

高等学校计算机专业教学改革推荐教材

计算机图形学基础 (OpenGL版)

主 编 ○ 徐文鹏

副主编 ○ 王玉琨 刘永和

● 经典基础 ·····

面向初学者，以经典图形学知识为主，重点介绍三维技术

● 服务教学 ·····

配有完整的实验教程与模拟试题，方便教学使用

● 强调编程 ·····

每章都配有完整的OpenGL程序代码示例，便于读者理解

● 课程网站: <http://opengl.cnblogs.com/> ● 配套教学资源下载: www.tup.com.cn

清华大学出版社



计算机图形学基础（OpenGL 版）

主 编 徐文鹏

副主编 王玉琨 刘永和

参 编 向中林 强晓焕

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书在广泛结合 OpenGL 并注重图形应用编程的基础上,介绍了计算机图形学的经典核心体系:图形系统、二维图形生成、几何变换、二维与三维观察、三维对象(实体造型与曲线曲面)、真实感图形技术、交互技术及动画。本书主要介绍计算机图形学经典理论知识,同时每一章都给出一至两个 OpenGL 编程实例来帮助读者更好地理解相关知识与技术,使读者能快速掌握如何生成二维图形与三维图形。书后有两个附录,分别为含有 8 个实验的课程实验指导与 3 套模拟试题及其答案。

本书注重对计算机图形学原理的理解和图形编程技术的掌握,非常适合作为高等院校计算机及相关专业计算机图形学本科课程的教材,也可作为地理信息系统、机械工程等专业选修计算机图形学课程的教材。同时,本书也适合作为具有熟练编程经验的其他专业学生和专业技术人员学习图形学及图形编程的自学教材。

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:OpenGL 版/徐文鹏主编. —北京:清华大学出版社,2014
ISBN 978-7-302-35109-2

I. ①计… II. ①徐… III. ①计算机图形学—教材 IV. ①TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 009208 号



责任编辑:杜长清

封面设计:刘超

版式设计:文森时代

责任校对:张兴旺

责任印制:何芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印刷者:清华大学印刷厂

装订者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:23

字 数:526 千字

版 次:2014 年 6 月第 1 版

印 次:2014 年 6 月第 1 次印刷

印 数:1~3800

定 价:39.90 元

产品编号:052630-01

前 言

计算机图形学是研究如何利用计算机生成、处理和显示图形的原理、方法和技术的—门学科。它以图形用户界面和可视化技术为典型应用，是信息技术中不可缺少的部分和发展基石，在计算机辅助设计制造、仿真模拟、娱乐动画等各个领域有广泛的应用。因此，国内外大学都纷纷将其列为计算机应用类课程中的一门重要专业基础课程。它在帮助学生直观、形象地理解计算机所处理的信息数据方面起着非常重要的作用。

与图形学技术日新月异的变化相比，图形学课程教学的发展却稍微显得有些滞后。当前，在计算机图形学教学中主要存在三种典型的教学体系，可总结为：面向理论、面向编程和问题解决。下面分别简单加以介绍。

1. 面向理论

面向理论教学体系教学目标上侧重于培养学生对计算机图形学理论知识的了解与掌握，教学内容上强调图形学知识与概念的系统性与整体性，重点放在概念的解释与原理的讲解，理论内容过多过重，包含大量的公式推导。这种体系下典型的教材代表是 David F.Rogers 的《计算机图形学算法基础》，Foley 的《计算机图形学原理及实践——C 语言描述（原书第 2 版）》，唐荣锡的《计算机图形学教程》，唐泽圣的《计算机图形学基础》，陈传波的《计算机图形学基础》，彭群生的《计算机图形学应用基础》，魏海涛的《计算机图形学》，孙家广、胡事民的《计算机图形学基础教程》，孙正兴的《计算机图形学教程》和何援军的《计算机图形学》等。这是传统的教学体系，一直在国内外许多学校教学中延续使用。

2. 面向编程

面向编程教学体系的理念是学以致用，在教学目标上既侧重于培养学生对计算机图形学理论知识的系统了解，同时更加强调培养学生了解并初步掌握一种典型的图形学 API，能正确使用图形学知识的能力。在教学内容上，主要从图形学的使用者角度来选取与介绍计算机图形学的必备理论与概念，摒弃不必要的数学知识与公式推导，不追求“罗列式的全面”，而追求“使用型的精炼”，同时书中配有典型图形学 API 的相应知识与使用介绍。这种体系下典型的教材代表是 Donald Hearn 的 *Computer Graphics with OpenGL*、Edward Angel 的 *Interactive Computer Graphics: A Top-Down Approach Using OpenGL (Fourth Edition)*、Hong Zhang 的《计算机图形学：应用 Java 2D 和 3D》、Francis S. Hill 的《计算机图形学》等，其中介绍的图形学 API 主要有三种：OpenGL、DirectX 及 Java。目前，这是一种主流的教学体系，正在逐渐被国内外大多数院校采用。

3. 问题解决

问题解决教学体系认为计算机图形学在深入理解复杂问题并与他人交流方面起着关键作用，在问题求解方面扮演了非常重要的角色。因此，在教学目标上它侧重于培养学生如

何利用计算机图形学知识建立与用户的有效交流,来完成问题图形化建模与解决的任务。在教学内容上它既包含计算机图形学的传统知识,如投影变换、建模、绘制、光照及着色处理等,介绍计算机图形学中一系列的基本概念和技术,并说明 OpenGL API 如何提供实现这些概念和技术的图形学工具;同时还着重介绍如何采用计算机图形学来解决实际问题,以及如何更有效地将结果展示给观察者的方法。其目的是使学生理解图形学概念,并学会使用图形 API 来实现图形学操作并为观察者创造有效的图像来解决不同领域的问题。这是较新的一种教学体系,在美国正在逐渐兴起,其典型的教材代表是 Steve Cunningham 的《计算机图形学》,国内已有其对应的中译本出版。

结合目前教学形势与学生情况,我们认为面向编程的教学方法仍是一种合适的选择。同时,图形学本科教学平台随着 OpenGL 的跨平台优势显现也逐渐转向 OpenGL,但教材市场中面向 OpenGL 平台教学的优秀教材大多为引进教材,如 Angel 或 Francis S. Hill 的教材,其特点为内容多、体量重、技术新。从本科教学需要来看,其实需要的是一本能体现短小、精炼、经典的教学体系的教材。本教材即定位于此,旨在服务于 32~48 学时的本科图形学教学。它具有以下特点:以经典图形学知识为主,同时注重结合 OpenGL 图形应用编程来详细介绍相关技术实例;以 OpenGL 为教学平台与实验平台,提供实验指导书与模拟试题,以更好地满足教学需要;内容精炼,服务本科教学需要,不过多涉及最新技术。

在阅读本书之前,读者应该了解 C 或者 C++ 语言,了解简单的数据结构知识,有一些线性代数的初步知识。

本书的内容组织如下:第 1 章简要介绍图形学的目标、任务、相关学科、应用领域及发展情况;第 2 章介绍图形系统相关知识;第 3 章讨论二维图形,如直线、圆等基本图元的生成技术;第 4 章介绍图形几何变换;第 5、6 章讨论二维与三维观察;第 7 章介绍三维对象,如实体造型、曲线曲面等知识;第 8 章介绍真实感图形技术;第 9 章讨论交互技术;第 10 章简要介绍动画的一些基本知识;附录 A 是含有 8 个实验的实验教程;附录 B 含有 3 套模拟试题及答案。

欢迎读者在阅读本书的过程中,对本书存在的缺点和问题提出批评与建议。笔者个人博客:<http://opengl.cnblogs.com/>,欢迎大家留言,同时上面会有一些与本教材相关的章节代码、实验等内容。

本书由河南理工大学徐文鹏、王玉琨、刘永和、向中林和强晓焕老师共同编写。具体分工如下:第 1 章、第 10 章、附录 A 由徐文鹏编写,第 2 章、第 5 章、附录 B 由强晓焕编写,第 3 章、第 7 章由刘永和编写,第 4 章、第 6 章由向中林编写,第 8 章、第 9 章由王玉琨编写。

感谢河南理工大学及笔者所在的计算机学院,没有他们的支持与鼓励,不可能完成此书。我校的侯守明、王辉连两位老师给本书的编写提了很多很好的意见,在此一并致谢。本书编写过程中,参阅了许多计算机图形学的参考书及相关资料,谨向这些书的作者和译者表示衷心的感谢。

感谢清华大学出版社及苏明芳编辑,在本书的出版过程中,我与苏明芳编辑合作非常愉快。同时,向从事编辑和校对工作的同志深切致谢!

欢迎读者在阅读本书的过程中,对本书存在的缺点和问题提出批评与建议。

编者

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 计算机图形学的目标与任务	1
1.1.1 视觉交流是计算机图形学的核心目标	1
1.1.2 计算机图形学的三个基本任务	2
1.2 计算机图形学的内容体系	3
1.3 计算机图形学相关学科	5
1.3.1 图形与图像	5
1.3.2 相关学科	7
1.4 计算机图形学的应用领域	8
1.4.1 计算机辅助设计与制造 (CAD/CAM)	8
1.4.2 科学计算可视化 (Visualization in Scientific Computing)	10
1.4.3 虚拟现实 (Virtual Reality)	10
1.4.4 动画 (Animation)	11
1.5 计算机图形学的发展	12
1.5.1 计算机图形学的发展简史	12
1.5.2 计算机图形学的发展趋势	15
习题 1	17
第 2 章 图形系统	18
2.1 图形系统概述	18
2.1.1 图形系统组成结构	18
2.1.2 图形系统分类	22
2.2 图形系统体系结构	23
2.2.1 概述	23
2.2.2 应用程序阶段	24
2.2.3 几何处理阶段	24
2.2.4 光栅阶段	25
2.3 图形支撑软件	25
2.3.1 OpenGL	26
2.3.2 DirectX	28
2.3.3 Java 2D 和 Java 3D	28
2.4 图形硬件显示原理	29

2.4.1	图形显示设备及工作原理	29
2.4.2	图形显示方式	34
2.4.3	光栅扫描图形显示系统	37
	习题 2	39
第 3 章	二维图形生成	40
3.1	直线生成算法	40
3.1.1	数值微分法	41
3.1.2	逐点比较法	42
3.1.3	Bresenham 画线法	45
3.1.4	中点画线法	48
3.2	圆弧绘制算法	50
3.2.1	基于光栅的整圆绘制算法	51
3.2.2	角度离散法绘制圆弧和椭圆弧	54
3.3	区域填充	55
3.3.1	种子填充算法	56
3.3.2	多边形填充算法	58
3.4	字符	62
3.4.1	字符的编码	62
3.4.2	点阵字符	62
3.4.3	矢量字符	63
3.5	反走样技术	64
3.6	编程实例——地图绘制	66
3.6.1	地图绘制方法	66
3.6.2	基于 OpenGL 的地图绘制	67
	习题 3	69
第 4 章	图形几何变换	71
4.1	二维几何变换	71
4.1.1	基本变换	71
4.1.2	二维复合变换	83
4.1.3	二维坐标系间的变换	86
4.2	三维几何变换	88
4.2.1	基本变换	88
4.2.2	三维复合变换	93
4.2.3	三维坐标系间的变换	98
4.3	图形几何变换的模式	99
4.3.1	固定坐标系模式	100
4.3.2	活动坐标系模式	101

4.4 编程实例——三角形与矩形变换	102
习题 4	112
第 5 章 二维观察	113
5.1 二维观察概述	113
5.2 二维观察流水线	114
5.2.1 坐标系统	115
5.2.2 坐标系之间的变换	116
5.3 裁剪	118
5.3.1 点的裁剪	119
5.3.2 直线裁剪	119
5.3.3 多边形裁剪	124
5.3.4 其他裁剪	126
5.4 OpenGL 二维观察简介	127
5.4.1 OpenGL 投影模式	128
5.4.2 GLU 裁剪窗口函数	128
5.4.3 OpenGL 视区函数	129
5.5 编程实例——红蓝三角形	129
习题 5	131
第 6 章 三维观察	132
6.1 三维观察流水线	132
6.2 观察变换	133
6.2.1 三维观察坐标系参数	133
6.2.2 世界坐标系到观察坐标系的变换	136
6.3 投影变换	141
6.3.1 投影分类	141
6.3.2 平行投影	142
6.3.3 透视投影	149
6.4 三维裁剪	155
6.4.1 观察体及规范化	155
6.4.2 三维裁剪算法简介	163
6.5 编程实例——立方体透视投影	166
习题 6	168
第 7 章 三维对象	169
7.1 三维对象概述	169
7.2 三维实体表示基础	170
7.2.1 基本几何元素	170

7.2.2	几何信息与拓扑信息	170
7.2.3	几何造型模型	171
7.3	三维实体表示方法	172
7.3.1	边界表示	172
7.3.2	扫描表示	175
7.3.3	构造实体几何表示	176
7.3.4	空间细分表示	177
7.3.5	编程实例——简单实体构建	178
7.4	三次参数曲线	181
7.4.1	基本特性	181
7.4.2	Hermite 曲线	182
7.4.3	Bezier 曲线	187
7.4.4	B 样条曲线	194
7.5	双三次参数曲面	200
7.5.1	Coons 曲面	201
7.5.2	Bezier 曲面	202
7.5.3	B 样条曲面	204
7.5.4	双三次参数曲面片的绘制	205
7.5.5	编程实例——Bezier 曲线曲面绘制	206
	习题 7	210
第 8 章	真实感图形技术	211
8.1	概述	211
8.1.1	真实感图形生成流程	211
8.1.2	真实感图形特点	212
8.2	消隐算法	213
8.2.1	消隐基础知识	213
8.2.2	平面立体消隐算法	218
8.2.3	深度缓冲器算法	223
8.2.4	画家算法	226
8.3	颜色模型	230
8.3.1	物体的颜色	230
8.3.2	颜色空间	231
8.3.3	常用颜色模型	232
8.3.4	OpenGL 中的颜色模型	233
8.4	光照模型	236
8.4.1	基本光照模型	236
8.4.2	明暗度处理模型	240

8.4.3	透明与阴影	244
8.4.4	光线追踪模型	246
8.5	纹理映射技术	252
8.5.1	概述	252
8.5.2	颜色纹理映射	253
8.5.3	几何纹理映射	256
8.5.4	环境映射	257
8.6	OpenGL 真实感图形	258
8.6.1	OpenGL 光照函数	258
8.6.2	物体表面特性函数	262
8.6.3	OpenGL 纹理映射	263
8.6.4	编程实例——纹理映射	266
	习题 8	268
第 9 章	交互技术	269
9.1	人机交互界面	269
9.1.1	用户接口模型	269
9.1.2	信息输入控制方式	271
9.2	交互技术	273
9.2.1	交互输入技术	273
9.2.2	交互控制技术	274
9.2.3	图形拾取技术	277
9.3	OpenGL 交互式绘图	281
9.3.1	OpenGL 选择模式	281
9.3.2	OpenGL 反馈模式	283
9.3.3	编程实例——图形拾取	284
	习题 9	287
第 10 章	计算机动画	288
10.1	动画简介	288
10.2	关键帧动画技术	289
10.2.1	关键帧插值	290
10.2.2	基于网格的图像变形技术	291
10.2.3	FFD 自由变形技术 (Free-Form Deformation)	292
10.2.4	关节动画和角色动画	293
10.3	过程动画	295
10.3.1	粒子系统	296
10.3.2	基于物理模型的布料动画	297
10.4	OpenGL 动画	299

10.4.1 双缓存技术	299
10.4.2 OpenGL 帧缓存	300
10.4.3 编程实例——太阳系动画	302
习题 10	305
参考文献	306
附录 A 课程实验指导	307
附录 B 模拟试题	336

第 1 章 绪 论

图形图像是现代信息化社会的重要支柱。计算机图形学便是与图形图像密切联系的一门综合性学科。所有现代科学和工程领域几乎都可以采用计算机图形以加强信息的传递与表达,因此当今的科学家和工程师都需要具备计算机图形学的基本知识。从应用领域来看,计算机图形学在造船、航空航天、汽车、电子、机械、建筑、影视、轻纺、化工等众多领域有着广泛的应用,而这些应用又在不断地推动着计算机图形学的发展,进一步充实和丰富了它的内容。

本章将主要讨论计算机图形学的目标与任务、内容体系、应用领域及其发展等方面的内容,使读者对计算机图形学有个整体的认识。

1.1 计算机图形学的目标与任务

1.1.1 视觉交流是计算机图形学的核心目标

视觉交流在人类的生产与生活中发挥着极其重要的作用。生活中,视觉交流广泛存在于电影、游戏、广告图示等行业中。而另一方面,视觉交流对人类生产也有着重要的推动与促进作用。历史证明,人类的视觉在科学发现中发挥过杰出的作用。通常在可视化方面,关键技术的出现就是重大科学发现的前奏。望远镜和显微镜在天文学和生物学发展中的作用就是明证。这些工具放大和扩展了人类眼睛的功能。今天,这个道理仍然成立。人类的视觉交流功能,允许人类对大量抽象的数据进行分析。新的数据开发工具,可以大大拓展我们的视力。人的创造性不仅取决于人的逻辑思维,而且取决于人的形象思维。

计算机图形学的核心目标在于创建有效的视觉交流。在科学领域,图形学可以将科学成果通过可视化的方式展示给公众;在娱乐领域,如在 PC 游戏、手机游戏、3D 电影与电影特效中,计算机图形学发挥着越来越重要的作用;在创意或艺术创作、商业广告、产品设计等行业,图形学也起着重要的基础作用。而在科学领域中,这一点是在 1987 年关于科学计算可视报告中才被重点提出。该报告引用了 Richard Hamming 在 1962 年的经典论断:“计算的目的是洞察事物的本质,而不是获得数字。”报告中提到了计算机图形学在帮助人脑从图形图像的角度理解事物本质的重要作用,因为图形图像比单纯数字具有更强的洞察力。

视觉交流的一个基本问题是如何通过图形或几何的方式来表示或展示一些问题或信息。不管是在科学领域内还是在领域外,计算机图形学通过图形图像的方式提供了对问题

与信息的一个更好的展示与理解方式。我们用可视的图形术语表达问题，通过建立实际的图形图像把问题具体化，最后把图像作为对问题进行表示和深入理解的工具，由此实现对问题的更深刻认识与理解，最终达到最优化的求解方案。如图 1.1 所示为视觉交流的闭环环描述，这一过程通常可分解为以下三个阶段。

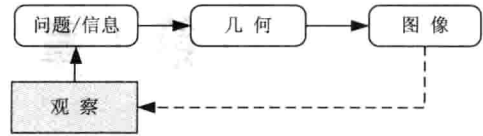


图 1.1 视觉交流基本问题

(1) 观察→问题/信息：通过观察、思考，明确问题或要传达的信息。

(2) 问题/信息→几何：通过建模表达问题，使问题被更抽象地表示，在此基础上用几何模型表示出问题或信息。

(3) 几何→图像：由几何模型生成图像，将问题或信息可视化。

以上过程可能是一个反复循环的过程，不断优化直到问题得到完美解决。

1.1.2 计算机图形学的三个基本任务

模型-视图-控制器 (MVC 模式) 是一种非常经典的软件架构模式，在 UI 框架和 UI 设计思路中扮演着非常重要的角色。MVC 是三个单词的首字母缩写，它们是 Model (模型)、View (视图) 和 Controller (控制器)。

这个模式认为，程序不论简单或复杂，从结构上看，都可以分成三层：最上面的一层，是直接面向最终用户的“视图层”(View)，它是提供给用户的操作界面，是程序的外壳；最底下的一层，是核心的“数据层”(Model)，也就是程序需要操作的数据或信息；中间的一层，就是“控制层”(Controller)，它负责根据用户从“视图层”输入指令，选取“数据层”中的数据，然后对其进行相应的操作，产生最终结果。

参考 MVC 模式，可以针对计算机图形学给出下列类似表示：

计算机图形学=表示+绘制+交互

计算机图形学核心目标 (视觉交流) 可以分解为三个基本任务：表示、交互、绘制，即如何在计算机中“交互”地“表示”、“绘制”出丰富多彩的主、客观世界，如图 1.2 所示。这里的“表示”是如何将主、客观世界放到计算机中去——二维、三维对象的表示与建模；而“绘制”是指如何将计算机中的对象用一种直观形象的图形图像方式表现出来——二维、三维对象的绘制；“交互”是指通过计算机输入、输出设备，以有效的方式实现“表示”与“绘制”的技术。其中，“表示”是计算机图形学的“数据层”，是物体或对象在计算机中的各种几何表示；“绘制”是计算机图形学的“视图层”，指将图形学的数据显示、展现出来。“表示”是建模、输入，“绘制”是显示、输出。“交互”是计算机图形学的“控制层”，它负责完成有效的对象输入与输出任务，解决与用户的交互问题。

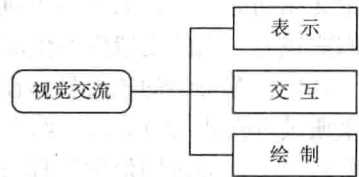


图 1.2 图形学目标与任务

1.2 计算机图形学的内容体系

根据上述图形学的目标与任务分析,结合本书的章节内容,可以得到本书的计算机图形学内容体系,如图 1.3 所示。其中,图形学基础模块是学习计算机图形学的一些数学与相关软硬件的基础知识;建模与表示模块是为了解决图形学的表示任务;绘制模块用来解决图形学的绘制任务;交互技术模块对应图形学的交互任务。各知识模块内容简要介绍如下。

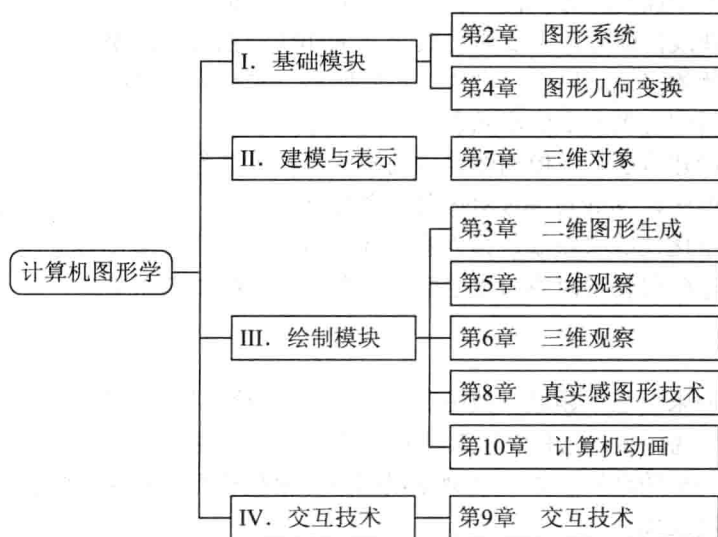


图 1.3 本书的计算机图形学内容体系

1. 基础模块

图形学基础主要包括数学以及与之相关软、硬件基础知识。数学基础知识包括向量、矩阵、齐次坐标和几何变换等,是计算机图形学中重要的计算工具,它们被大量地运用到真实感图形生成过程中的法向计算,还有直线、平面及各种曲面的计算,曲线曲面的构造与光顺等。其中向量、矩阵等知识请读者自行查阅相关书籍,本书不作介绍。几何变换知识将在第 4 章重点介绍。

软、硬件基础知识包括常见图形 API,如 OpenGL、Direct3D 等,图形输出设备与输出技术的简单基础知识如光栅显示器基本原理、颜色处理与颜色模型等。这些知识将在第 2 章中介绍。

2. 建模与表示模块

要想实现有效的视觉交流,首先要有对象或信息的几何模型,因此建模是计算机图形学的首要工作。建模与表示模块的主要内容就是研究如何用图形方式表示现实或虚拟世界

中的对象与信息,如一座房子、一辆汽车、一个电影角色等。这种表示有时是近似的,如电影中的角色与对象;有时模型需要有一定的精确度控制,如 CAD 中的模型,要生产制造出它们,必须满足一定的精度要求才行。

模型在外部显示上通常以点、线、面、体等各种几何元素及它们的组合来表现,而在计算机内部则是通过坐标、连接关系所对应的几何信息与拓扑信息来表示,当然最终所有的模型信息仍然由二进制数来表示。不管从模型的外部还是模型的内部来看,模型本质上都与几何有关,同时又是由二进制数字表示,因此从某种程度来说,模型应称为数字几何模型。

建模与表示模块主要包含几何模型的表示与创建两方面。几何模型的表示方法主要有多边形网格、曲线曲面与细分曲面三种方式。多边形网格方法是通过一些小多边形及其组合来表示物体;曲线曲面方法主要通过数学上 NURBS 曲线曲面来表示对象;细分曲面则通过反复细化初始的多边形网格,产生一系列网格,来趋向于最终的细分曲面。每个新的分步骤产生一个新的有更多多边形元素并且更光滑的网格。

几何模型的创建方法几乎像物体自身的形状那样丰富且富于变化。最主要的创建方法是通过三维建模程序如 Maya、3ds Max 等来创建所需对象;也可以直接从设备如三维激光扫描仪或三维数字化仪等来获取数据创建物体几何模型;或者通过多张照片、深度照片或者视频来创建。建模与表示模块知识主要集中在本书的第 7 章介绍。

3. 绘制模块

“绘制”一词来自艺术领域,按中文字面理解,“绘”指用图形图像表达,“制”是制作,有制作者的主观因素,也有制作工具的因素。“绘制”更强调制作者通过制作工具来表示或展现自己对物体的理解,如一个画家根据石膏模型进行素描速写将其展现在画布上即为一个简单的绘制过程。

在计算机图形学中,绘制主要指将计算机中对象的数字几何模型转换为直观形象的图形或图像形式,是一个数字几何模型的视觉可视化过程。它实质上是综合利用数学、光学、计算机等知识,将数字几何模型的形状、光学特性等,及物体间的相对位置、遮挡关系等信息在计算机屏幕上再现出来。

绘制过程通常是由计算机系统的绘制流水线来实现。绘制流水线依托基于光栅的专用软硬件体系结构,它能够快速将物体的数字几何模型转换为计算机屏幕显示的像素集合。一般可分为三个阶段:应用程序,几何处理,像素处理。应用程序阶段一般是通过应用程序给图形系统软、硬件提供物体的数字几何模型信息,这种信息通常以图元的形式提供,如用来描述数字几何模型的点、线或多边形。几何处理阶段是以每个顶点为基础对几何图元进行处理,并完成数字几何模型信息从三维坐标变换为二维屏幕坐标的过程。第 5 章中的二维观察及第 6 章中的三维观察处理上述坐标转换问题,第 8 章中的真实感图形主要处理光照及像素颜色信息。在像素处理阶段,屏幕对象先是被传送到像素处理器进行光栅化,再对每个像素进行着色,然后再输出到帧缓冲器中,最后输出到显示器。第 3 章主要介绍这方面的内容。动画是图形学的重要内容之一,有学者将其与建模、绘制区分开,这里我们没有详细区分,将其视为绘制内容,在第 10 章将介绍这部分内容。

4. 交互技术

如前所述,交互技术是为了满足有效、高效地完成模型表示、绘制任务,解决与用户的交互问题的需要。因此,需要针对图形对象,研究合适的输入方法、操作方法,也就是友好的人机界面。一个友好的人机用户界面能大大提高图形表示与绘制的易用性和操作效率。

交互技术是计算机图形学中相对独立的一部分,主要包括人机交互方式、典型的人机交互技术,如定位技术、菜单技术、拾取技术、定值技术、橡皮筋技术、拖曳技术、网格与捕捉技术等,其技术比较成熟,已形成以 WIMP (Windows 窗口、Icon 图标、Menu 菜单及 Pointer 指示) 为特征的图形用户界面。图形用户界面使得计算机软硬件操作的友好性得到巨大改善,很好地推动了计算机的普及应用。第 9 章将主要介绍交互技术这方面知识。

1.3 计算机图形学相关学科

与计算机图形学关系非常紧密的学科有数字图像处理、机器视觉、计算几何、计算机辅助几何设计等,它们与计算机图形学之间相互渗透、相互交叉,在很多地方学科边界越来越模糊。在介绍这些学科之间的关系之前,有必要先对图形与图像这两个易混淆的概念作一个简单区分。

1.3.1 图形与图像

人们生活在一个客观的世界中,大部分的事物都是有“形”的,看得见摸得着,可以描述它们的形状。“形”因此成为人们认识事物和相互交流的一个关键元素。正是因为它的存在,人们在交流时,一谈到某事物概念,就会首先联想到它的形状,如圆形、方形等。图形方式在表达物体信息时具有直观、形象的优势,具有不同于语言和文字的独特功能,同时它还能够清晰地表示出一些语言和文字难以准确描述的信息,如图 1.4 所示。

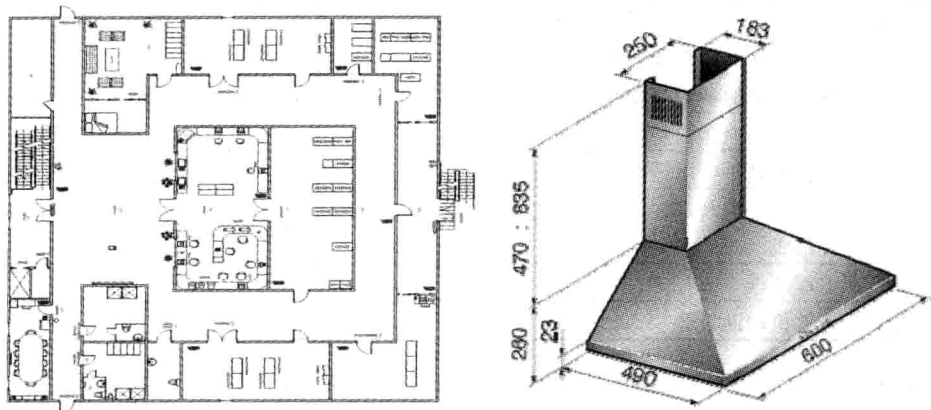


图 1.4 图形信息表示

从图形的发展历史来看,图形是一个不断发展和变化的概念。在早于计算机图形学和计算机辅助设计的时代,图形就是用油墨在纸上绘制出的所有线条,包括各种几何图形,以及由函数式、代数方程所描述的图形,这是人们习惯的图形概念。然而,随着计算机及计算机图形学技术的迅速发展,目前计算机图形处理的范围已远远超出了传统的图形概念,如今的图形已不同于绘制在图纸上的线条图形,它由点、线、面、体等几何要素和明暗、灰度(亮度)、色彩等非几何要素构成,它不仅包括具有形状的几何信息,还包括颜色、材质等非几何信息。例如,考虑一个红色的圆圈这样一幅图形,我们不仅要指出这个圆的数学方程,同时也要指出这个圆的颜色。因此,图形通常可用形状参数和属性参数来表示。形状参数描述其形状的数学方程的系数、线段的起始点及终止点等,它突出图形的数学描述,强调图形的“形”的方面,即几何概念;属性参数则包括明暗、灰度、色彩、线型等非几何属性,强调图形的“图”的要素。

无论是早期图纸上的油墨线条,还是如今带有灰度、色彩及形状的图形,从性质上来看,图形都是真实物体或想象物体的可视化抽象显示与表示。不同的是,早期它是简单抽象的表示,而现在它是更加真实的抽象表示。图 1.4 所给的两个例图有力地证明了这一点。

与图形紧密联系的另一个重要概念是图像。从广义上说,图像是对自然界事物的客观反映,它也是一个不断发展的概念。早期英文书籍中一般用 `picture` 代表图像,其原意是指各种图片、图画、照片及光学影像,是采用绘画或者拍照的方法获得的人、物、景的模拟。现在普遍采用 `image` 代表离散的数字图像,`image` 的含义是“像”,是客观世界通过光学系统产生的视觉映像。计算机只能处理离散的数据,图像数据若需要用计算机进行存储、显示或处理,首先需要对其进行数字化。数字化即为对图像 x 、 y 方向的网格化和颜色、灰度信息的量化。因此,计算机图像又称为数字图像,它就是离散化后的图像数据。数字图像的每个基本单元叫做像素,每个像素具有灰度或颜色信息。因此,数字图像强调图像由哪些点组成,并具有灰度或颜色两方面信息。

从本质上来说,图像是记录在介质上的客观对象的映像。对于计算机这种介质而言,它就是数字图像。图形与图像两个概念的差异如表 1.1 所示。

表 1.1 图形与图像的比较

比较内容	图 形	图 像
基本元素	矢量元素,如直线、圆和多边形等	像素
存储数据	各个矢量的参数(属性)	各个像素的灰度或颜色分量
处理方式	旋转、扭曲、拉伸等	对比度增强、边缘检测等
缩放结果	不会失真,可以适应不同的分辨率	放大时会失真,可看到颗粒状像素
其他	图形不是主观存在的,是我们根据客观事物而主观形成	对客观事物的真实描述
实例	工程图纸	照片
应用领域	计算机辅助设计	图像处理

工程图纸是图形,照片是图像,图形关心的是线条及其各种属性,图像关心的是各像素的灰度值,由此人们不难区分两者的差异。同时,两者之间有着紧密的联系。理想的图