



21 世纪大学本科
计算机专业系列教材

杨钦 徐永安 翟红英 编著

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

计算机图形学

- 根据教育部高教司主持评审的《中国计算机科学与技术学科教程 2002》组织编写
- 与美国 ACM 和 IEEE/CS *Computing Curricula 2001* 同步

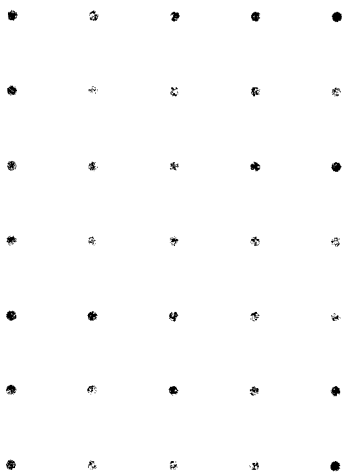


清华大学出版社

1世纪大学本科计算机专业系列教材

计算机图形学

杨钦 徐永安 翟红英 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书全面介绍计算机图形学的系统组成、图形生成与显示算法以及交互实现技术。主要包括：计算机图形系统、基本光栅图形生成技术、图形变换、交互绘图技术、真实感图形的生成技术、曲线与曲面、几何建模以及与计算机图形学相关的研究领域。本书的特点是取材精炼，注重算法与实现相结合，便于读者用较少的时间精力全面地掌握计算机图形学的主要内容。本书将计算机图形学的基本理论、算法与 OpenGL 技术有机结合，可以加深读者对基本理论、算法的理解，并且有利于读者牢固地掌握 OpenGL 技术。本书强调图形交互技术，介绍了基于 Windows 操作系统的 Visual C++ 图形程序开发平台和 OpenGL 技术的实现，增加了学习的趣味性，有助于读者进行图形学实验，为读者今后在学习和工作中应用图形学技术开发应用系统打下坚实的基础。

本书适合作为高等学校计算机图形学的教学用书，对从事 CAD 和 CG 研究、应用和开发的广大科技人员也有较高的参考价值。

版权所有，翻印必究。举报电话：010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

本书防伪标签采用清华大学核研院专有核径迹膜防伪技术，用户可通过在图案表面涂抹清水，图案消失，水干后图案复现；或将表面膜揭下，放在白纸上用彩笔涂抹，图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

计算机图形学/杨钦,徐永安,翟红英编著. —北京:清华大学出版社,2005.3

(21 世纪大学本科计算机专业系列教材)

ISBN 7-302-10434-4

I. 计… II. ①杨… ②徐… ③翟… 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(2005)第 008527 号

出 版 者：清华大学出版社

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

社 总 机：010-62770175

地 址：北京清华大学学研大厦

邮 编：100084

客户服务：010-62776969

责任编辑：张瑞庆

印 装 者：北京嘉实印刷有限公司

发 行 者：新华书店总店北京发行所

开 本：185×230 印 张：16.75 字 数：358 千字

版 次：2005 年 3 月第 1 版 2005 年 3 月第 1 次印刷

书 号：ISBN 7-302-10434-4/TP·7086

印 数：1~5000

定 价：22.00 元

21 世纪大学本科计算机专业系列教材编委会

名誉主任：陈火旺

主 任：李晓明

副 主 任：钱德沛 焦金生

委 员：（按姓氏笔画为序）

马殿富	王志英	王晓东	宁 洪	刘 辰
孙茂松	李大友	李仲麟	吴朝晖	何炎祥
宋方敏	张大方	张长海	周兴社	侯文永
袁开榜	钱乐秋	黄国兴	蒋宗礼	曾 明
廖明宏	樊孝忠			

秘 书：张瑞庆

本书责任编辑：马殿富

21 世纪是知识经济的时代,是人才竞争的时代。随着 21 世纪的到来,人类已步入信息社会,信息产业正成为全球经济的主导产业。计算机科学与技术信息产业中占据了最重要的地位,这就对培养 21 世纪高素质创新型计算机专业人才提出了迫切的要求。

为了培养高素质创新型人才,必须建立高水平的教学计划和课程体系。在 20 多年跟踪分析 ACM 和 IEEE 计算机课程体系的基础上,紧跟计算机科学与技术的发展潮流,及时制定并修正教学计划和课程体系是尤其重要的。计算机科学与技术的发展对高水平人才的要求,需要我们从总体上优化课程结构,精炼教学内容,拓宽专业基础,加强教学实践,特别注重综合素质的培养,形成“基础课程精深,专业课程宽新”的格局。

为了适应计算机科学与技术学科发展和计算机教学计划的需要,要采取多种措施鼓励长期从事计算机教学和科技前沿研究的专家教授积极参与计算机专业教材的编著和更新,在教材中及时反映学科前沿的研究成果与发展趋势,以高水平的科研促进教材建设。同时适当引进国外先进的原版教材。

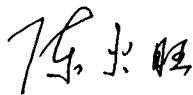
为了提高教学质量,需要不断改革教学方法与手段,倡导因材施教,强调知识的总结、梳理、推演和挖掘,通过加快教案的不断更新,使学生掌握教材中未及时反映的学科发展新动向,进一步拓广视野。教学与科研相结合是培养学生实践能力的有效途径。高水平的科研可以为教学提供最先进的高新技术平台和创造性的工作环境,使学生得以接触最先进的计算机理论、技术和环境。高水平的科研还可以为高水平人才的素质教育提供良好的物质基础。学生在课题研究中不但能了解科学研究的艰辛和科研工作者的奉献精神,而且能熏陶和培养良好的科研作风,锻炼和培养攻关能力和协作精神。

进入 21 世纪,我国高等教育进入了前所未有的大发展时期,时代的进步与发展对高等教育质量提出了更高、更新的要求。2001 年 8 月,教育部颁发了《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》。文件指出,本科教育是高等教育的主体和基础,抓好本科教学是提高整个高等教育质量的重点和关键。随着高等教育的普及和高等学校的扩招,在校大学本科计算机专业学生的人数将大量上升,对适合 21 世纪大学本科计算机科学与技术学科课程体系要求的,并且适合中国学生学习的计算机专业教材的需求量

也将急剧增加。为此,中国计算机学会和清华大学出版社共同规划了面向全国高等院校计算机专业本科生的“21 世纪大学本科计算机专业系列教材”。本系列教材借鉴美国 ACM 和 IEEE/CS 最新制定的 *Computing Curricula 2001* (简称 CC2001) 课程体系,反映当代计算机科学与技术学科水平和计算机科学技术的新发展、新技术,并且结合中国计算机教育改革成果和中国国情。

中国计算机学会教育专业委员会和全国高等学校计算机教育研究会,在清华大学出版社的大力支持下,跟踪分析 CC2001,并结合中国计算机科学与技术学科的发展现状和计算机教育的改革成果,研究出了《中国计算机科学与技术学科教程 2002》(China Computing Curricula 2002,简称 CCC2002),该项研究成果对中国高等学校计算机科学与技术学科教育的改革和发展具有重要的参考价值和积极的推动作用。

“21 世纪大学本科计算机专业系列教材”正是借鉴美国 ACM 和 IEEE/CS CC2001 课程体系,依据 CCC2002 基本要求组织编写的计算机专业教材。相信通过这套教材的编写和出版,能够在内容和形式上显著地提高我国计算机专业教材的整体水平,继而提高我国大学本科计算机专业的教学质量,培养出符合时代发展要求的具有较强国际竞争力的高素质创新型计算机人才。



中国工程院院士

国防科学技术大学教授

21 世纪大学本科计算机专业系列教材编委会名誉主任

2002 年 7 月

前言

FOREWORD

图形是一种重要的信息表达和传递方式。与语言、文字、数字相比,用图形表达信息更直观、更丰富。诞生于 20 世纪 60 年代的计算机图形学是研究如何使用计算机生成图形的一门学科。随着计算机软硬件的不断发展,尤其在 20 世纪 80 年代以后,计算机图形学快速发展,计算机能够表达的图形越来越丰富,从二维图形到三维实体,从静态图片到实时动画,从线框图到真实感显示,从产品设计、工程分析到动画、广告、影视艺术,计算机图形学在众多领域得到应用,而且在应用过程中与其他学科相结合,产生了很多新兴的学科,如 CAD/CAM/CAE、可视化、动画、仿真、虚拟现实等,计算机图形学在现代社会生活中发挥着越来越重要的作用。

本书作者自 1994 年开始从事计算机图形学的教学和科研工作,从计算机图形学发展和应用研究两个方面系统地总结了 10 多年的教学和科研体验,写成此书。

本书共分 9 章。第 1 章为绪论,介绍计算机图形学的发展历史、研究内容和应用领域;第 2 章是计算机图形系统,概述计算机图形系统的软硬件发展,介绍 Windows 操作系统下的图形程序开发方法和 OpenGL 绘图程序;第 3 章是基本光栅图形生成技术,概述基本光栅图形生成方法,重点介绍目前应用较多的经典方法,并且给出 Visual C++ 和 OpenGL 生成基本图形的实现;第 4 章是图形变换,在叙述几何变换和坐标变换的概念和作用的基础上,详细介绍交互绘图过程中的显示变换、OpenGL 坐标变换机制、线段裁剪和多边形裁剪;第 5 章是交互绘图技术,介绍 Windows、MFC、OpenGL 对交互绘图的支持与实现;第 6 章是真实感图形的生成技术,概述真实感图形生成方法的发展,介绍消隐、光照、纹理映射、阴影生成、反走样技术,用 OpenGL 生成真实感图形;第 7 章是曲线与曲面,分析曲线、曲面生成方法的发展,重点介绍当前实用图形系统中常用的曲线曲面生成方法,用 OpenGL 生成 NURBS 曲线和曲面;第 8 章是几何建模,介绍当前实用造型系统中常用的三维建模方法;第 9 章是计算机图形学相关的研究领域,介绍 CAD/CAM、计算机动画、可视化、虚拟现实、逆向工程等新兴学科的发展。

本书具有如下特点:

- (1) 精选内容、突出主线

计算机图形学在 40 年的发展过程中不断地推陈出新,为适应教学需求,增添成熟的新内容,并介绍最新的发展方向,使学生能够用有限的时间和精力系统准确地了解计算机图形系统、基本原理、应用和发展方向。

(2) 强调交互技术

交互绘图是图形应用系统的重要环节,是计算机图形学的重要内容。本书加强这一部分内容不仅有助于学生进行计算机图形学实验,而且为开发专业图形应用系统提供基础。

(3) 强调 OpenGL,注重实验

图形学的理论和算法比较艰深和难懂,但实验结果却可以非常直观和生动。本书介绍了 Windows 操作系统下图形程序开发环境和 OpenGL,提供一套在教学中多次使用的实验图形平台,让学生在这个平台上完成计算机图形学的实验。同时通过 OpenGL 生成和显示图形,进一步加深学生对计算机图形学的概念、原理和算法的理解,起到事半功倍的效果。OpenGL 是独立于硬件设备、窗口系统和操作系统的图形标准,以 OpenGL 为基础开发的应用程序可以在各种平台间移植。学会使用 OpenGL 可以为今后开发图形应用系统打下基础。

本书由杨钦制定详细的编写大纲和写作要求。第 1 章由徐永安与翟红英共同撰写;第 2 章由翟红英撰写;第 3 章由朱大培撰写;第 4、8 章由陶海燕撰写;第 5 章由宫法明撰写;第 6 章由李吉刚撰写;第 7 章由徐永安撰写;第 9 章由徐永安、蔡强撰写。全书由杨钦、徐永安和翟红英统稿,杨钦最后修改定稿。

本书在编写过程中得到了北京航空航天大学马殿富教授、陈其明教授、葛本修教授的指导和大力支持。北京航空航天大学计算机学院计算机图形学研究室的博士研究生程丹和硕士研究生金宇林等在本书的统稿和审校过程中也做了许多工作。在此表示衷心的感谢!

由于作者水平有限,书中难免有错误及不当之处,恳请读者批评指正。

作 者

2005 年 1 月

第 1 章 绪论	1
1.1 计算机图形学的发展历史	1
1.1.1 起源	1
1.1.2 计算机图形学硬件设备的发展	2
1.1.3 计算机图形学算法研究的发展	3
1.2 计算机图形学的研究内容	5
1.3 计算机图形学的应用领域	5
习题	7
第 2 章 计算机图形系统	8
2.1 计算机图形系统概述	8
2.1.1 计算机图形外部设备	8
2.1.2 计算机图形软件	10
2.1.3 图形标准	14
2.2 Windows 操作系统下图形程序开发方法介绍	16
2.2.1 Windows 应用程序执行模式	16
2.2.2 基本的 Windows 应用程序	17
2.2.3 Windows 图形环境介绍	18
2.2.4 Windows 图形程序开发方法	20
2.3 OpenGL 介绍	21
2.3.1 OpenGL 的背景情况	21
2.3.2 OpenGL 的主要功能	21
2.3.3 OpenGL 的绘制流程和原理	22
2.3.4 使用 Visual C++ 开发 OpenGL 绘图程序的基本方法	23
2.3.5 OpenGL 的缓冲区	26

习题	28
第 3 章 基本光栅图形生成技术	29
3.1 光栅图形学概述	29
3.2 线的生成算法	29
3.2.1 直线的生成算法	29
3.2.2 圆弧的生成算法	34
3.3 区域的填充	39
3.3.1 扫描线算法	39
3.3.2 种子填充算法	43
3.3.3 区域图案填充算法	47
3.4 文字的生成	47
3.4.1 点阵字符	48
3.4.2 矢量字符	48
3.5 用 Visual C++ 生成基本图形	49
3.5.1 图形设备接口	49
3.5.2 Visual C++ 绘图方法	50
3.6 用 OpenGL 生成基本图形	61
3.6.1 用 OpenGL 生成点	62
3.6.2 用 OpenGL 生成直线	62
3.6.3 用 OpenGL 生成区域图形	64
3.6.4 用 OpenGL 生成字符	70
3.6.5 OpenGL 的颜色缓冲区	73
习题	75
第 4 章 图形变换	76
4.1 几何变换	76
4.1.1 几何变换的概念和作用	76
4.1.2 基本几何变换	76
4.1.3 组合几何变换与齐次坐标	79
4.2 坐标变换	84
4.2.1 坐标变换的概念与作用	84
4.2.2 基本坐标变换方法	84
4.2.3 齐次坐标下的坐标变换方法	85



4.3	几何变换与坐标变换的关系	86
4.4	显示变换	88
4.4.1	如何将图形显示到窗口中	88
4.4.2	窗口到视区的变换	88
4.4.3	透视投影变换	89
4.4.4	平行投影变换	91
4.4.5	视坐标系与视变换	92
4.4.6	窗口到三维空间的变换	93
4.5	裁剪	95
4.5.1	裁剪的概念与作用	95
4.5.2	线段的裁剪	98
4.5.3	多边形裁剪	102
4.6	OpenGL 坐标变换机制	105
4.6.1	OpenGL 中与变换有关的数据结构	105
4.6.2	OpenGL 中的 ModelView 变换机制	106
4.6.3	OpenGL 中的 Model 变换使用方法	107
4.6.4	OpenGL 中的 View 变换使用方法	107
4.6.5	OpenGL 的投影	108
4.6.6	OpenGL 的深度缓冲区	109
4.6.7	OpenGL 中的反变换	110
	习题	111
第 5 章	交互绘图技术	112
5.1	窗口系统、事件驱动模式	112
5.1.1	窗口	112
5.1.2	事件驱动模式	112
5.1.3	Windows 下基于消息的事件驱动编程	113
5.1.4	MFC 中的事件驱动编程	114
5.1.5	状态与事件结合程序控制模式	115
5.2	交互式的显示控制技术	120
5.2.1	场景充满窗口(FitWindow)的控制方法	120
5.2.2	旋转操作的交互控制方法	121
5.2.3	平移操作的交互控制方法	123
5.2.4	缩放操作的交互控制方法	124

5.3	交互式的图形生成技术	125
5.3.1	交互式绘图概述	125
5.3.2	坐标的输入技术	126
5.3.3	橡皮筋技术	126
5.4	交互式的图形编辑技术	127
5.4.1	交互式图形编辑的基本方法	128
5.4.2	图形元素拾取技术	128
5.5	OpenGL 对图形交互的支持	131
5.5.1	用 OpenGL 的反向坐标变换实现三维坐标输入	131
5.5.2	用 OpenGL 缓冲区技术实现橡皮筋功能	133
5.5.3	OpenGL 中的选择机制介绍	137
	习题	139

第 6 章 真实感图形的生成技术 141

6.1	消隐技术	142
6.1.1	消隐技术的综合介绍	142
6.1.2	多面体隐藏线消除	143
6.1.3	Z 缓冲器消隐算法	147
6.2	光照技术	148
6.2.1	简单光照模型	148
6.2.2	光线跟踪与辐射度方法介绍	153
6.3	物体表面细节的模拟	157
6.3.1	颜色纹理映射技术	157
6.3.2	几何纹理映射技术	161
6.3.3	环境映射技术	163
6.4	阴影的生成	163
6.4.1	影域多边形方法	164
6.4.2	Z 缓冲方法	165
6.5	图形反走样技术	166
6.6	用 OpenGL 生成真实感图形	167
6.6.1	OpenGL 的光照环境设置方法	170
6.6.2	OpenGL 的物体材料特性的设置	172
6.6.3	OpenGL 的纹理映射方法	173
	习题	177

第 7 章 曲线与曲面	178
7.1 曲线曲面入门	179
7.1.1 曲线、曲面的表示形式	179
7.1.2 曲线曲面的光滑连接	181
7.2 三次样条曲线曲面	182
7.2.1 三次样条函数	182
7.2.2 三次样条曲线	187
7.2.3 三次样条曲面	188
7.3 Bézier 曲线和曲面	188
7.3.1 Bézier 曲线	188
7.3.2 Bézier 曲面	190
7.4 B 样条曲线和曲面	193
7.4.1 均匀 B 样条曲线	193
7.4.2 均匀 B 样条曲面	195
7.5 非均匀有理 B 样条曲线曲面	197
7.5.1 非均匀 B 样条曲线曲面	197
7.5.2 有理 B 样条曲线	202
7.5.3 非均匀有理 B 样条曲线曲面	203
7.6 用 OpenGL 生成曲线和曲面	204
7.6.1 用 OpenGL 生成 NURBS 曲线	204
7.6.2 用 OpenGL 生成 NURBS 曲面	205
7.6.3 用 OpenGL 生成裁剪 NURBS 曲面	208
习题	210
第 8 章 几何建模	211
8.1 概述	211
8.2 体素构造表示法	212
8.2.1 基本体素	212
8.2.2 正则集合运算	212
8.2.3 物体的 CSG 树表示	214
8.3 边界表示法	214
8.3.1 物体的边界表示法	214
8.3.2 非流形结构的边界表示法	216
8.4 其他表示方法	218

8.4.1	扫描法	218
8.4.2	立方体网格模型	218
8.4.3	八叉树模型	219
8.4.4	四面体网格模型	220
8.5	几何建模方法的应用与发展	221
	习题	221

第9章 计算机图形学相关的研究领域 222

9.1	计算机辅助设计与制造	222
9.1.1	概述	222
9.1.2	CAD/CAM 系统的组成与功能	223
9.1.3	CAD/CAM 技术的研究热点	223
9.1.4	应用实例	225
9.2	计算机动画	226
9.2.1	概述	226
9.2.2	分类	228
9.2.3	双缓存实现帧动画	230
9.3	可视化	230
9.3.1	可视化发展历程	230
9.3.2	可视化的研究内容	232
9.3.3	可视化方法	233
9.3.4	可视化应用	234
9.4	虚拟现实	237
9.4.1	概论	237
9.4.2	虚拟现实技术的原理与特征	238
9.4.3	虚拟现实系统的组成	238
9.4.4	仿真、多媒体与虚拟现实之间的关系	241
9.4.5	虚拟现实技术应用	243
9.5	逆向工程	244
9.5.1	概述	244
9.5.2	逆向工程的核心	245
9.5.3	逆向工程的应用	247
	习题	250

参考文献 251

第 1 章

绪 论

图形是一种重要的信息表达和传递方式。从古老的象形文字、各种绘画作品到近代的卡通、动画以及现代的影视作品,从艺术作品到工程图纸,图形在人类社会的生活与工作中无处不在。与语言、文字、数字相比,图形表达信息更直观、更丰富,具有语言文字无法比拟的优势。诞生于 20 世纪 60 年代的计算机图形学(computer graphics,CG)是研究如何使用计算机生成图形的一门学科。随着计算机软硬件的不断发展,尤其 20 世纪 80 年代以后,计算机图形学快速发展,计算机能够表达的图形越来越丰富,从二维图形到三维实体,从静态图片到实时动画,从线框图到真实感显示,计算机图形学从产品设计、工程分析到动画、广告、影视艺术在众多领域得到应用。在应用过程中计算机图形学与其他学科相结合,产生了很多新兴的学科,如 CAD/CAM/CAE、可视化、动画、仿真和虚拟现实等。计算机图形学在现代社会生活中发挥着越来越重要的作用。

本章概述了计算机图形学的发展历史、研究内容以及应用领域,使读者对这门学科有较为全面的了解。

1.1 计算机图形学的发展历史

1.1.1 起源

computer graphics (计算机图形学)最早是美国麻省理工学院的 Ivan E. Sutherland 于 1963 年在他的博士论文“Sketchpad:一个人-机通信的图形系统”中首次提出。此前麻省理工学院于 1950 年采用了类似示波器的 CRT 研制了第一台图形显示器,1958 年 Calcomp 公司将数字记录仪发展成滚筒式绘图仪,GerBer 公司基于数控机床研制出平板式绘图仪。这些工作为计算机图形学的诞生奠定了硬件基础。Ivan E. Sutherland 在 Sketchpad 系统中实现了用光笔在图形显示器上选择、定位等交互功能,是交互式计算机图形学的开端,他本人被世人公认为“计算机图形学之父”。图 1-1 所示为 Ivan E. Sutherland 操纵 Sketchpad 系统。

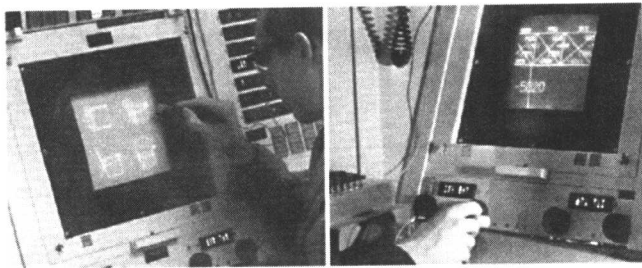


图 1-1 Ivan E. Sutherland 操纵 Sketchpad 系统

一个完整的计算机图形系统包括硬件和软件两部分。硬件部分涉及图形输入、处理、显示、存储和输出等设备,软件部分涉及图形生成、显示、处理算法以及图形数据存储、交换的格式等。自 20 世纪 60 年代计算机图形学诞生至今,计算机图形学的软硬件一直在发展、更新。

1.1.2 计算机图形学硬件设备的发展

计算机图形学最基本的硬件是计算机,20 世纪 60~70 年代计算机速度、容量虽然发展很快,但用于处理、存储图形仍显不足,且价格昂贵,计算机图形学的研究与应用仅限于少数条件优越的企业、高校以及科研机构的实验室。20 世纪 80 年代以后,计算机速度和容量飞速发展,至今 CPU 速度已达万亿次/秒,容量达到了千兆,价格不断下降,计算机不仅在企业中使用,而且走进了千家万户,目前计算机的速度和容量为动态、复杂对象的图形表达奠定了一定的基础,但要生成、处理实时动态的高逼真度复杂对象,仍需更高速度和更大容量的计算机。

图形显示器是计算机图形学中的关键设备。20 世纪 60 年代中期较早出现的随机扫描显示器(也称矢量显示器)具有较高的分辨率和对比度,但为了避免图形闪烁,需要以 30 次/秒的频率不断刷新屏幕上的图形,且价格昂贵,难以普及。20 世纪 60 年代后期研制出了存储管式显示器,它不需要缓存和刷新功能,价格低廉,缺点是不具有动态显示修改图形的功能,不适合交互式图形生成技术的发展。20 世纪 70 年代初很快又出现了基于电视技术的光栅扫描显示器,它是一个画点设备。光栅扫描显示器技术一直在发展、改进,能够显示的颜色非常丰富,至今仍是主流的图形显示器。

近年来,液晶显示器和等离子显示器开始普及,这两类显示器轻便、易于携带,但目前在价位和色彩方面稍逊于光栅扫描显示器。未来将出现分辨率更高、色彩丰富、轻便、可折叠式的显示器。图 1-2 是 SAMSUNG 液晶显示器。

交互式计算机图形学另一部分重要的设备是输入输出设备。输入设备最基本的作用就是将各种形式的信息转换成适合计算机处理的形式。图形输入设备从逻辑上分为 6 种

功能,即定位(locator)、笔画(stroke)、数值(valuator)、选择(choice)、拾取(pick)及字符串(string),也可称为6种逻辑交互设备,一种逻辑交互设备对应一种或一类图形输入设备,而实际的图形输入设备是某些逻辑输入功能的组合。早期的纸带输入机是计算机发展初期惟一的输入设备,是通过读出穿孔纸带上的信息并把信息输入计算机,但它不具备交互性。随后出现了二维交互式输入设备,如人们所熟悉的键盘、鼠标,还有图形输入板、扫描仪、光笔、游戏杆、跟踪球、触摸屏和语音系统等,主要完成定位、拾取和坐标输入等功能。三维交互式输入设备包括空间球、数据手套、数据衣、数据鞋以及头盔、立体眼镜等,用于虚拟现实系统中。未来的输入设备的发展将使人与计算机更加融合,人的语音、手势、身体语言甚至是面部表情都可以被计算机所识别和输入。

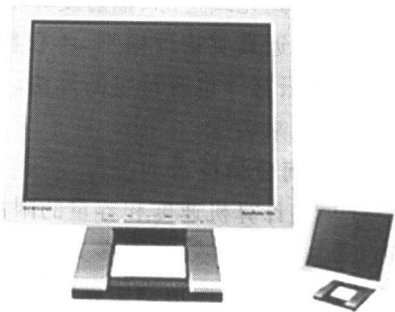


图 1-2 SAMSUNG 液晶显示器

图形的输出设备主要有打印机和绘图仪两种。目前常用的打印机有喷墨打印机和激光打印机,喷墨打印机比较便宜,激光打印机出图质量较高。绘图仪有滚筒式和平板式,按工作原理分有笔式和喷墨等,绘图仪的主要性能指标有最大绘图幅面、绘图速度和精度。

总体上,除特定用途,计算机图形系统的硬件设备发展基本成熟,能够满足实际应用中的大部分需求,可依据特定工作要求,选择相应的硬件设备。随着计算机图形学的不断发展,未来将有更多的硬件设备用于图形的采集、显示和输出,如逆向工程中的三维形状数字化仪以及三维打印设备等。

1.1.3 计算机图形学算法研究的发展

计算机图形学算法主要研究物理模型或假想模型在计算机中的表达、显示,大体有以下几个方面。

1. 光栅扫描图形的生成

主要包括基本图元的生成,如直线、圆、圆弧、椭圆等算法研究,其中有著名的Bresenham算法及大量的改进算法;多边形填充、裁剪等也是光栅扫描图形的基本算法。目前这些算法经过反复修改,都已经有高效率的成熟算法。

2. 图形变换

主要是几何变换和投影知识在计算机图形学领域的应用。

3. 真实感图形生成

如何提高计算机表达物理模型的逼真度一直是计算机图形学的研究热点和难点,从