

中国高等学校计算机科学与技术专业（应用型）规划教材

丛书主编 陈明

计算机图形学基础

王振武 编著



清华大学出版社

中国高等学校计算机科学与技术专业（应用型）规划教材

丛书主编 陈明

计算机图形学基础

王振武 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书对计算机图形学的基本原理进行了深入浅出的阐述,书中不仅配有丰富的图例和例题,而且利用C语言和OpenGL图形软件包编写了相应的应用程序,这种理论和实践相结合的方式大大方便了读者对抽象的计算机图形学理论的理解和掌握。

本书共10章,包括绪论、计算机图形系统、OpenGL编程环境介绍、基本图形生成算法、二维变换和二维观察、三维变换和三维观察、三维对象的表示、消隐计算、颜色模型以及真实感图形绘制等内容。本书可作为高等院校计算机图形学理论的课程教材,也可作为从事计算机图形处理技术及其他有关的工程技术人员的参考书。

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。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

计算机图形学基础/王振武编著. —北京:清华大学出版社,2011.12

(中国高等学校计算机科学与技术专业(应用型)规划教材)

ISBN 978-7-302-27274-8

I. ①计… II. ①王… III. ①计算机图形学 IV. ①TP391.41

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第231225号

责任编辑:谢琛 薛阳

责任校对:李建庄

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦A座

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

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62795954,jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015,zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:三河市君旺印装厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260

印 张:16.25

字 数:404千字

版 次:2011年12月第1版

印 次:2011年12月第1次印刷

印 数:1~4000

定 价:25.00元

编委 会

主任：陈 明

副主任：蒋宗礼 卢先和

委员：常 虹 陈国君 陈 峻 陈晓云 陈笑蓉
丛 琳 方路明 段友祥 高文胜 巩君华
关 永 郭 禾 郝 莹 何胜利 何晓新
贺安坤 胡巧多 李陶深 李仲麟 刘东升
刘贵龙 刘晓强 刘振华 路 游 马杰良
毛国君 苗凤君 宁 玲 施海虎 宋长龙
宋立军 孙践知 孙中胜 汤 庸 田俊峰
万本庭 王让定 王锁柱 王 新 王兆青
王智广 王志强 谢 琛 谢书良 徐孝凯
徐子珊 杨建刚 姚 琳 叶春蕾 叶俊民
袁 薇 张建林 张 杰 张 武 张晓明
张艳萍 周 苏 曾 一 訾秀玲

序 言

应用是推动学科技术发展的原动力,计算机科学是实用科学,计算机科学技术广泛而深入的应用推动了计算机学科的飞速发展。应用型创新人才是科技人才的一种类型,应用型创新人才的重要特征是具有强大的系统开发能力和解决实际问题的能力。培养应用型人才的教学理念是教学过程中以培养学生的综合技术应用能力为主线,理论教学以够用为度,所选择的教学方法与手段要有利于培养学生的系统开发能力和解决实际问题的能力。

随着我国经济建设的发展,对计算机软件、计算机网络、信息系统、信息服务和计算机应用技术等专业技术方向的人才的需求日益增加,主要包括软件设计师、软件评测师、网络工程师、信息系统监理师、信息系统管理工程师、数据库系统工程师、多媒体应用设计师、电子商务设计师、嵌入式系统设计师和计算机辅助设计师等。如何构建应用型人才培养的教学体系以及系统框架,是从事计算机教育工作者的责任。为此,中国计算机学会计算机教育专业委员会和清华大学出版社共同组织启动了《中国高等学校计算机科学与技术专业(应用型)学科教程》的项目研究。参加本项目的研究人员全部来自国内高校教学一线具有丰富实践经验的专家和骨干教师。项目组对计算机科学与技术专业应用型学科的培养目标、内容、方法和意义,以及教学大纲和课程体系等进行了较深入、系统的研究,并编写了《中国高等学校计算机科学与技术专业(应用型)学科教程》(简称《学科教程》)。《学科教程》在编写上注意区分应用型人才与其他人才在培养上的不同,注重体现应用型学科的特征。在课程设计中,《学科教程》在依托学科设计的同时,更注意面向行业产业的实际需求。为了更好地体现《学科教程》的思想与内容,我们组织编写了《中国高等学校计算机科学与技术专业(应用型)规划教材》,旨在为计算机专业应用型教学的课程设置、课程内容以及教学实践起到一个示范作用。本系列教材的主要特点如下:

(1) 完全按照《学科教程》的体系组织编写本系列教材,特别是注意在教材设置、教材定位和教材内容的衔接上与《学科教程》保持一致。

(2) 每门课程的教材内容都按照《学科教程》中设置的大纲精心编写,尽量体现应用型教材的特点。

(3) 由各学校精品课程建设的骨干教师组成作者队伍,以课程研究为基础,将教学的研究成果引入教材中。

(4) 在教材建设上,重点突出对计算机应用能力和应用技术的培养,注重教材的实践性。

(5) 注重系列教材的立体配套,包括教参、教辅以及配套的教学资源、电子课件等。

高等院校应培养能为社会服务的应用型人才,以满足社会发展的需要。在培养模式、教学大纲、课程体系结构和教材都应适应培养应用型人才的目标。教材体现了培养目标和育

人模式,是学科建设的结晶,也是教师水平的标志。本系列教材的作者均是多年从事计算机科学与技术专业教学的教师,在本领域的科学研究与教学中积累了丰富的经验,他们将教学研究和科学研究的成果融入教材中,增强了教材的先进性、实用性和实践性。

目前,我们对于应用型人才培养的模式还处于探索阶段,在教材组织与编写上还会有这样或那样的缺陷,我们将不断完善。同时,我们也希望广大应用型院校的教师给我们提出更好的建议。

《中国高等学校计算机科学与技术专业(应用型)规划教材》主编



2008年7月

前言

计算机图形学经过近 30 年的发展已经渗透到各个行业,在经济建设中发挥了重要作用。为适应我国计算机图形学的教学工作,作者在多年计算机图形学教学实践基础上,参阅了多种国内外最新版本的教材,编写了本书。本书既可以作为高等院校本科生教材,也可以为相关行业的工程技术人员提供有益的参考。

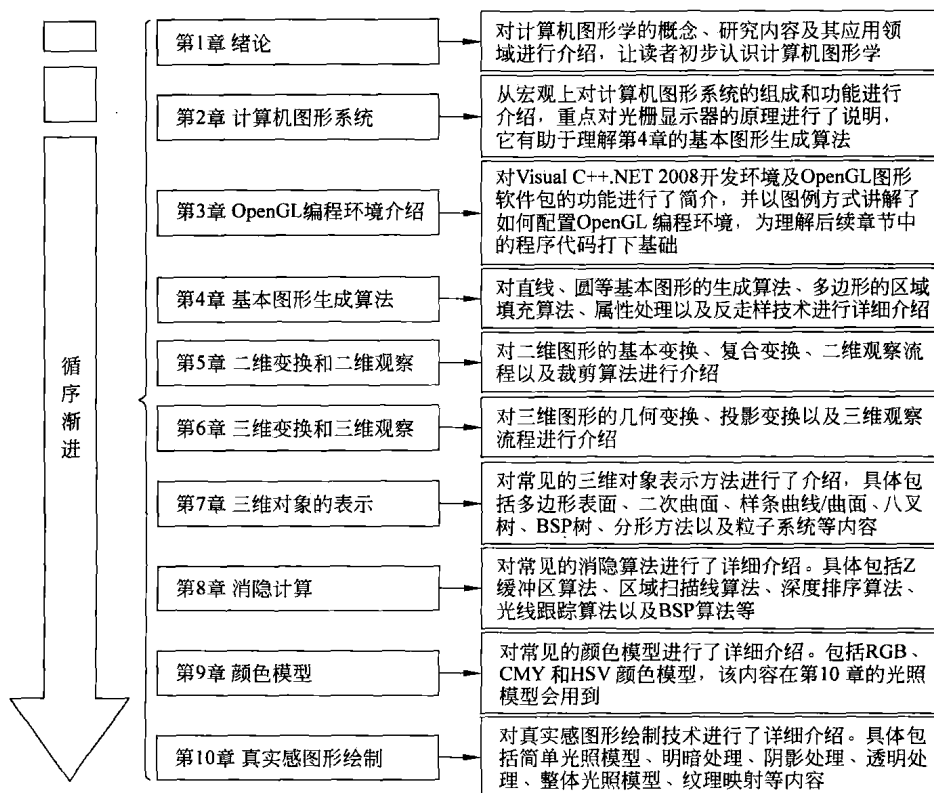
本书内容在安排上循序渐进,对理论的讲解通俗易懂,总地来讲有如下 3 个特点。

(1) 对抽象理论的直观形象介绍。为便于读者快速理解计算机图形学的基本理论,本书在内容安排上循序渐进,用深入浅出的方式和丰富的图例对计算机图形学基本理论进行介绍。

(2) 理论与实例相结合。为便于读者学会对计算机图形学基本理论的应用,书中的重要内容均配有实例。

(3) 理论与 OpenGL 程序相结合。书中的主要算法均给出了完整的源程序代码及其运行界面。为兼顾不同读者对编程语言的掌握程度,书中的程序开发语言为 C 语言,利用了 OpenGL 图形软件包,并且采用 Win32 控制台应用程序的方式。

具体而言,本书 10 章内容之间的关系如下图所示。



本书中所有的代码以及提供的教学课件,读者可登录 www.tup.com.cn 网站自行下载。由于编者水平有限,本书必定存在不少缺点和不足之处,恳请专家和读者批评指正。

编者

2011年10月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 计算机图形学基本概念	1
1.1.1 什么是计算机图形学	1
1.1.2 图形和图像	1
1.1.3 计算机图形学与其他学科的关系	2
1.2 计算机图形学发展历史	2
1.3 计算机图形学的应用	3
1.3.1 用户接口	3
1.3.2 计算机辅助设计	4
1.3.3 数字娱乐	4
1.3.4 计算机辅助绘图	5
1.3.5 计算机辅助教学	5
1.3.6 科学计算的可视化	6
1.3.7 计算机艺术	6
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 计算机图形系统的功能	8
2.1.2 计算机图形系统的结构	9
2.2 计算机图形硬件设备	9
2.2.1 图形输入设备	9
2.2.2 图形显示设备	11
2.2.3 图形绘制设备	17
2.3 计算机图形软件	17
2.3.1 计算机图形软件分类	17
2.3.2 用户接口设计	18
2.3.3 基本交互式绘图技术	20
习题	21

第 3 章 OpenGL 编程环境介绍	22
3.1 VS. NET 2008 开发环境简介	22
3.2 OpenGL 图形软件包介绍	23
3.2.1 OpenGL 概述	23
3.2.2 OpenGL 的主要功能	23
3.2.3 OpenGL 的基本语法	24
3.3 设置 OpenGL 编程环境	25
3.3.1 OpenGL 编程环境设置	25
3.3.2 OpenGL 程序的结构	28
习题	30
第 4 章 基本图形生成算法	31
4.1 什么是扫描转换	31
4.2 直线的扫描转换	31
4.2.1 DDA 画线法	32
4.2.2 中点画线法	35
4.2.3 Bresenham 画线法	39
4.3 圆的扫描转换	43
4.3.1 根据圆的方程画圆	43
4.3.2 中点画圆法	44
4.3.3 Bresenham 画圆法	48
4.4 区域填充	51
4.4.1 扫描线多边形填充算法	51
4.4.2 边缘填充算法	60
4.4.3 种子填充算法	61
4.4.4 其他填充算法	66
4.4.5 区域填充的属性处理	67
4.5 属性处理	67
4.5.1 直线的线型处理	67
4.5.2 直线的线宽处理	68
4.5.3 曲线的线宽处理	72
4.6 字符	73
4.6.1 基本概念	73
4.6.2 点阵字符	73
4.6.3 矢量字符	74
4.7 反走样	74
4.7.1 提高分辨率	75
4.7.2 简单区域取样	76
4.7.3 加权区域取样	77

习题	78
第 5 章 二维变换和二维观察	79
5.1 图形变换基本知识	79
5.1.1 矢量和矩阵	79
5.1.2 齐次坐标	81
5.2 基本二维变换	81
5.2.1 平移变换	82
5.2.2 旋转变换	82
5.2.3 缩放变换	83
5.2.4 基本二维变换的矩阵表示	84
5.2.5 其他变换	96
5.3 二维复合变换	105
5.3.1 连续平移	105
5.3.2 连续旋转	106
5.3.3 连续缩放	106
5.3.4 通用基准点的变换	106
5.3.5 通用方向的变换	107
5.3.6 二维变换总结	108
5.4 二维观察	109
5.4.1 二维观察流程	109
5.4.2 用户坐标系到观察坐标系的变换	110
5.4.3 窗口到视区的变换	111
5.4.4 二维裁剪概述	112
5.4.5 点裁剪	112
5.4.6 直线的裁剪	112
5.4.7 多边形的裁剪	125
5.4.8 曲线的裁剪	128
5.4.9 字符的裁剪	128
习题	128
第 6 章 三维变换和三维观察	130
6.1 三维变换概述	130
6.2 三维几何变换	130
6.2.1 三维平移变换	131
6.2.2 三维变比变换	136
6.2.3 三维旋转变换	141
6.2.4 三维反射变换	147
6.2.5 三维错切变换	153
6.2.6 三维复合变换	158

6.3	三维投影变换	162
6.3.1	三维投影变换的分类	162
6.3.2	三视图	164
6.3.3	正轴测	166
6.3.4	斜平行投影	169
6.3.5	透视投影	171
6.4	三维观察	178
6.4.1	观察坐标系	178
6.4.2	观察空间	179
6.4.3	三维观察流程	180
	习题	180
第7章 三维对象的表示 181		
7.1	三维对象表示方法概述	181
7.1.1	三维图形的基本问题	181
7.1.2	数据模型	181
7.1.3	过程模型	182
7.2	多边形表面	182
7.2.1	多边形表面概述	182
7.2.2	多边形表面表示法	182
7.3	二次曲面	183
7.3.1	球面	183
7.3.2	椭球面	184
7.3.3	环面	184
7.3.4	超二次曲面	184
7.4	样条曲线概述	185
7.4.1	样条的基本概念	185
7.4.2	样条曲线的分类	185
7.5	Hermite 样条曲线	187
7.6	Bézier 曲线和曲面	189
7.6.1	Bézier 曲线的定义	189
7.6.2	Bernstein 基函数的性质	190
7.6.3	常见的 Bézier 曲线	191
7.6.4	Bézier 曲线的性质	192
7.6.5	Bézier 曲线的绘制	193
7.6.6	Bézier 曲面	197
7.7	B 样条曲线和曲面	198
7.7.1	B 样条曲线的定义	198
7.7.2	常见的 B 样条曲线	199
7.7.3	B 样条曲线的性质	201

7.7.4	B 样条曲线的分类	201
7.7.5	B 样条曲面	202
7.8	空间分区表示方法	202
7.8.1	立体构造	202
7.8.2	八叉树	203
7.8.3	BSP 树	204
7.9	非规则对象表示方法	204
7.9.1	分形几何方法	205
7.9.2	粒子系统	206
7.9.3	基于物理的建模	207
7.9.4	数据集可视化	207
	习题	207
第 8 章	消隐计算	209
8.1	消隐概述	209
8.1.1	消隐的定义	209
8.1.2	消隐的分类	209
8.1.3	消隐算法的原则	210
8.2	Z 缓冲区算法	211
8.3	区域扫描线算法	213
8.4	深度排序算法	215
8.5	光线跟踪算法	217
8.6	BSP 算法	217
	习题	218
第 9 章	颜色模型	219
9.1	光的特性	219
9.1.1	电磁频谱	219
9.1.2	颜色的心理学特征	219
9.2	颜色模型	220
9.3	标准基色和色度图	221
9.4	RGB 颜色模型	223
9.5	CMY 颜色模型	223
9.6	HSV 颜色模型	224
	习题	225
第 10 章	真实感图形绘制	226
10.1	简单光照模型	226
10.1.1	环境反射光	227
10.1.2	漫反射光	227

10.1.3	镜面反射光	228
10.1.4	光强衰减	229
10.1.5	颜色处理	230
10.2	明暗处理	231
10.2.1	恒定光强的明暗处理	231
10.2.2	Gouraud 明暗处理	232
10.2.3	Phong 明暗处理	233
10.3	阴影处理	234
10.3.1	自身阴影生成	235
10.3.2	投射阴影生成	235
10.4	透明处理	236
10.4.1	透明效果的简单模拟	236
10.4.2	考虑折射的透明处理	237
10.5	整体光照模型与光线跟踪	238
10.5.1	整体光照模型概述	238
10.5.2	Whitted 光照模型	238
10.5.3	光线跟踪算法	239
10.6	纹理映射	240
10.6.1	颜色纹理处理	241
10.6.2	几何纹理处理	242
	习题	243

参考文献	244
------	-----

第 1 章 绪 论

1.1 计算机图形学基本概念

1.1.1 什么是计算机图形学

计算机图形学(Computer Graphics, CG)是计算机应用领域中一个重要的研究方向,目前尚属一门新兴的学科。世界各国的专家对计算机图形学有着各自不同的定义,下面是目前一些主流的计算机图形学定义。

(1) 国际标准化组织(International Organization for Standards, ISO)对计算机图形学的定义:计算机图形学是研究通过计算机将数据转换成图形,并在专门显示设备上显示的原理、方法和技术的学科。

(2) 电气与电子工程师协会(Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE)对计算机图形学的定义:计算机图形学是借助计算机产生图形影像的一门艺术和科学。

(3) 国内外广泛采用的图形学定义为:计算机图形学是研究利用计算机表示、生成、处理和显示图形的原理、算法、方法和技术的学科。

计算机图形学的内容大概包含以下几部分。

(1) 基本知识:计算机图形处理软件和硬件、齐次坐标、二维图形变换和三维图形变换、视图变换、二维观察和三维观察等。

(2) 用户界面:交互设备、交互技术与交互任务、图形界面设计和管理等。

(3) 模型定义:曲线曲面、实体表示、颜色描述与运用、视觉系统等。

(4) 图像合成:矢量技术、消隐技术、光照模型、光线跟踪、图像操作与存储等。

(5) 高级技术:高端图形硬件、图形体系、反走样技术、动画技术等。

1.1.2 图形和图像

计算机图形学研究的对象是图形。构成图形的要素一般分为两类:刻画图形形状的点、线、面、体等几何要素和反映物体本身固有属性的非几何要素(如材质的明暗、灰度和色彩等)。计算机中表示带有颜色或形状信息的图形通常有两种方法:点阵法和矢量法。点阵法是用具有灰度或色彩信息的点阵来表示图形,它强调图形由哪些点(像素)组成,这些点(像素)有什么灰度或色彩;矢量法是用图形的形状参数和属性参数来表示图形的一种方法。形状参数可以是形状的方程系数、线段的起点和终点等几何属性,属性参数例如灰度、色彩、

线型和线宽等。根据这个分类,把参数描述的图形叫做图形,把点阵描述的图形称为图像。

实际上图形和图像之间是可以相互转换的,这也是计算机图形学的研究内容之一。如将图形和图像统称为图形的话,那么在计算机上显示图形的过程就是确定图形的几何位置和显示属性的问题。

1.1.3 计算机图形学与其他学科的关系

计算机图形学、数字图像处理(Digital Image Processing)和模式识别(Pattern Recognition)这三个学科有相似的地方,容易混淆。它们的共同之处就是计算机所处理的对象都与图形或图像有关系,但这三个学科有本质的区别。

计算机图形学是研究利用计算机表示、生成、处理和显示图形的原理、算法、方法和技术的一门学科,即根据图形的几何属性进行建模、变换以及确定图形像素点的几何位置,然后根据图形的非几何属性(如颜色、灰度和亮度等)来决定屏幕像素点的显示属性的过程。可见计算机图形学是研究根据图形的几何描述来生成图形的过程。

数字图像处理是利用计算机对本已存在物体的影像进行分析和处理以及再现图像的过程。数字图像处理主要研究如何对图像进行各种加工以改善图像的视觉效果或者对图像进行压缩编码以减少所需存储空间或传输时间等问题。

模式识别是指利用计算机对图形信息进行识别和分析描述,是从图形(图像)到描述的表达过程,该过程与计算机图形学的处理过程正好相反。三者的关系如图 1-1 所示。

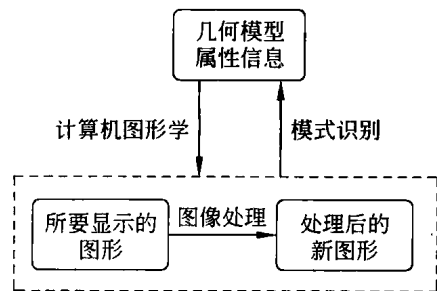


图 1-1 计算机图形学、图像处理和模式识别之间的关系

1.2 计算机图形学发展历史

计算机图形学的发展大致经历了三个阶段。

1. 20 世纪 50—60 年代为初步形成期

1950 年,第一台图形显示器作为美国麻省理工学院(MIT)旋风 I 号(Whirlwind I)计算机的附件诞生了,在 20 世纪 50 年代末期,MIT 的林肯实验室在“旋风”计算机上第一次使用了具有指挥和控制功能的 CRT 显示器,预示着交互式计算机图形学的诞生,如图 1-2 所示。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,图形硬件的研制推动了计算机图形学的发展。

1962 年,MIT 林肯实验室的 Ivan E. Sutherland 发表了一篇题为“Sketchpad: 一个人机交互通信的图形系统”的博士论文,他在论文中首次使用了计算机图形学(Computer Graphics)这个术语,证明了交互计算机图形学是一个可行的、有用的研究领域,从而确定了计算机图形学作为一个崭新的科学分支的独立地位。鉴于 Sutherland 在计算机图形学发展上的杰出贡献,他也被称为“计算机图形学之父”,图 1-3 为他和 SketchPad 的合照。

1962 年,雷诺汽车公司的工程师 Pierre Bézier 提出了 Bézier 曲线和曲面的理论,1964 年,MIT 的教授 Steven A. Coons 提出了超限插值的新思想,通过插值 4 条任意的边界曲线来构造曲面,这些基础理论方面的研究进一步推动了计算机图形学学科的发展。

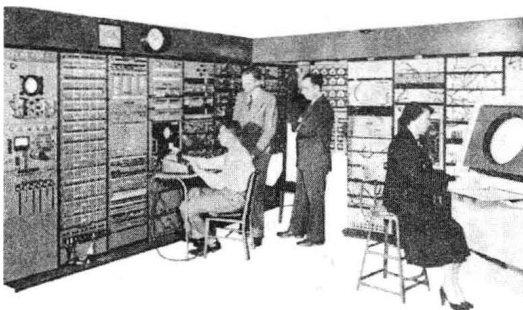


图 1-2 旋风 I 号计算机

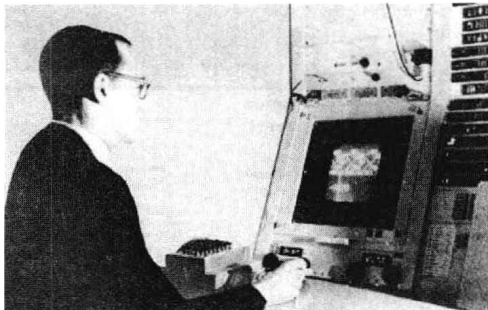


图 1-3 Sutherland 和第一个交互式的图形系统 SketchPad

2. 20 世纪 70—80 年代为高速发展期

图形硬件的飞速发展促进了计算机图形学的发展。20 世纪 70 年代由于光栅显示器的产生,光栅图形学算法迅速发展起来,区域填充、裁剪、消隐等基本图形概念及其相应算法纷纷诞生;20 世纪 80 年代中期,超大规模集成电路的迅猛发展,计算机运算能力的提高,图形处理速度的加快更进一步促进了图形学的发展。

20 世纪 70 年代,计算机图形学基础理论也得到迅速发展,真实感图形学和实体造型技术在这个时期产生了。1970 年 Bouknight 提出了第一个光反射模型,1971 年 Gourand 提出“漫反射模型+插值”的思想,被称为 Gourand 明暗处理。1975 年 Phong 提出了著名的简单光照模型——Phong 模型,这些都是真实感图形学的最早的开创性工作。1980 年 Whitted 提出了一个光透视模型——Whitted 模型,第一次给出了光线跟踪算法的范例;1984 年美国 Cornell 大学和日本广岛大学的学者分别将热辐射工程中的辐射度方法引入到计算机图形学中,用辐射度方法成功地模拟了理想漫反射表面间的多重漫反射效果。光线跟踪算法和辐射度算法的提出,标志着真实感图形的显示算法已经成熟。

3. 20 世纪 90 年代至今开始走向成熟

有可遵循的国际标准和公认的开发环境是计算机图形学走向成熟的重要标志。从 20 世纪 70 年代以来,ISO 陆续发布了 CGI,CGM,GKS,PHIGS 等图形标准。20 世纪 90 年代以来,也出现了一批成熟的商业化图形软件,如 AutoCAD,3D Studio MAX,Adobe Photoshop,Corel DRAW 等。

1.3 计算机图形学的应用

1.3.1 用户接口

所谓用户接口(UI)就是人与计算机进行交互的操作方式。用户接口的发展大致经历了以下几个阶段。最早的用户接口是由指示灯和机械开关组成的操纵界面,到了 20 世纪