原理	107
6.2.2 曲线的讨论	109
6.2.3 曲线程序	110
6.3 三次参数样条曲线	111
6.3.1 曲线生成的原理	111
6.3.2 三次参数样条曲线的表达式	113
6.3.3 解题过程	115
6.4 Bézier 曲线和 B 样条曲线	116
6.4.1 Bézier 曲线	117
6.4.2 B 样条曲线	119
6.5 Bézier 曲面和 B 样条曲面	124
6.5.1 Bézier 曲面	124
6.5.2 B 样条曲面	126
6.6 实验曲线的绘制方法	127
6.6.1 最小二乘法	127
6.6.2 用最小二乘法拟合直线	128
6.6.3 拟合多项式曲线	128
第7章 几何造型	131
7.1 几何形体在计算机内的表示	131
7.1.1 几何元素的定义	131
7.1.2 形体的模型	132

7.1.3 常用的形体表示方法	134
7.2 集合运算	136
7.2.1 正则形体和有效实体	136
7.2.2 求交运算	138
7.3 其他造型方法	140
7.3.1 特征造型	140
7.3.2 分形造型	140
7.4 AutoCAD 的实体造型功能	143
7.4.1 用户界面	143
7.4.2 三维模型的显示	145
7.4.3 实体造型	148
7.4.4 实体的有效性检查	158
第8章 三维真实感图形	159
8.1 概述	159
8.1.1 真实感图形的概念	159
8.1.2 平面方程及法向量	160
8.2 凸面体的消隐方法	161
8.2.1 平面体表面法向量与可见性的关系	161
8.2.2 凸多面体隐线的消去方法	162
8.3 任意平面体的消隐算法	163
8.3.1 算法思想及流程	163
8.3.2 曲面体的消隐方法	164
8.4 隐藏面算法	165
8.4.1 深度缓冲器算法	165
8.4.2 扫描线算法	166
8.4.3 面积相关算法	167
8.5 光照效应	168
8.5.1 明暗模型	168
8.5.2 多面体的明暗模型	171
8.5.3 阴影产生	172
第9章 计算机动画	174
9.1 3DS MAX 的用户界面	174
9.1.1 下拉式菜单栏	175
9.1.2 工具条	178
9.1.3 命令面板	178
9.1.4 视图区	180

9.2 建模方法	182
9.2.1 基本体素的建立	182
9.2.2 形的创建	185
9.2.3 复杂实体	187
9.3 动画制作	192
9.3.1 关键帧动画	193
9.3.2 路径动画	193
9.3.3 文字动画	196
9.3.4 简单的变形动画	197
附录 A 练习题	200
附录 B C语言图形函数	206
参考文献	215

第 1 章

计算机图形系统

计算机图形学(computer graphics, CG)是 20 世纪 60 年代以后,随着计算机技术(包括计算机硬件技术和软件技术)的发展和完善而形成的一门新兴学科。至今,计算机图形学已在建筑、机械、电子、造船、航空、汽车、轻工、广告、艺术等领域得到了广泛的应用。可以说,它几乎影响了所有设计领域,冲击和改变着传统的设计模式。

本章将简要介绍有关计算机图形学的一般情况及计算机图形系统。

1.1 绪论

一打开计算机,人们首先接触到的就是计算机图形学的内容,因为计算机的用户界面已广泛使用了计算机图形技术。事实上,计算机图形技术已深入到各个领域。

1.1.1 计算机图形学概况

计算机图形学是随着计算机硬件技术和软件技术的发展以及科学技术不断进步而逐步发展并完善起来的。今天,它几乎可以给所有的生产和科研领域提供高效率的图形技术的支持,并已成为“科学计算可视化”和“计算机辅助设计”两大领域的核心内容之一。

在 20 世纪 60 年代初期,[美]Ivan Sutherland 在麻省理工学院(MIT)进行了一项名为 Sketchpad 的研究,并在 1963 年的计算机联合会的年会上发表了一篇关于他的某些研究成果的博士论文——《Sketchpad: 一个人机通信的图形系统》。在这篇论文中,他首先提出了计算机图形学、交互技术、分层存储的数据结构等新思想,从而确立了计算机图形学作为一门新学科的独立地位,并为它的发展和应用打下了理论基础。他在论文中提出的那些新理念,至今还在广泛应用。

计算机图形学主要研究如何从真实的或虚拟的物体出发,为其在计算机内建立起相应的模型,并用画面描绘出来。所以,在计算机图形学的研究和应用领域内,图形软件的研究和开发必然要涉及到图形设备(硬件)的研制和发展。其中,在图形软件的领域内要涉及到丰富的图形算法,这些图形算法主要有以下几类:

- 基于图形设备的基本图形的生成;
- 基本图形的几何变换、投影变换及窗口变换;
- 图形元素间的运算;
- 曲线、曲面的生成;
- 三维造型及相关的图形处理;

- 自然景物的模拟;
- 三维真实感图形的生成和显示;
- 多维数据场的可视化;
- 虚拟现实环境的生成。

在我国,计算机图形学的研究始于 20 世纪 60 年代中后期。进入 20 世纪 80 年代以来,随着我国四个现代化建设事业的发展,计算机图形技术无论在理论研究,还是在实际应用中,都取得了令人可喜的成果。在图形设备方面,陆续研制出多种系列和型号的绘图机、坐标数字化仪和图形显示器,并已批量生产投放市场。在图形软件方面,各专业领域内的广大工程技术人员,结合专业的需求,已研制开发出许多专业图形软件,并在各专业领域内的设计工作中发挥了巨大的作用。对引进软件的二次开发技术也相当成熟,并且已取得丰硕成果。特别是我国也已经有了自主知识产权的二维交互绘图系统和三维图形系统的比较实用的版本。但和发达国家相比,我们在计算机图形学方面的研究和应用还存在着很大的差距。这除了我国的经济基础相对比较薄弱外,一个很大的原因恐怕是我们在这方面的人才比较缺乏,懂得计算机图形学的工程技术人员不多,从而影响了计算机图形学这门新兴学科的研究、应用和推广。因此,采取多种形式培养计算机图形学的技术人才是一项非常紧迫而又富有意义的任务。

1.1.2 计算机图形学的主要应用领域

近 30 年来,“计算机图形”作为一门新兴学科,得到了高度的重视和广泛的应用。目前,其主要的应用有以下几个方面。

(1) 计算机辅助设计(CAD)和辅助制造(CAM)。这是计算机图形学最广泛、最活跃和发展最快的应用领域。它被用于:建筑工程、机械结构和零部件等的造型设计;机械设计中的受力分析,结构设计比较,材料选择,绘制加工图纸,以及编制工艺卡、材料明细表和数控加工程序等;汽车、飞机、船舶的外形数学建模,曲线、曲面的拟合与光顺,并绘出图纸;电子工业中的大规模集成电路的设计和印刷电路板的设计,直至绘出图形。这些工作由于精度极高,已非计算机图形技术莫属。

(2) 动画制作与系统模拟。用计算机图形技术产生的动画,无论艺术效果还是经济效益,都比传统手工绘制的好。动画技术可广泛应用于影视、广告等领域。利用它,可以模拟各种反应过程(如核反应、化学反应),并可模拟和测试汽车碰撞、地震破坏等过程。使这些试验变得安全、迅速,并可降低费用。在工业上,计算机图形技术可用于模拟装配过程,进行动态、静态的干涉检查;还可以模拟各种运动过程,如人体的运动过程,用以科学地指导训练。在军事上,它可以用于环境模拟、飞行模拟、战场模拟,以训练指挥员和战斗员。

(3) 科学计算可视化。传统的科学计算结果是数据流,这种数据流不易理解,也不易检查其中的错误。科学计算的可视化通过对空间数据场构造中间几何图素或用体绘制技术在屏幕上产生二维图像,结果直观明了。近年来这种技术已广泛应用于有限元分析的后处理、分子模型构造、地震数据处理、大气科学、生物化学及医疗卫生等领域。还可以利用勘探和测量所得的数据,绘制出矿藏分布图、地理图、地形图、气象图,在微观中的电场、

电荷分布图等。

(4) 事务管理与办公自动化。计算机图形技术可以用来绘制各类信息的二维、三维图表,如统计用的直方图、扇形图、工作进程图,仓库及生产的各类统计管理图表等。这些图表可以用简明的方式提供形象化的数据和变化趋势,以增加对复杂现象的了解,并协助作出决策。

(5) 计算机辅助教学。由于计算机图形技术能生成丰富的图形,用于辅助教学,可使教学过程变得形象、直观和生动。学生通过人机交互方式进行学习,有助于提高学生的学习兴趣和注意力,增强教学效果。

计算机图形技术还有其他许多应用领域。例如:在艺术领域,可用于艺术品的设计、制作,可设计各种图案、花纹,可模拟传统的国画、书法和油画;在农业上,可模拟农作物的生长过程,从而合理地安排作物生长周期中各阶段的过程管理;在轻纺行业,不但可以进行服装的花色和式样的设计,还可以进行排料和剪裁设计;在医疗上的CT扫描成像,刑事侦破上的指纹及相貌识别、现场再现等。总之可以说,哪里有图形,哪里就可以有计算机图形学的应用。计算机图形学极大地提高了人们理解数据、分析趋势、观察现实和虚拟世界的能力。

1.1.3 计算机图形学与计算机辅助设计

计算机辅助设计是一种计算机应用技术,应用范围很广,例如机械、建筑、化工、轻工、艺术等。尽管各个行业的专业内容不同,辅助设计所包含的工作会有所差别,但其基本内容应该是相似的。为了说明这个问题,首先研究一下一般的设计过程。对于不同的设计对象,其设计方法可能有所差异。但一般说来,应先做市场调查,建立目标模型,确定初步的设计方案,绘制草图,然后进行分析评价。如果不满意,则须对方案进行修改,之后再分析,直到满意为止。国际上流行的观点是把这样的设计过程描写成一个反复迭代的过程,它包含以下6个步骤或阶段:

- 确定设计要求;
- 确立问题;
- 综合归纳;
- 解析及优化;
- 评价;
- 显示结果。

现代化的计算机辅助设计系统在设计过程中所能完成的各种设计任务主要分为4个方面:

- 几何造型;
- 工程分析与计算;
- 设计审核和评价;
- 自动绘图。

这4个方面的工作相当于上述设计过程中的后4个阶段。所以,计算机辅助设计可以承担一般设计过程中具有实质性的大量工作。而在这4个方面的工作中,其基本内容

都和图形有关,都属于计算机图形学的研究和应用范围。由此可见,在计算机辅助设计领域内要解决的问题中有许多属于计算机图形学方面的内容。

计算机图形学是计算机辅助设计的重要组成部分和核心内容。这不仅是因为各个领域内的设计工作,其最后的结果一般都要以“图”的形式来表达;更重要的是,计算机图形学中包含的三维实体造型技术,是实现先进的计算机辅助设计技术的重要基础。许多设计工作进行时,首先必须构造实体模型,然后进行各种分析、计算并修改,最终定型并输出图纸。而在早期,由于计算机图形技术还处于初级阶段,所以一些早期的或初级的辅助设计应用只能利用计算机图形技术来绘制工程图纸,而不能更深入地涉及到对设计对象进行建模、计算和分析等工作。而今,计算机图形技术已可以为辅助设计提供全方位的图形支持,可以确保设计过程按先进的方式进行。因此,正是由于计算机图形技术的发展与完善才使得计算机辅助设计在各个领域内得到了广泛深入的应用。同时,随着计算机辅助设计工作的深入,要不断解决应用中出现的新问题,从而又进一步丰富了“计算机图形学”的内容,推动了这门学科的发展。

由此可以得出下述结论:要掌握计算机辅助设计技术,首先必须掌握计算机图形技术。

1.2 计算机图形系统

计算机图形系统由计算机硬件、图形输入输出设备、计算机系统软件和图形软件所组成。

1.2.1 计算机图形系统的功能与组成

1. 计算机图形系统的功能

一个计算机图形系统起码应具有计算、存储、对话、输入、输出等5方面的基本功能。

(1) 计算功能 应包括形体设计、分析的算法程序和描述形体的数据库。其中最基本的功能应有点、线、面等基本图形元素的表示及其求交、分类、几何变换、实体模型的建立、运算及干涉检查等有关内容。

(2) 存储功能 在计算机的存储器中要能存放图形数据,尤其要能存放形体几何元素(点、线、面)之间的连接关系以及各种属性信息,并且可基于设计人员的要求对有关信息进行实时检索、变换、增加、删除、修改等操作。

(3) 对话功能 通过图形显示器可直接进行人机对话。用户通过显示屏幕观察设计的图形和结果,用选择、拾取设备(例如鼠标器)对不满意的部位作出修改指示。除了在图形屏幕上的这种对话功能外,还可以由系统追溯到以前的工作步骤,跟踪检索出错的地方,并可以对用户执行的错误操作给予必要的提示。

(4) 输入功能 能把图形设计和绘制过程中所需的有关定位、定形尺寸及必要的参数和命令输入到计算机中去。

(5) 输出功能 为了较长期地保存分析计算的结果或对话需要的图形和非图形信息,图形系统应具有文字、图形等信息的输出功能。

上述的5种功能是一个计算机图形系统所具备的最基本的功能,至于每一种功能中

具有哪些具体内容,则因不同系统而异。一个计算机图形系统的基本组成如图 1-1 所示。

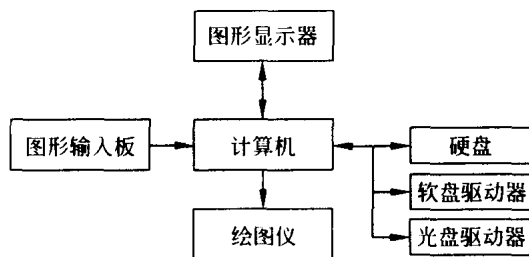


图 1-1 计算机图形系统的基本组成

2. 微机图形系统

微机图形系统是由个人计算机(PC)加上图形输入输出设备和有关的系统及图形软件组合而成的。最常见的微机图形系统的硬件组成如图 1-2 所示。

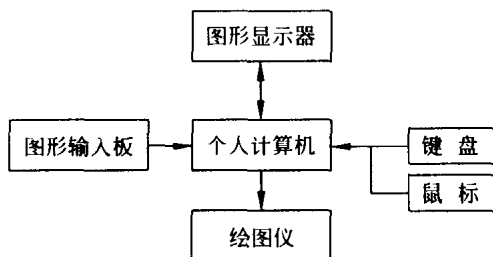


图 1-2 微机图形系统的硬件组成

微机图形系统的基本支撑软件一般有 DOS 操作系统、Windows 操作系统、程序设计语言(如 C 语言)和图形软件(如 AutoCAD)。

现在,随着个人计算机性能的不不断提高,比如运算速度大幅度加快、硬盘和内存容量的扩大、图形软件功能的完善,微机图形系统已成为市场上强有力的竞争者。

3. 图形工作站系统

20 世纪 70 年代前期和中期,流行的计算机机种是大型机和小型机,20 世纪 70 年代后期出现了超级小型机和个人计算机两个新机种,进入 20 世纪 80 年代又出现了工作站这个新机种,并很快成为流行机种之一。

图形工作站是具有高速的科学计算、丰富的图形处理、灵活的窗口及网络管理功能等特点的交互式计算机系统。它一般有如下特点:

- 具有 32 位或 64 位字长的中央处理器(CPU),一般是单 CPU,也有多 CPU 结构;
- 广泛采用精简指令(RISC)、超标量、超流水线及超长指令技术;
- 可在一个分布式的网络环境下运行,在网络的任何地方可存取信息,具有无盘节点和有盘节点的形式;
- 自带外存,常配有磁盘、光盘、磁带和软盘驱动器;
- 配有 UNIX 操作系统和窗口管理系统;
- 不仅具有字符处理功能,而且有较强的图形处理功能,图形显示器的分辨率在

1 024×900 以上,一般具有 8 个位面(可显示 256 种颜色),有的可具有 100 个位面以上;

- 运算速度在 20 百万条指令每秒和 5 百万次浮点运算每秒以上;
- 可配置功能齐全的 CAD/CAM 集成化软件(如 Pro/E、UG II 等),主要应用于工程和产品的设计与绘图、工业模拟和艺术模拟。

目前,已经商品化的工作站型号很多,而且都已采用了 RISC 技术,其中在市场上销售量较大的有:

- sun Spare 工作站。是美国 sun 微系统公司在 20 世纪 90 年代的主流产品;
- HP-PA 工作站。是美国惠普(HP)公司的精密体系结构精简指令集工作站;
- DEC Alpha 工作站。是美国 DEC 公司在 1993 年推出的产品;
- IBM RS/6000 工作站。是美国 IBM 公司的产品;
- SGI IRIS 工作站。是美国 SGI 公司的产品,由于这类工作站的图形处理能力强,所以发展速度相当快。

4. 虚拟现实系统

虚拟现实系统,又称虚拟现实环境,是指由计算机生成的一个实时三维空间。用户可以在其中“自由”地运动,随意观察周围的景物,并可通过一些特殊的设备与虚拟物体进行交互操作。在此环境中,用户看到的是全彩色的景象,听到的是虚拟环境中的声响,身体的某些部位可以感受到虚拟环境所反馈给他的作用力,由此使用户产生一种身临其境的感觉。

虚拟现实技术主要研究交互式实时三维图形在计算机环境模拟方面的应用。此项技术的研究最早开始于 20 世纪 60 年代,但由于此项技术涉及的学科面广,对实时三维计算机图形技术的要求高,国外除有少数军工单位进行研究外,几乎很少被其他人注意。直到 20 世纪 80 年代后期,由于小型液晶显示和 CRT 显示器技术、高速图形加速处理技术、多媒体技术及跟踪系统等方面的进步,以及图形并行处理、面向对象的程序设计方法的发展,虚拟现实技术的研究才开始活跃起来。尤其是近几年,虚拟现实技术的研究工作进展很快,并已在航空航天、建筑业、制造业、医疗、教育、艺术及体育等领域得到了初步应用。

虚拟现实系统除了具有通常高性能计算机系统的硬件和软件外,还必须对下列关键技术提供强有力的支持:

- 能以实时的速度生成具有真实感的三维景物图形;
- 能高精度地实时跟踪用户的头 and 手;
- 头戴显示器能产生高分辨率的图形和较大的视角;
- 能对用户的动作产生力学反馈。

1.2.2 图形设备

图形设备一般可分为图形输入设备和图形输出设备两种。

1. 图形输入设备

图形输入设备从逻辑上分为 6 种,如表 1-1 所示。