

普通高等院校计算机类专业系列教材

Computer Graphics
计算机图形学

张义宽 主 编
张晓滨 副主编
耿楠 任民宏 石争浩 参 编



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>



普通高等院校计算机类专业系列教材

计算机图形学

Computer Graphics

主 编 张义宽

副主编 张晓滨

参 编 耿 楠 任民宏 石争浩

西安电子科技大学出版社

2004

内 容 简 介

本书是为适应高等院校计算机科学与技术和其它信息类专业本科生学习“计算机图形学”课程的需要而编写的教材。书中系统地介绍了计算机图形学的基本理论、典型方法和实用技术,反映了国内外计算机图形学领域的最新成果,同时给出了主要方法和技术实现的 C++ 程序。全书共分 9 章,第 1 章介绍了计算机图形学的基本概念、应用、历史和发展动态;第 2 章介绍了交互式图形系统及其硬件;第 3~7 章分别介绍了基本图形元素生成算法、自由曲线和曲面、图形变换及应用、几何造型、立体真实感图形显示等;第 8 章介绍了交互技术、用户接口以及 OpenGL;第 9 章介绍了交互式图形系统的设计并给出了一个简单的交互式图形系统的实例。

本书系统完整、简明实用、理论与实践并重,着力于学生素质的培养与应用能力的提高,也可供研究生及相关专业技术人员参考。

★ 本书配有电子教案,有需要的教师可与出版社联系,免费提供。

图书在版编目(CIP)数据

计算机图形学=Computer Graphics/张义宽主编.

—西安:西安电子科技大学出版社,2004.7

(普通高等院校计算机类专业系列教材)

ISBN 7-5606-1386-1

I. 计… II. 张… 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(2004)第 031401 号

策 划 马武装

责任编辑 吴 奎 马武装

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

<http://www.xduph.com> E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安文化彩印厂

版 次 2004 年 7 月第 1 版 2004 年 7 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 18.875

字 数 444 千字

印 数 1~4 000 册

定 价 20.00 元

ISBN 7-5606-1386-1/TP·0737(课)

XDUP 1657001-1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

计算机图形学是关于利用计算机及其相关图形设备输入、表示、生成、存储、处理、显示和输出图形的理论、算法、技术及系统的一门综合性学科。计算机图形学自 20 世纪 60 年代诞生以来,已经成为计算机科学技术中应用十分广泛、理论和方法及技术都很成熟的一门学科。目前,计算机图形学及其系统已经成为快速、经济地生成和显示图形或图像的强大而实用的工具,它所涉及的领域遍及科学、工业、工程、航空、航天、商业、政府部门、医学、教育和培训、艺术、广告及娱乐等行业。从 20 世纪 80 年代初开始,国际上著名大学纷纷为本科生和研究生开设“计算机图形学”课程。现在,我国几乎所有的高等学校都已经开设了“计算机图形学”课程,为计算机图形学研究领域培养了大批人才,也使得计算机图形学在我国得以迅速发展。为了更好地适应信息化、数字化社会的需要,实现素质教育的目标,培养工程技术型人才,作者参照全国高校计算机专业教学指导委员会和中国计算机学会教育委员会制定的《计算机科学教学计划 2000》以及美国 IEEE 和 ACM 的《计算机科学教学计划 2001》,结合多年的教学和研究实践,并且参考国内外多部最新版本的教材,编写了这本书。

本书共 9 章,内容包括计算机图形学概述、交互式图形系统、基本图形元素生成算法、自由曲线和曲面、图形变换及应用、几何造型、立体真实感图形显示、交互技术与用户接口以及 OpenGL、交互式图形系统的设计与实现,并给出一个简单的交互式图形系统的实例。本书具有以下特色:

(1) 系统完整,内容新颖。从交互式图形系统的整体框架结构出发,系统、完整地介绍了计算机图形学的基本理论、算法、技术、系统设计与实现以及一些新技术,为进一步学习与应用该学科的知识打下良好基础。

(2) 简明实用,重点突出。内容力求简明扼要,由浅入深,注重基本概念、原理、思想和算法及其实现,重点突出。

(3) 理论与实践并重。在介绍计算机图形学基本内容的同时,给出了一些算法实现的 VC++ 程序和演示程序,不但使学生能深刻理解所学内容,而且引导学生自己动手构造和实现算法。

(4) 着力于计算机图形学素质的培养与应用能力的提高。书中给出一些用 VC++ 编程实现的实例以及构造交互式图形系统的例子,以帮助提高学生运用所学知识,分析、解决实际问题的动手能力。

(5) 附有习题。每章后都配有一定量的习题,帮助读者理解、巩固所学知识。

本书打 * 号的部分为选学内容。

本书第 1、5 章由张义宽编写,第 7 章由张晓滨编写,第 2、8 章以及附录由耿楠编写,第 3、4 章由任民宏编写,第 6、9 章由石争浩编写。全书由张义宽统稿。郭怀珍参加了部分文字的录入以及校对工作,在此表示感谢。

本书在编写和出版过程中,得到了陕西省计算机教育学会及西安电子科技大学出版社

有关领导和同志的关怀和大力支持，出版社马乐惠和马武装同志为本书的出版付出了辛勤的劳动，在此表示衷心的感谢！

计算机图形学是一门发展很快的综合性学科，本书参考了大量书籍、资料和网站，同时也融入了作者在教学和科研中的经验。由于作者水平有限，书中谬误之处在所难免，殷切希望读者不吝赐教。

作 者

2004 年 3 月

目 录

第 1 章 计算机图形学概述	1	3.1.1 DDA 算法	47
1.1 计算机图形学及其研究内容	1	3.1.2 中点画线法	48
1.1.1 计算机图形学	1	3.1.3 Bresenham 算法	50
1.1.2 计算机图形学的主要研究内容	5	3.2 圆和椭圆的扫描转换	51
1.2 计算机图形学的相关领域和学科	7	3.2.1 圆的扫描转换	51
1.3 计算机图形学的发展	8	3.2.2 椭圆的扫描转换	56
1.3.1 计算机图形学的发展简史	8	3.3 区域填充	58
1.3.2 硬件设备的发展	9	3.3.1 多边形区域填充	58
1.3.3 图形软件的发展及软件 标准的形成	10	3.3.2 边填充算法	61
1.3.3 种子填充算法	62	3.4 字符的生成	64
1.4 计算机图形学的主要应用领域	11	3.4.1 字符生成的方法	64
1.5 计算机图形学当前的研究动态	20	3.4.2 点阵字符	65
1.5.1 真实感图形显示	20	3.5 图形裁剪	67
1.5.2 人机交互技术	22	3.5.1 直线段裁剪	67
1.5.3 计算机动画	22	3.5.2 多边形裁剪	72
1.5.4 与计算机网络技术的结合	24	3.6 属性控制	73
1.5.5 科学计算可视化	24	3.6.1 线型与线宽	73
1.5.6 虚拟现实	26	3.6.2 字符属性	75
1.5.7 地理信息系统	27	3.6.3 区域填充属性	75
1.5.8 并行图形处理	28	3.7 反走样	76
1.5.9 图形图像技术的融合	28	3.7.1 过取样	76
习题	28	3.7.2 简单的区域取样	77
第 2 章 交互式图形系统	30	3.7.3 加权区域取样	78
2.1 交互式图形系统及其组成	30	习题	81
2.2 图形输入/输出设备	31	第 4 章 曲线和曲面	82
2.2.1 图形输入设备	31	4.1 曲线和曲面的基础知识	82
2.2.2 图形绘制设备	37	4.1.1 曲线及其参数表示	82
2.3 图形显示设备	38	4.1.2 曲面及其参数表示	89
2.3.1 阴极射线管(CRT)	38	4.2 常用参数曲线	93
2.3.2 彩色 CRT	39	4.2.1 Bézier 曲线	93
2.3.3 随机扫描式图形显示器	41	4.2.2 B 样条曲线	99
2.3.4 光栅扫描式图形显示器	41	4.2.3 其它曲线	106
2.3.5 液晶显示器	43	4.3 常用参数曲面	108
2.3.6 显示适配器	45	4.3.1 Coons 曲面	108
习题	46	4.3.2 Bézier 曲面	109
第 3 章 基本图形元素生成算法	47	4.3.3 B 样条曲面	110
3.1 直线的扫描转换	47		

4.3.4 非均匀有理 B 样条(NURBS) 曲面	110	第 6 章 几何造型	174
习题	112	6.1 形体在计算机中的表示	174
第 5 章 图形变换	113	6.1.1 几何模型	174
5.1 图形变换基础	114	6.1.2 形体表示	176
5.1.1 齐次坐标	114	6.2 边界表示	180
5.1.2 坐标系	117	6.2.1 三维形体的曲面模型	180
5.2 二维图形变换	119	6.2.2 形体的边界表示	180
5.2.1 二维图形几何变换的矩阵	119	6.2.3 欧拉操作	182
5.2.2 二维图形的基本几何变换	120	6.2.4 集合运算	183
5.2.3 平面图形的复合变换 (级联变换)	126	6.3 其它造型方法	185
5.2.4 平面图形变换举例	127	6.3.1 参数化造型	185
5.3 三维图形变换	128	6.3.2 特征造型	187
5.3.1 三维平移变换	128	6.3.3 分数维(Fractal)造型	188
5.3.2 三维比例变换	129	6.3.4 粒子系统	189
5.3.3 三维反射变换	131	6.3.5 从二维正投影图构造三维形体	189
5.3.4 三维错切变换	132	习题	190
5.3.5 三维旋转变换	133	第 7 章 立体真实感图形	191
5.3.6 三维复合变换	135	7.1 消除隐藏线	191
5.3.7 三维图形变换程序实例	137	7.1.1 概述	191
5.4 窗口—视区变换	138	7.1.2 凸多面体的隐藏线消除	192
5.4.1 基本概念	138	7.1.3 凹多面体的隐藏线消除	196
5.4.2 窗口—视区变换	139	7.2 消除隐藏面	197
5.4.3 窗口—规格化设备坐标—视区 变换	142	7.2.1 画家算法	197
5.4.4 窗口到视区的变换过程	143	7.2.2 Z 缓冲区(Z-Buffer)算法	199
5.5 正投影三视图变换	144	7.2.3 扫描线 Z-Buffer 算法	203
5.5.1 投影变换及其分类	144	7.2.4 区间扫描线算法	205
5.5.2 三视图变换	145	7.2.5 区域采样(Warnock)算法	206
5.5.3 三视图变换的实例	147	7.2.6 光线投射算法	208
5.6 轴测投影变换	148	7.3 光照明模型	209
5.6.1 正轴测投影	148	7.3.1 光照明模型的基础知识	209
5.6.2 斜轴测投影	150	7.3.2 Phong 光照明模型	210
5.7 透视投影与视图变换	151	7.3.3 增量式光照明模型	212
5.7.1 透视投影	151	* 7.3.4 局部光照明模型	214
5.7.2 视图变换	154	* 7.3.5 光透射模型	217
5.7.3 视图变换举例	161	* 7.4 颜色模型	221
5.8 参数图形的几何变换	164	7.4.1 色度图	221
5.8.1 圆锥曲线的几何变换	164	7.4.2 常用的颜色模型	225
5.8.2 参数曲线、曲面的几何变换	165	7.4.3 颜色的选择插值和复制	230
5.9 图形变换实例	168	* 7.5 纹理	232
习题	171	7.5.1 纹理的定义	232
		7.5.2 纹理映射	232
		7.6 科学计算可视化	234
		7.6.1 数据场	235

7.6.2 体绘制技术的基本原理	235	8.5.2 交互式图形系统的功能	266
7.6.3 以图像空间为序的体绘制算法 ...	236	8.5.3 面向对象的程序设计方法	266
习题	237	习题	267
第 8 章 交互技术与用户接口	238	第 9 章 简单交互式图形系统的设计	268
8.1 计算机图形软件标准化	238	与实现	268
8.1.1 图形软件标准	238	9.1 系统简介	268
8.1.2 常用图形软件标准简介	240	9.1.1 系统用户界面	268
8.2 用户接口	243	9.1.2 系统结构	269
8.2.1 交互式图形系统的逻辑构成	243	9.2 系统设计与实现	269
8.2.2 用户接口的常用形式及其		9.2.1 图形编程的基础知识	269
设计原则	244	9.2.2 程序设计	270
8.3 交互任务和交互技术	248	习题	280
8.3.1 交互任务	248	附录 用 VC++ 开发交互式图形	281
8.3.2 交互技术	249	系统	281
8.4 交互式图形程序库 OpenGL	255	一、概述	281
8.4.1 OpenGL 基础	255	二、Visual C++ 6.0 用户界面	281
8.4.2 利用 OpenGL 绘制基本几何		三、框架和文档—视图结构	282
对象	258	四、编程基本流程	284
8.4.3 基于 OpenGL 真实感图形生成		五、绘图	285
技术简介	260	习题	288
8.5 构造一个简单的交互式图形系统	265	参考文献	289
8.5.1 交互式图形系统的设计原则	265		

第 1 章 计算机图形学概述

图形无处不在，计算机图形学的应用也无所不至。自 20 世纪 60 年代诞生以来，计算机图形学已经成为计算机科学技术中应用十分广泛、理论和方法及技术都很成熟的一门学科。现在，计算机图形学及其系统已经成为快速、经济地生成、显示图形或图像的强大而实用的工具，实际上已经有很多领域都能从使用图形显示中获益，计算机和计算机图形学已经成为人们日常生活不可分割的一部分，它所涉及的领域遍及科学、工业、工程、航空、航天、商业、政府部门、医学、教育和培训、艺术、广告以及娱乐等行业。事实上，大部分计算机软件，包括使用频率最高的操作系统，都使用了图形化的用户界面。图 1.1 概括地给出了计算机图形学在仿真、教育和图示等方面的应用。

本章将从图形学的基本概念、研究内容、应用、发展简史和当前的研究动态等方面概括性地介绍计算机图形学的有关内容，使读者对计算机图形学有一个较为全面的了解。

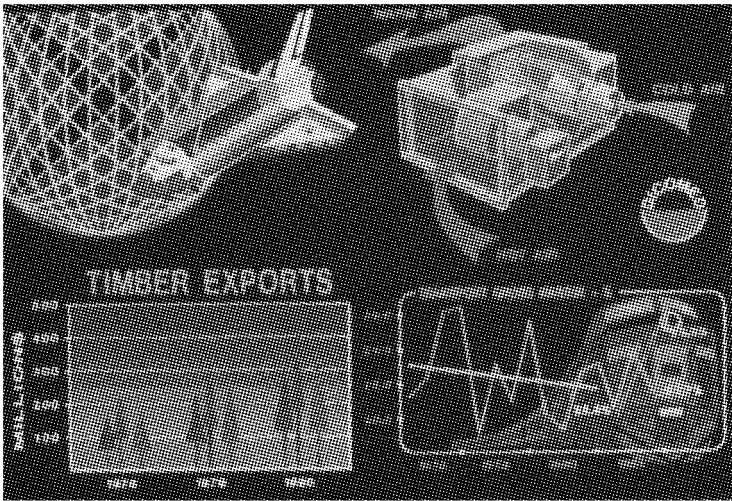


图 1.1 计算机图形学应用示例(DICOMED 公司提供)

1.1 计算机图形学及其研究内容

1.1.1 计算机图形学

计算机图形学(Computer Graphics)是 20 世纪 60 年代以来发展迅速、应用广泛的综合性学科。世界各国的专家学者对计算机图形学有着各自的定义。德国的 Wolfgang K Giloi 给出的定义是：计算机图形学由数据结构、图形算法和语言构成。美国的 James Foley 则把

它定义为：计算机图形学是运用计算机产生、存储、处理物体的物理模型和它们的画面。IEEE的定义为：计算机图形学是借助计算机产生图形、图像的技术或科学。

计算机图形学主要是研究利用计算机及其相关图形设备输入、表示、生成、存储、处理和输出图形的理论、算法、技术及系统的一门学科。它可以生成现实世界中已经存在的物体的图形，也可以生成虚构物体的图形。因此，计算机图形学是真实物体或虚构物体的图形综合技术。

1. 图形

计算机图形学的研究对象是图形。广义的说，能够在人的视觉系统中形成视觉印象的客观对象都可称为图形。它既包括了各种几何图形以及由函数式、代数方程和表达式所描述的图形，也包括了来自各种输入媒体的图景、图片、图案、图像以及形体实体等。因此，计算机图形学中研究的图形通常是从客观世界物体中抽象出来的由点、线、面、体等几何元素和灰度、色彩、线型、线宽等非几何属性组成的。所以，构成图形的要素可以分为两类：一类是刻画形状的点、线、面、体等几何要素；另一类是反映物体表面属性或材质的明暗、灰度、色彩（颜色信息）等非几何要素。

2. 图形信息的特点

图形信息是一种重要的信息类型，它直接明了，含义丰富，具有以下特点：

1) 图形信息表达直观，易于理解

在科学技术高度发达的今天，图形信息显示出任何语言无法比拟的优越性，它能直接反映出客观世界变幻无穷的图像，供全人类所共享，不受语言限制。图形信息中包含大量空间的、各种层次的、变化的结构形状、色彩、纹理以及心理信息等，通过观察给人以直观的感受，一目了然，易于理解。

2) 图形信息表示准确、精练

图形给人一瞬间把握整体的特点，它比文字更加简明精练，而文字要逐字逐句逐段联系起来才能理解，真是“一幅图胜过千言万语”。例如旅游指南中配合说明就不可缺少一幅交通图。图是科学技术领域里一种应用非常广泛的表示形式，人类在生产活动、科学研究和实验中，离不开图像表达，如机械方面的零件图、装配图，建筑中的施工图以及气象图、统计图、心电图等准确无误地表示出各构成部分的几何尺寸和相对位置，而这是语言文字难以表达清楚的。

3) 图形信息能“实时”地反应过程的变化规律

连续变化的图形信息能更“实时”地反映生产和科学研究与实验过程，并从中发现起决定作用的因素和关系。近代物理等学科就是利用这种形象的视觉表示，反映真实模型及抽象概念模型的变化规律的。

4) 图形信息的信息量较大

“一幅图胜过千言万语”，这从另外一个角度也说明图形中包含的信息量较大，因此，图形如何在计算机中表示，也是计算机图形学研究的内容之一。

3. 图形在计算机中的表示

计算机中表示带有颜色及形状信息的图形常用以下两种方法：

1) 点阵法

点阵法通过枚举出图形中所有的点来表示图形，它强调图形由哪些点构成，这些点具有什么样的颜色，即点阵法是用具有灰度或色彩的点阵来表示图形的一种方法。在计算机中表示图形最常用的是点阵法。例如，一幅二维数字图像就是用矩阵 $\{P_{ij}\}_{i,j=0}^{m,n}$ 表示的，其中 P_{ij} 表示图像在 (i, j) 点的颜色值。具有灰度和色彩的点阵图形实际上就是图像，在计算机图形学中也叫位图。

2) 参数法

参数法用图形的形状参数和属性参数来表示图形。形状参数指的是描述图形的方程或分析表达式的系数、线段和多边形的端点坐标等。属性参数则包括颜色、线型等。

因此，在计算机图形学中，通常把参数法描述的图形叫做图形(Graphic)，而把点阵法描述的图形叫做图像(Image)。

由于光栅图形显示器和点阵式图形输出设备的广泛应用，图形和图像的处理技术相互渗透而且结合得越来越紧密。对于用形状参数和属性参数表示的图形，如描述图形的方程系数，线段的起点和终点坐标，图形的灰度、色彩、线型和线宽等均可采用某种转换算法，把图形的参数表示转换成点阵表示。

4. 计算机图形系统的概念

1) 计算机图形系统的组成

计算机图形系统是为了支持图形应用程序便于实现图形的输入、处理、输出而设计的计算机硬件和软件的组合体。没有绘图系统的支撑，就会使图形应用程序的编写极为困难，计算机图形学潜在的用途也难以开发。

计算机图形系统由硬件和软件两部分组成。计算机图形系统的基本物理设备统称为硬件，它包括主机及大容量外存储器、显示处理器、图形输出和图形输入设备。其中图形显示器、打印机、绘图机、键盘、数字化仪和光笔等供系统配置时由用户选用。单主机模式的计算机图形系统的硬件组成如图 1.2 所示。

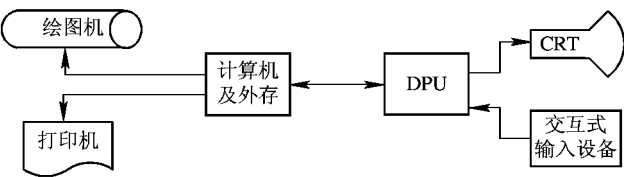


图 1.2 单主机模式计算机图形系统的硬件组成

为了运行、管理和维护计算机及其图形输入/输出设备而编制的各种程序统称为软件。软件分系统软件、支撑软件和应用软件三类。系统软件是使用和管理计算机及其外围设备的全部软件，它为所有的计算机用户服务。图形支撑软件由一组公用的图形子程序组成。它扩展了原有高级语言的图形处理功能，给用户描述、控制、分析和计算图形的语句，适用于用户设计有关图形方面的应用程序。应用软件是用户利用计算机以及它所提供的各种系统软件编制解决用户各种实际问题的程



图 1.3 单主机模式计算机图形系统的软件组成

序和相关文档，其中的程序称为应用程序，它为部分用户服务。图形应用程序是开发图形系统的核心部分，它是图形技术在各种应用中的抽象描述。单主机模式的计算机图形系统的软件组成如图 1.3 所示。

2) 计算机图形系统的工作方式

计算机图形系统的工作方式有被动式和交互式两种。被动式主要以绘图机、打印机作为输出设备，通过编制一个图形程序，让计算机执行程序时控制绘图机或打印机绘制图形，在生成图形过程中，无法进行操纵和控制，若要修改所生成的图形必须修改图形程序或数据。交互式图形系统则由设计人员(或用户)利用键盘、光笔、数字化仪、图形显示器等交互设备的有关功能，控制和操纵模型的建立和图形的生成过程。模型和图形可以边生成边显示边修改，进行人机对话。另外，系统提供了与绘图系统形象直观和高效率的交互手段，以菜单形式为用户提供输入、修改、变换等各种图形功能，直到产生符合使用要求的模型和图形为止，最后由绘图机或打印机输出图形。目前，计算机图形系统的工作方式都以交互式绘图为主。

3) 图形系统中三维物体输出的流水线

在计算机内描述、构造、修改二维或三维形体时，常用的几何形体表示方法有：线框模型、表面模型、实体模型等三种方法。下面以线框模型为例说明计算机图形系统中三维物体透视线架图输出的过程。

图形显示涉及到两个重要概念——窗口(window)和视区(viewport)。在观察生成的图形时，通常只对图形的一部分感兴趣，所以用户只在一定的范围内观察自己感兴趣的那部分图形。这个用来观察图形的指定的任一范围或区域，就像照相机的取景器一样，我们把它称作窗口。窗口通常是矩形区域，可以用其左下顶点和右上顶点的坐标来确定，也可以用其左下顶点的坐标以及矩形的长和宽表示。视区是显示设备上用于显示窗口内图形数据的一个区域。二维规则视区由一个矩形的上、下、左、右四条边确定。视区可以用设备的实际物理坐标系指定。当用实际物理坐标指定视区时，通常使用整数值。

为了产生三维物体的透视线架图，首先要根据视点在用户坐标系中的位置和观察方向建立目坐标系(观察坐标系)，并对三维物体上的点通过观察变换用目坐标表示；然后按已定义的比值 D/S 所规定的观察范围进行裁剪坐标变换，剪掉舍弃部分，保留的三维物体上的各点，通过透视投影，便在观察平面上产生相应的像点；最后根据绘图机和显示器的设备坐标及指定显示区域，将这些像点转换为屏幕坐标系上的显示像素点，并在相应点之间画线连接，便生成三维物体的透视线架图，整个变换过程，可用输出流水线图 1.4 表示出来。(有关概念请参阅 3.5 和 5.4 节)

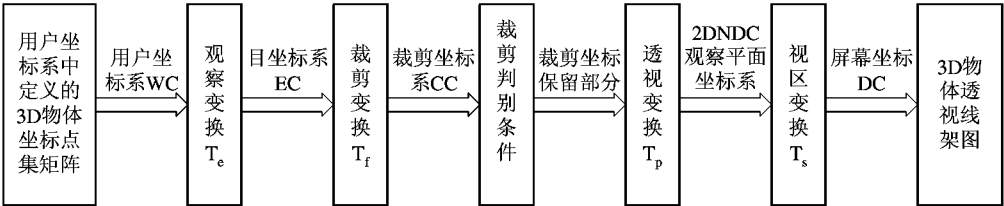


图 1.4 三维物体输出流水线图

1.1.2 计算机图形学的主要研究内容

除了理论和方法已经非常成熟的基本图形元素生成算法(也叫光栅图形学)和图形变换的内容之外,计算机图形学的主要内容还有造型技术、真实感图形生成及人机交互技术等三部分。

要在计算机屏幕上生成三维物体的一幅图像,首先必须在计算机中建立该物体的模型。构造这一模型的技术称为造型技术,包括形体的表示、构造及运算。最常用的是几何造型,即由一批几何数据及数据之间的关系来表示所要显示的形体,一般是规则形体。几何造型的可靠性及覆盖面是研究工作的重点。在计算机辅助设计和制造(CAD/CAM)中,为了使形体的表示方法与工程师描述形体的习惯相衔接,并便于实现 CAD/CAM 的集成,近年来出现了特征造型技术,即用形状特征、材料特征、公差特征等描述一个产品。随着动画技术的发展,出现了基于物理的造型技术。在计算机艺术中,为了表示不规则的形体,又出现了分数维造型和基于文法的造型等。几何造型的例子如图 1.5 所示,其中图(a)是工程图,图(b)是线框图,图(c)是实体模型描述的例子。

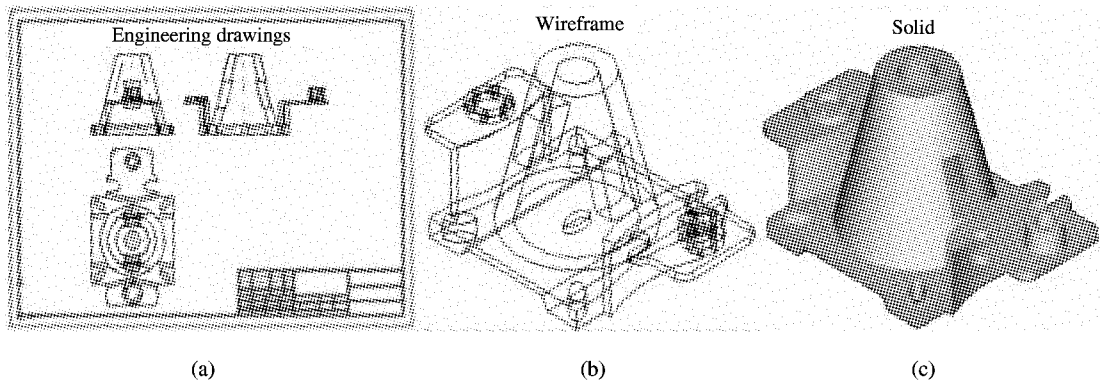


图 1.5 造型技术示例

(a) 工程图; (b) 线框图; (c) 实体模型图

有了三维物体的模型,就需要应用真实感图形生成技术将该模型以二维图像的形式显示在屏幕上。它包括消隐技术,即消除那些从当前的观察点看不见的那一部分物体,从而产生层次感;建立或选用适当的光照模型,尽可能准确地模拟物体在现实世界中受到各种光源照射时的效果,如漫反射、镜面反射及透射等;纹理生成技术,即在物体表面产生几何纹理或颜色纹理。一般来说,生成二维图形的逼真度越高,所需的计算时间越长,因此,如何实现复杂模型真实感图形的实时动态显示就成为计算机图形学领域内多年来的追求目标和研究热点。除了不断提高计算机硬件的运算速度及图形软件的效率以外,并行计算是一个重要手段。图 1.6 是真实感图形生成示例。纹理映射技术的示例如图 1.7 所示。

自然界的许多物体很难或者根本无法用规则形体进行表达,如山脉、杂草、毛皮、云彩、波浪以及浓雾等。如何逼真地生成这些复杂的自然物体和现象并以图形方式真实地绘制出来,这也是计算机图形学研究的重要内容之一。有时为了艺术和美学的需要,甚至可以造出自然界中根本不存在的物体、场景和现象。

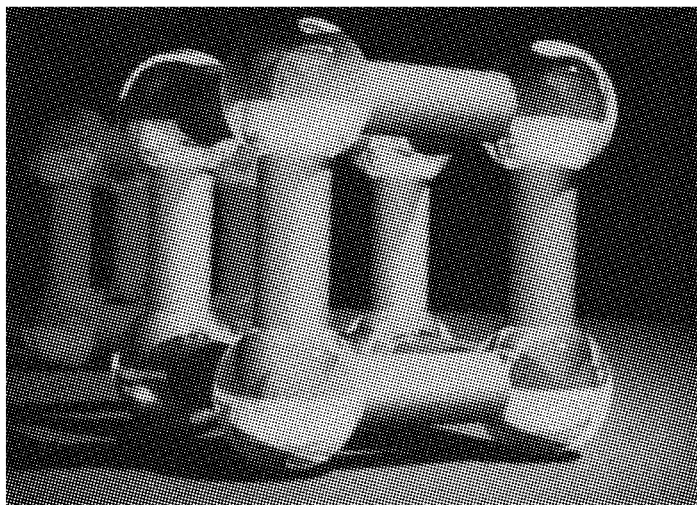
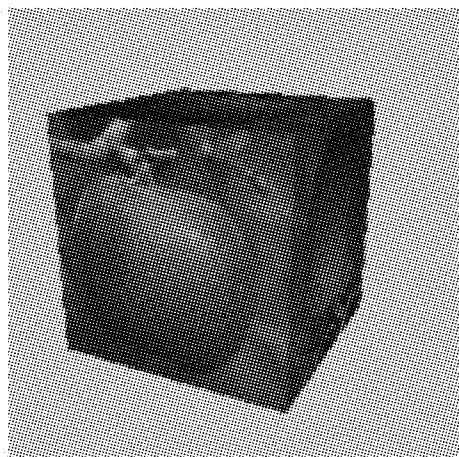
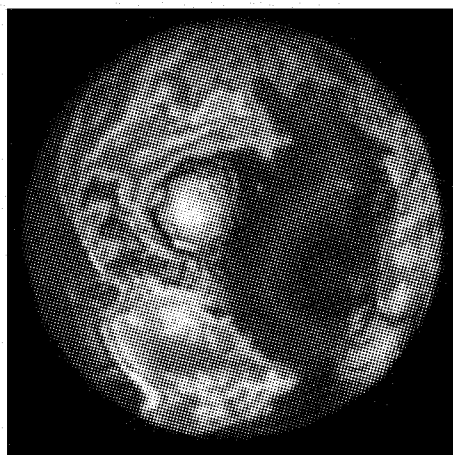


图 1.6 采用 Whitted 光线跟踪及光照明模型绘制的带反射和折射的球与柱体
(由 Raster Technologies 公司的 A. Barr 绘制)



(a)



(b)

图 1.7 纹理技术示例

(a) 带光照的纹理映射；(b) 用凹凸纹理技术绘制的地球

三维物体的造型过程和真实感图形生成过程都需要在一个操作方便、易学易用的用户界面下完成，其中包括：图元及造型方法的交互选择，形体、模型的交互操作，观察点、观察方向的交互设置，光照模型参数的交互选取，色彩的交互设定等。这就需要依据人机交互技术的理论和方法，选用适当的人机交互技术及设备，设计出友好的用户界面以满足交互地生成图形的需要。近年来迅速发展的虚拟现实技术，是与造型技术、真实感图像生成技术及人机交互技术密切相关的。快捷方便的造型技术、实时动态的图形生成以及易学易用的交互技术是构造虚拟现实环境的基本和必要条件。而虚拟现实技术则是综合运用这三个方面的最新研究成果并加以发展的必然结果。

1.2 计算机图形学的相关领域和学科

用计算机处理图形信息采用不同的方式和过程,使得图形图像处理技术的应用领域发展为五个联系密切的分支学科,即计算机图形学、数字图像处理、模式识别、计算机视觉和计算机辅助几何设计。它们之间既有一定联系,又有不同的研究目标、方法与技术,图1.8表示了它们之间的关系。

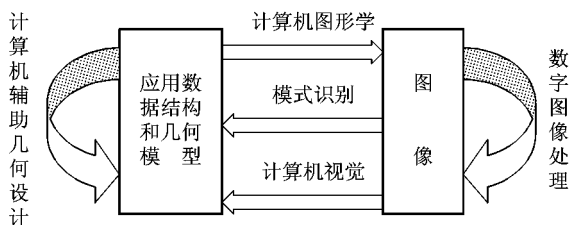


图 1.8 图形图像处理相关学科间的关系

数字图像处理将客观世界中原来存在的物体映像处理成新的数字化图像。如对照片图像扫描采样、量化、模/数转换后送入计算机,由计算机按应用的需要,对数字图像信息进行加工处理,从而改善图像的视觉效果。其主要处理内容有图像去噪、增强、复原、分割、提取特征、重建、识别以及存储、压缩编码和传输等。

模式识别(Pattern Recognition)研究的是计算机图形学的逆过程,它主要讨论如何分析和识别输入的数字图像和图形,并从中提取二维或三维的数据模型(特征)。模式识别处理图形或图像的过程是将图形或图像信息输入计算机后先进行特征抽取等处理;然后用统计判定方法或句法识别方法,对图形做出识别;最后由计算机按使用要求绘出图形的分类和描述,从图形或图像中提取数据结构/几何模型。这门技术越来越多地应用于现代生活的各个领域。例如,手写汉字的识别,生物特征识别,邮件分检系统等。

计算机视觉(Computer Vision)是研究用计算机来模拟生物外显或宏观视觉功能的科学和技术,它模拟人对客观事物模式的识别过程,是从图像到特征数据、对象的描述表达的处理过程。其主要内容包括图像特征提取、相机定标、立体视觉、运动视觉、3D重建、物体建模与识别、距离图像分析等。计算机视觉的应用十分广泛,例如机器人的视觉系统等。

计算机辅助几何设计(CAGD—Computer Aided Geometric Design)着重讨论几何形体在计算机内的表示、分析和综合,研究怎样方便灵活地建立几何形体的数学模型,提高算法的效率,在计算机内如何更好地存储和管理这些模型等。它的研究内容包括曲线曲面的表示、生成、拼接和造型,三维立体造型,散乱数据插值,计算复杂性等。

随着多媒体技术、图像数据传输、三维数据场可视化以及虚拟现实等科学技术的迅速发展和应用的不断普及与深入,计算辅助几何设计(CAGD)、计算机图形学、数字图像处理、模式识别、计算机视觉的联系变得越来越紧密,各学科相互渗透和融合。例如,计算机图形学离不开曲线、曲面及立体造型技术,几何造型系统又必须用到图形生成处理技术和图像处理技术,模式识别中的许多概念和方法来自图像处理等学科。一个较完善的应用系

统通常综合利用了各个学科的技术。例如，在图像处理中需要用计算机图形学中的交互技术和手段输入图形图像以及控制相应的过程；在计算机视觉中，也经常采用图形生成技术来帮助合成对象的图像模型。它们之间的这种相互渗透，反过来也促进了学科本身的发展。

1.3 计算机图形学的发展

1.3.1 计算机图形学的发展简史

自 20 世纪 50 年代以来，计算机图形学的发展历程经历了 50 多年。根据其发展的特点，这 50 年可以分为酝酿期（50 年代）、萌芽期（60 年代）、发展期（70 年代）、普及期（80 年代）和提高增强期（90 年代）等五个阶段。现在，计算机图形学已经发展成为一门以图形硬件设备、图形专用算法和图形软件系统为研究内容的综合性学科。计算机图形学软件与硬件的发展是相互促进、相辅相成的。

1950 年，美国麻省理工学院旋风 1 号（Whirlwind I）计算机配备了由计算机驱动的、类似于示波器所用的阴极射线管（CRT）来显示一些简单的图形。1958 年，美国 CALCOMP 公司将联机的数字记录仪发展成滚筒式绘图仪，GerBer 公司则把数控机床发展成平板式绘图仪。整个 50 年代，计算机图形学处于准备和酝酿时期，称之为“被动”的图形学，所构造的图形系统也是被动式图形系统。

20 世纪 60 年代初，美国麻省理工学院林肯实验室基于旋风计算机开发的北美空中防御系统 SAGE(Semi - Automatic Ground Environment System)具有了指挥和控制图形对象的功能，该系统能够将雷达信号转换为显示器上的图形，操作者可以借用光笔指向屏幕上的目标图形来获得所需要的信息。这一功能的出现预示着交互式图形生成技术的诞生。与此同时，类似的技术在设计和生产过程中也陆续得到应用。1962 年，美国麻省理工学院林肯实验室的 Ivan E. Sutherland 在参与了一个用于 CAD(Computer Aided Design)的“SKETCHPAD”系统的研制后，于 1963 年发表了一篇题为《Sketchpad：一个人机通信的图形系统》的博士论文，其中首次使用了“Computer Graphics”这个术语，并首次提出了交互式计算机图形学的概念，从而确立了计算机图形学的学科地位。在 Ivan E. Sutherland 等人开发的“SKETCHPAD”系统中不仅引入了分层存储符号和图素的数据结构，还可用光笔实现选择、定位等交互功能，计算机可以跟踪光笔，从起点到终点画出一条直线，或在给定圆心和半径后画出圆等。Ivan E. Sutherland 的“SKETCHPAD”系统及其研究成果被公认是对交互式图形生成技术的发展奠定了基础。20 世纪 60 年代中期，美国麻省理工学院、通用汽车公司、贝尔电话实验室和洛克希德飞机公司开展了计算机图形学的大规模研究。与此同时，英国的剑桥大学等也开始了这方面的工作。在图形显示设备方面，20 世纪 60 年代中期还出现了矢量显示器，这是计算机图形学的萌芽期。

20 世纪 70 年代，美国洛克希德飞机公司完成了一个用于飞机设计的交互式图形处理系统，即 CADAM，它能够绘制工程图，进行分析与产生数控加工纸带，在许多国家得到应用。之后，许多新的更加完备的图形系统不断地被研制出来，计算机图形处理技术进入了实用化阶段，显示出一个广泛应用计算机显示技术和交互式技术的新时期已经到来。但

也应注意到,和其它的学科相比,此时的计算机图形学还是一个很小的学科领域。其主要原因是由于图形设备昂贵、功能简单、基于图形的应用软件缺乏。

20 世纪 80 年代是图形处理技术开花结果的时期,除了传统的军事上和工业上的应用之外,计算机图形学也进入了教育、科研、艺术和事务管理等领域,甚至进入了家庭。这时由于出现了带有光栅图形显示器的个人计算机和 workstation,如美国苹果公司的 Macintosh,IBM 公司的 PC 及其兼容机, Apollo, Sun workstation 等,使得人机交互中位图图形的使用日益广泛。光栅图形显示器付诸应用后不久,就出现了大量简单易用、价格便宜的基于图形的应用软件,如图形用户界面、绘图、字处理和游戏等,由此推动了计算机图形学的发展和应用。

进入 20 世纪 90 年代后,除了计算机图形学的功能随着计算机图形设备的发展而提高外,其自身也朝着标准化、集成化、网络化和智能化的方向发展。在此期间,国际标准化组织 (ISO) 公布的有关计算机图形学方面的标准越来越多,而且更加成熟。多媒体技术、人工智能及专家系统技术的引入使得计算机图形技术的应用效果越来越好。科学计算可视化、虚拟现实技术等的发展又对计算机图形学提出了更新更高的要求,使得三维乃至高维计算机图形学在真实性和实时性等方面有了更高的突破。

1.3.2 硬件设备的发展

在计算机图形系统的硬件中,图形显示器是最关键的设备之一,它的发展也具有一定的代表性。20 世纪 60 年代中期在计算机图形系统中使用的是随机扫描的显示器,它具有较高的分辨率和对比度,具有良好的动态性能。但为了避免图形闪烁,通常需要以 30 次/秒左右的频率不断刷新屏幕上的图形。为此需要一个刷新存储器来存储计算机产生的显示文件,还要求有一个较高速度的处理器,这些在当时是相当昂贵的,因而成为交互式图形系统进一步普及的主要障碍。针对上述情况,60 年代后期,美国 Tektronix 公司研制了存储管式显示器,存储管式显示器不需要缓存及刷新功能,价格较低廉,分辨率高,显示大量信息也不闪烁,但是它却不具有显示动态图形的能力,也不能进行选择性删除。存储管显示器的出现可以使一些简单的图形实现交互处理,而其低廉的价格使得计算机图形学得以推广和普及(目前已有了与刷新技术相结合的存储管式的图形显示器)。20 世纪 70 年代中期,廉价的固体电路随机存储器的出现可以提供比十年前大得多的刷新缓冲存储器,因而就能构造基于电视技术的光栅扫描的图形显示器。在这种显示器中,被显示的线段、字符、图形及其背景等都按像素一一存储在刷新缓冲存储器中,系统按光栅扫描方式以 30 次/秒的频率对存储器进行读写以实现图形的刷新而避免闪烁。光栅扫描图形显示器的出现使得计算机图形生成技术和现有的电视技术相衔接,生成的图形更加形象、逼真,图形处理系统更易于推广和应用。这也是后来光栅扫描图形显示器受到普遍重视和迅速发展原因之一。另外,目前还发展了几种显示器,包括液晶显示器、等离子显示器、激光显示器、头盔显示器(HMD)等,基于纳米技术的显示器也正在研制中,它们正向着小型化、低电压和数字化等方向发展。

图形显示设备只能在屏幕上生成各种图形,但在计算机图形系统中还应能把图形画在纸上,这类设备就是图形绘制设备,也称图形硬拷贝设备,分为打印机和绘图仪两种。打印机从针式打印机发展到喷墨式打印机和激光打印机,在打印速度方面越来越快,性能方