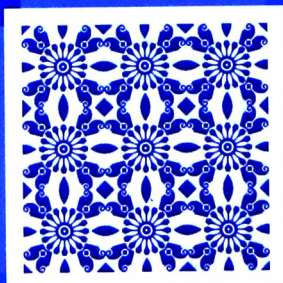




COMPUTER GRAPHICS
PRINCIPLES AND PRACTICES

计算机图形学 及其实践教学

黄静 编著



机械工业出版社
China Machine Press

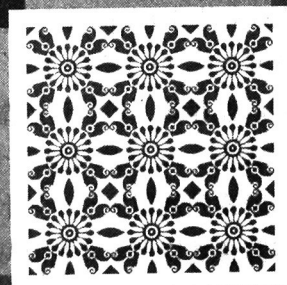
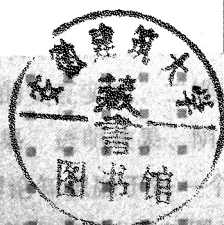
高等院校计算机教材系列

C

COMPUTER GRAPHICS
PRINCIPLES AND PRACTICES

计算机图形学 及其实践教学

黄静 编著



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

计算机图形学及其实践教程 / 黄静编著. —北京: 机械工业出版社, 2015.5
(高等院校计算机教材系列)

ISBN 978-7-111-50384-2

I. 计… II. 黄… 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 (2015) 第 112205 号

本书分教程和实验两部分, 全面地介绍了计算机图形学的基础知识, 强调课程的理论教学与实践内容并重。教程部分共分 11 章, 主要内容包括: 绪论、计算机图形系统组成、OpenGL 编程基础、基本图元的生成、OpenGL 中基本图元的绘制、图形用户界面与交互技术、图形变换、三维观察与投影变换、真实感图形绘制、曲线曲面造型、三维形体的表示等。在实践环节, 配备 17 个实验进行知识块训练, 锻炼读者解决问题的能力。

本书可作为高校本科生计算机及其相关专业必修或选修课的教材或参考书, 还可作为社会各界人士计算机图形学入门的自学教材。

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 余 洁

责任校对: 殷 虹

印 刷: 北京诚信伟业印刷有限公司

版 次: 2015 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 185mm × 260mm 1/16

印 张: 25.5 (含 0.25 印张彩插)

书 号: ISBN 978-7-111-50384-2

定 价: 49.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzjsj@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

序 一

“计算机图形学”课程涉及很多数学基础和三维空间概念，具有很强的应用价值。图形学的算法抽象难懂，需要空间想象能力。同时，该课程的实践性很强，抽象的算法需要用计算机来实现，数据和图形要用计算机显示出来，所编制的程序需要实现人机交互。

根据多年的教学经验，黄静教授在书中很好地将理论和实际结合起来，通过大量实例，既加深了学生对理论的理解，又能够使学生学以致用，提高了学生的学习兴趣和编程能力。因此，本书无疑是理论与实际高度结合的计算机图形学的一本好教材。

全书分为 11 章，系统阐述了图形学的基本图元算法、图形交互技术、图形变换、真实感图形生成、曲线曲面造型和三维形体表示技术。书中对图形学基础算法做了一些删减，仅保留了必要的、重要的核心理论。例如基本图元的生成介绍了 DDA 算法、Bresenham 算法等，删去了椭圆的生成算法。又如隐藏线消除算法中选择现有图形标准库常用的深度缓冲算法做重点讲解，其他算法一笔带过。

本书的重心转移到 3D 真实感图形技术上，着重介绍纹理映射、光照明模型、雾的效应、透明的设置和阴影的生成，让学生和最新的真实感图形技术保持零距离接触，激发学生的学习兴趣。

教材强化了上机实践部分，给出了 17 个计算机图形学实验，涵盖 OpenGL 基本图形绘制、基本图元算法的验证、图形的交互实现、二维裁剪算法验证、3D 基本编程、3D 漫游世界、光照明模型、纹理映射、雾的效果、透明效果、阴影实现、曲线曲面造型设计等。黄静老师善于通过案例来进行实验教学，将理论知识融于每一个实验案例中，每个案例完整生动，寓教于乐，有助于激发学生的学习兴趣。例如在进行 2D 图形变换实验时，设计了一个太阳系的案例，实现太阳、地球、月球自转，地球围绕太阳公转，月球围绕地球公转，从而加深学生对复合旋转变换的理解。线段裁剪算法实验单元首先设计了鼠标画线段小程序，让学生通过鼠标在屏幕上任意画出一条条直线段，然后加上线段裁剪算法，一步步改写，实现在屏幕上绘制一个任意大小的矩形窗口，而原来鼠标绘制的线段被矩形窗口裁剪，窗口之内的线段保留，窗口之外的线段抛弃，从而使抽象算法在屏幕上得以形象化。在 3D 图形实验阶段，首先通过线框模型让学生了解 3D 物体的空间造型；然后对比 3D 太阳系和 2D 太阳系，帮助学生了解 2D 和 3D 图形的区别；紧接着通过 3D 机器人行走实验让学生进一步理解 3D 图形变换的用途；通过模仿游戏中的漫游，让学生掌握 3D 场景视点的变换和键盘鼠标的交互；然后在漫游的线框场景基础上逐步加上光照材质、雾、透明、阴影和纹理的效果，让学生体验线框模型和真实感图形的区别。曲线曲面造型实验单元除了经典的 Bézier 曲线曲面造型实现外，还特地增加了多结点样条曲线曲面造型实现。Bézier 曲线曲面是逼近的方法，多结点样条方法为插值的方法，这样可以让学生更加深刻地理解逼近和插值的区别。曲面造型能让学生看到曲面的控制点表示、线框架构表示、设计图案表示和图片纹

理表示等几种不同形式，提升空间想象能力。

整个实验环节由简单到复杂、由 2D 到 3D、由静止到互动，循序渐进，学生可以根据自己的能力，不断扩展实验的范围和难度，发挥创造性，更加直观地了解计算机图形学的理论知识。

黄静教授 2002 ~ 2005 年在澳门科技大学攻读博士学位，自 2005 年博士毕业后一直在北京师范大学珠海分校信息技术学院从事计算机图形学教学工作。在教学过程中，她根据学生的实际情况，参考国内外多本教材，反复试验，改进教学内容和方法。十年磨一剑，经过十年的努力，她终于结合自己的教学经验编写了本书，可喜可贺！我相信本书将在同类学校计算机图形学课程的教学中得到广泛的应用，并受到学生的欢迎！

澳门科技大学 唐泽圣教授

2015 年 5 月 20 日

序 二

我跟黄静老师相识是通过她的学生。我一直在珠海金山软件西山居游戏工作室从事游戏引擎的开发工作。游戏引擎开发工程师一直是很稀缺的人才，我们一直依靠和学校合作，定向培养的方式来获得人才。主要原因在于游戏图形技术变化很快，而传统的计算机课程和教学都比较基础，离实用很远。根据我们这些来自企业的实际需求，黄静老师在学校期间教授计算机图形学相关知识的同时，学生跟着黄静老师做图形学相关项目，学生的项目实践能力得到了培养与提高。我们在学生大二、大三就开始介入教学过程，也派出过资深开发专家讲课，通过这些共同的努力，黄静老师几年来为西山居工作室培养了一批学生，其中一些学生成为金山公司的游戏开发骨干。

现在黄静老师通过几年的努力编写了计算机图形学教材，这部教材实践性和可读性很强，既有扎实的理论知识，又有生动有趣的实验，建议推广使用。

金山西山居游戏开发公司助理总裁 杨林

2015年5月13日

前 言

本书全面地介绍了计算机图形学的基础知识，强调课程的理论教学与实践内容并重，配有实验内容。编写本书的目的是让学生了解计算机图形学技术的发展、应用和最新成果，掌握计算机图形学的核心理论和算法，使学生具有基本 2D 和 3D 图形程序的空间造型、基本图形编程能力和实践应用能力。

本书根据作者多年的教学实践经验编写而成，在内容安排和课程实验的配置上充分考虑了教师的教学计划与学生的接受理解能力。全书共分 11 章。第 1 章绪论，介绍计算机图形学及其相关概念，计算机图形学的发展、应用及相关技术；第 2 章计算机图形系统组成，包括计算机图形系统的体系结构、硬件设备以及图形软件及其标准；第 3 章 OpenGL 编程基础，首先叙述了 OpenGL 的一些基本概念，然后通过简单实例介绍 OpenGL 编程的基本知识；第 4 章基本图元的生成，包括点、直线、圆的生成算法，多边形的填充算法，字符生成和光栅图形的反走样算法；第 5 章 OpenGL 中基本图元的绘制，介绍了点、直线、多边形、圆、字符绘制方法以及反走样的实现；第 6 章图形用户界面与交互技术，首先对人机交互技术与图形用户界面做了系统叙述，然后详细描述了 OpenGL 交互与动画技术的实现，包括键盘和鼠标交互、时间动画等技术；第 7 章图形变换，包括二维几何变换及组合变换、二维观察流程、二维直线裁剪算法及其实现、三维几何变换及组合变换、OpenGL 三维图形变换及其实例；第 8 章三维观察与投影变换，包括三维观察流程、投影变换、平行投影与透视投影、三维裁剪以及 OpenGL 三维观察实现；第 9 章真实感图形绘制，叙述了颜色模型、光照基础知识、Phong 光照模型、消隐技术、OpenGL 的简单光照实现；第 10 章曲线曲面造型，首先叙述了曲线曲面基础知识，然后分别对 Bézier、B 样条、NURBS 和多结点样条曲线曲面的定义及性质做了详细介绍，并对这几种曲线曲面造型算法进行了比较，最后讲述了 OpenGL 曲线曲面绘制方法；第 11 章三维形体的表示，对现有几种三维形体造型方法及其应用场合做了阐述，给出了 OpenGL 分形和粒子系统的实现方法。

本书具有如下特点：

1) 精选内容、突出主线。计算机图形学在发展过程中不断推陈出新，为适应教学，本书增添了成熟的新内容，强调核心算法，对部分图形学算法进行取舍，重心向 3D 真实感图形技术偏移。

2) 强调交互和动画技术。交互与动画是计算机图形学的重要环节。本书不仅介绍了交互和动画技术的理论知识，在实验环节还设有专门的交互和动画实验，并且几乎每个实验都有交互和动画部分。

3) 与 OpenGL 编程技术结合，设有配套实验。加强实践教学，配套极富特色的实验单元。所有配套实验单元均是笔者自主设计，每个实验单元都是一个完整案例。例如鼠标画线、太阳系、3D 机器人、漫游场景、线段窗口裁剪、雾透明与阴影、曲线曲面造型等。整个实验穿插

证性、设计性和综合性，由浅至深、由易到难、由简单到交互、由 2D 到 3D，循序渐进。

4) 本书图文并茂，强调“用图说话”，浅显易懂，并配有彩页突显效果。

5) 书中案例的所有代码均通过 Windows7/Windows8、OpenGL 库和 Microsoft Visual Studio 2010 C++ 编译环境测试，主要分 Win32 窗口项目和控制台程序两种类型，可以登录华章网站 (www.hzbook.com) 下载。

本书由黄静教授编写，陈嘉同学进行了部分校对工作。在编写过程中，得到了北京师范大学珠海分校质量工程项目及信息技术学院史兰芳老师的大力支持。同时，作为笔者攻读博士期间的导师，澳门科技大学唐泽圣教授和齐东旭教授在研究学习方面给予了巨大帮助。其中，唐泽圣教授亲自为本书写序，并对本书的编写给出了非常中肯的意见；齐东旭教授为本书提供了多结点样条曲线曲面造型的理论知识和相关参考文献。感谢澳门科技大学资讯科技学院的蔡占川副教授、梁延研助理教授和叶奔同学（毕业于北京师范大学珠海分校，现于澳门科技大学攻读博士学位）的帮助。此外，感谢金山西山居杨林助理总裁对本书的关注和支持。

本书在编写过程中借鉴了国内外许多专家、学者的观点，参考了许多相关教材、专著、网络资料，在此向有关作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限且时间仓促，本书难免有不足和错误之处，请各位专家、读者批评指正。

作者

2015 年 5 月

教学建议

教学章节	教学要求	课时
第 1 章 绪论	了解计算机图形学的概念、研究内容、应用和当前的热点	2
第 2 章 计算机图形系统组成	掌握计算机图形系统的构成和基本概念, 并掌握图形输入输出设备的发展	2
第 3 章 OpenGL 编程基础	掌握 OpenGL 编程基础	2
	上机操作: 实验一 OpenGL 图形编程入门	2
第 4 章 基本图元的生成	掌握直线的 DDA 算法及 Bresenham 算法和中点 Bresenham 画圆算法	2
	掌握多边形扫描转换算法和种子填充算法	2
	掌握光栅图形的反走样 了解边缘填充算法、字符的生成	2
	上机操作: 实验五 基本图元的生成算法	2
第 5 章 OpenGL 中基本图元的绘制	掌握 OpenGL 基本图元的绘制方法并上机实现	2
	上机操作: 实验一 OpenGL 图形编程入门	2
第 6 章 图形用户界面与交互技术	掌握图形用户界面与交互动画技术并上机实现	2
	上机操作: 实验二 OpenGL 的简单动画 实验三 OpenGL 的键盘交互绘制 实验四 OpenGL 的鼠标交互绘制	6
第 7 章 图形变换	理解和掌握图形变换以及运用图形变换实现简单的图形程序, 掌握二维观察流程、二维裁剪算法并上机实现 重点掌握二维和三维几何变换、二维和三维组合变换、OpenGL 几何变换函数、OpenGL 二维观察函数以及二维观察流程 掌握齐次坐标、二维观察流水线、二维裁剪算法 了解多边形裁剪、曲线裁剪、文字裁剪 本章难点是二维裁剪算法	6
	上机操作: 实验六 2D 图形变换 实验七 2D 太阳系绘制 实验八 线段裁剪算法	6

(续)

教学章节	教学要求	课 时
第 8 章 三维观察与投影变换	掌握三维观察流水线、投影变换、三维坐标系概念并上机实现 重点掌握三维观察坐标系参数、投影变换、正交投影、透视投影、OpenGL 三维观察函数 掌握三维观察流水线、世界坐标系到观察坐标系的变换、视口变换和三维屏幕坐标系 了解斜投影、三维裁剪算法 本章难点是世界坐标系到观察坐标系的变换	4
	上机操作： 实验九 3D 编程基础 实验十 3D 机器人 实验十一 交互的 3D 漫游世界	6
第 9 章 真实感图形绘制	理解和掌握影响真实感图形生成的因素，运用简单光照模型和纹理映射的方法进行真实感图形的绘制	2
	上机操作： 实验十二 简单光照和材质 实验十三 雾、透明和阴影 实验十四 3DS 格式的模型显示 实验十五 纹理映射	8
第 10 章 曲线曲面造型	理解和掌握常用曲线曲面表示方法和性质，掌握曲线曲面绘制的方法 重点掌握 Bézier 曲线曲面、B 样条曲线曲面、OpenGL 中曲线曲面绘制 掌握曲线曲面基础知识、NURBS 曲线曲面、多结点样条曲线曲面 本章难点是多结点样条曲线曲面	6
	上机操作： 实验十六 Bézier 曲线曲面绘制 实验十七 多结点样条曲线曲面绘制	4
第 11 章 三维形体的表示	理解和掌握三维形体的一般表示方法	2

说明：

- 1) 实践环节课时根据理论课时等量配置，共计 72 学时。
- 2) 教师可根据自己的教学要求酌情删减。

目 录

序一	
序二	
前言	
教学建议	
第 1 章 绪 论	1
1.1 计算机图形学及其相关概念	1
1.2 计算机图形学的发展	2
1.3 计算机图形学的应用	6
1.4 计算机图形学的相关技术	9
1.4.1 OpenGL 技术	9
1.4.2 DirectX 技术	10
1.4.3 Web3D 技术	10
本章小结	11
习题 1	11
第 2 章 计算机图形系统组成	12
2.1 概述	12
2.1.1 计算机图形系统的功能	12
2.1.2 计算机图形系统的结构	13
2.2 图形显示与观察设备	14
2.3 图形输入设备	20
2.4 图形输出设备	23
2.5 图形软件及其标准	24
本章小结	27
习题 2	27
第 3 章 OpenGL 编程基础	28
3.1 OpenGL 简介	28
3.2 OpenGL 的功能	29
3.3 OpenGL 的组成	30
3.4 OpenGL 体系结构	33
3.5 OpenGL 工作流程	33
3.6 OpenGL 数据类型	34
3.7 OpenGL 函数命名约定	35
3.8 OpenGL 编程初探	36
3.8.1 OpenGL 编程入门	36
3.8.2 OpenGL 程序结构	37
本章小结	37
习题 3	37
第 4 章 基本图元的生成	38
4.1 点的生成算法	38
4.2 直线的生成算法	39
4.2.1 DDA 算法	39
4.2.2 Bresenham 算法	40
4.3 圆的生成算法	41
4.4 区域填充算法	44
4.4.1 多边形扫描转换算法	44
4.4.2 边缘填充算法	49
4.4.3 种子填充算法	50
4.5 字符的生成	51
4.6 光栅图形的反走样	51
本章小结	53
习题 4	53
第 5 章 OpenGL 中基本图元的绘制	54
5.1 点的绘制	55
5.2 直线的绘制	55
5.3 可填充的图元绘制	57
5.4 多边形的绘制模式	58
5.5 圆和椭圆的绘制	61

5.6 状态的保存	63	7.2.1 齐次坐标的概念	101
5.7 字符的绘制	65	7.2.2 二维齐次坐标变换	102
5.8 反走样的实现	67	7.3 组合变换	103
本章小结	68	7.3.1 组合平移	103
习题 5	68	7.3.2 组合旋转	104
第 6 章 图形用户界面与交互技术	69	7.3.3 组合缩放	104
6.1 概述	69	7.3.4 对任一固定点旋转	105
6.2 人机交互用户界面的设计原则	70	7.3.5 对任一固定点缩放	105
6.3 逻辑输入设备及数据输入处理	71	7.3.6 对任一固定轴对称变换	106
6.3.1 逻辑输入设备	72	7.3.7 矩阵合并特性	107
6.3.2 数据输入处理	73	7.4 二维观察	108
6.4 基本交互技术	74	7.4.1 二维观察流程	108
6.4.1 基本绘图技术	74	7.4.2 窗口到视区的变换	110
6.4.2 基本三维交互技术	74	7.4.3 OpenGL 二维图形变换及其实例	113
6.5 OpenGL 交互与动画技术的实现	75	7.4.4 二维直线裁剪算法及其实现	120
6.5.1 窗口改变回调函数	75	7.4.5 其他二维图形裁剪算法介绍	128
6.5.2 闲置回调函数	75	7.5 三维几何变换	129
6.5.3 重绘回调函数	76	7.5.1 三维基本几何变换	129
6.5.4 单、双缓存技术	77	7.5.2 三维组合变换	134
6.5.5 键盘交互	78	7.5.3 OpenGL 三维图形变换及其实例	136
6.5.6 鼠标交互	80	本章小结	141
6.5.7 快捷菜单	82	习题 7	141
6.5.8 子窗口与多窗口	83	第 8 章 三维观察与投影变换	142
6.5.9 显示列表	84	8.1 三维观察	142
6.5.10 拾取操作	88	8.1.1 三维观察流程	142
本章小结	95	8.1.2 三维观察坐标系	142
习题 6	95	8.1.3 从世界坐标系到观察坐标系的变换	143
第 7 章 图形变换	96	8.2 投影变换	144
7.1 二维基本几何变换	96	8.2.1 平行投影	145
7.1.1 平移变换	96	8.2.2 透视投影	147
7.1.2 比例变换	97	8.3 空间规范化	149
7.1.3 旋转变换	98	8.4 三维裁剪	152
7.1.4 对称变换	98		
7.1.5 错切变换	100		
7.2 齐次坐标	101		

8.4.1 三维区域码	152	本章小结	197
8.4.2 三维编码裁剪法	153	习题 9	197
8.5 OpenGL 三维观察与投影函数	154	第 10 章 曲线曲面造型	198
本章小结	157	10.1 曲线曲面基础知识	198
习题 8	157	10.1.1 曲线曲面表示	198
第 9 章 真实感图形绘制	158	10.1.2 插值与逼近	200
9.1 颜色模型	158	10.1.3 参数连续性与几何连续性	201
9.1.1 RGB 模型	158	10.2 Bézier 曲线曲面	203
9.1.2 CMY 模型	159	10.2.1 Bézier 曲线曲面的定义	203
9.1.3 HSV 模型	159	10.2.2 Bézier 曲线曲面的性质	205
9.1.4 YIQ 模型	160	10.3 B 样条曲线曲面	207
9.1.5 OpenGL 颜色表示	160	10.3.1 B 样条曲线曲面的定义	207
9.2 光照基础知识	164	10.3.2 B 样条曲线曲面的性质	208
9.2.1 表面光照效果	164	10.4 NURBS 曲线曲面	209
9.2.2 光源	165	10.4.1 NURBS 曲线曲面的定义	209
9.2.3 反射定律	165	10.4.2 NURBS 曲线曲面的性质	210
9.2.4 折射定律	165	10.5 多结点样条曲线曲面	211
9.3 简单光照明模型	166	10.5.1 多结点样条曲线曲面的定义	211
9.3.1 环境反射光	166	10.5.2 多结点样条曲线曲面的性质	213
9.3.2 漫反射光	166	10.6 曲线曲面造型算法比较	214
9.3.3 镜面反射光	167	10.7 OpenGL 中曲线曲面绘制	215
9.3.4 Phong 光照模型	168	10.7.1 Bézier 曲线曲面绘制	215
9.4 消隐技术	170	10.7.2 NURBS 曲线曲面绘制	223
9.4.1 消隐算法分类	170	10.7.3 控制点基函数曲线曲面绘制	230
9.4.2 深度缓存算法	171	本章小结	242
9.4.3 OpenGL 消隐算法的实现	172	习题 10	242
9.5 OpenGL 的简单光照实现	175	第 11 章 三维形体的表示	243
9.6 雾气效果	180	11.1 构造实体几何表示法	243
9.7 透明的生成	182	11.2 扫描表示法	244
9.8 阴影的生成	184	11.3 分解模型表示法	245
9.9 纹理映射	187	11.4 边界表示法	246
9.9.1 纹理概念	187	11.5 分形几何法	247
9.9.2 OpenGL 基本纹理映射	188	11.5.1 分形几何概念	247
9.9.3 自动纹理映射	193	11.5.2 分形几何模型	248
9.9.4 Mipmap 纹理映射技术	195	11.5.3 OpenGL 分形实现举例	250

11.6 粒子系统	254	实验八 线段裁剪算法	298
11.6.1 粒子系统介绍	254	实验九 3D 编程基础	300
11.6.2 OpenGL 粒子系统	255	实验十 3D 机器人	306
本章小结	259	实验十一 交互的 3D 漫游世界	310
习题 11	259	实验十二 简单光照和材质	315
实验一 OpenGL 图形编程入门	260	实验十三 雾、透明和阴影	331
实验二 OpenGL 的简单动画	267	实验十四 3DS 格式的模型显示	349
实验三 OpenGL 的键盘交互绘制	272	实验十五 纹理映射	371
实验四 OpenGL 的鼠标交互绘制	277	实验十六 Bézier 曲线曲面绘制	383
实验五 基本图元的生成算法	282	实验十七 多结点样条曲线曲面 绘制	385
实验六 2D 图形变换	291	参考文献	387
实验七 2D 太阳系绘制	294		

第1章 绪论

图形图像技术在现代社会中扮演着重要的角色。21 世纪是数字多媒体的时代，也是一个大量运用图形和图像传达信息的时代。计算机技术的进步推动了图形图像技术的飞速发展，以图形开发和图像处理为基础的可视化技术通过大众媒体、计算机及其网络得以快速传播。人类主要通过视觉、触觉、听觉和嗅觉等感觉器官感知外部世界，据统计其中约 80% 的信息由视觉获取，“百闻不如一见”、“一图胜千语”这些成语就是非常形象的说法。因此，旨在研究用计算机来显示、生成和处理图形信息的计算机图形学便成为一个非常活跃的研究领域。

1.1 计算机图形学及其相关概念

计算机图形学 (computer graphics) 是一门研究怎样利用计算机来显示、生成和处理图形的学科。世界各国的专家学者对“图形学”有着各自不同的定义。国际标准化组织 (ISO) 将其定义为“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相关原理、方法和技术”。电气与电子工程师协会 (IEEE) 将其定义为“计算机图形学是利用计算机产生图形化图像的艺术和科学”。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”。

计算机图形学的研究对象是图形。在狭义的概念中，我们通常把位图 (bitmap) 看作图像 (image)，把矢量图 (vectorgraph) 看作图形 (graphic)。位图通常使用点阵法来表示，即用具有灰度或颜色信息的点阵来表示图形，它强调图形由哪些点组成，这些点具有什么灰度或色彩。矢量图通常使用参数法来表示，即以计算机中所记录图形的形状参数与属性参数来表示图形。形状参数可以是对形状的方程系数、线段的起点和终点等几何属性的描述；属性参数则描述灰度、色彩、线型等非几何属性。

图 1-1 表示了位图与矢量图的区别，位图在图像放大到一定比例后会出现“马赛克”效应，而矢量图放大后仍然保持原有图形的清晰度。在广义的概念中，图形

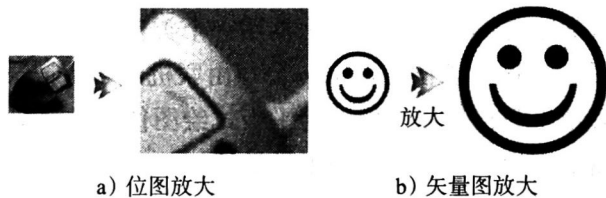


图 1-1 位图与矢量图的区别

可以看作在人的视觉系统中形成视觉印象的任何对象。它既包括了各种照片、图片、图案、图像以及图形实体，也包括了由函数式、代数方程和表达式所描述的图形。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；另一类是反映物体本身固有属性，如表面属性或材质的明暗、灰度、色彩 (颜色信息) 等非几何要素。例如，一幅黑白照片上的图像是由不同灰度的点构成的，方程 $x^2 + y^2 = r^2$ 所确定的图形是由具有一定颜色信息并满足该方程的点所构成的。计算机图形学中所研究的图形可以看作广义概念下的图形，并可理解为“从客观世界物体中抽象出来的带有颜色信息及形状信息的图和形”。

随着人们对图形概念认识的深入,图形图像处理技术也逐步出现分化。目前,与图形图像处理相关的学科有计算几何(computing geometry)、计算机图形学、数字图像处理(digital image processing)、计算机视觉(computer vision)和模式识别(pattern recognition)等学科。这些相关学科间的关系如图 1-2 所示,从图中我们可以看出计算几何研究的是空间图形图像几何信息的计算机表示、分析和修改等问题。计算机图形学试图将参数形式的数据描述转换为(逼真的)图形或图像,数字图像处理着重强调在图像之间进行变换,旨在对图像进行各种加工以改善图像的某些属性,以便能够对图像做进一步处理。模式识别则分析图像数据,并有可能得出一些有意义的参数和数据,而人们可以根据这些数据进行判断和识别。计算机视觉是用摄影机和计算机代替人眼对目标进行识别、跟踪和测量等,并进一步进行数字图像处理和数据分析,使用计算机来模拟人的视觉。

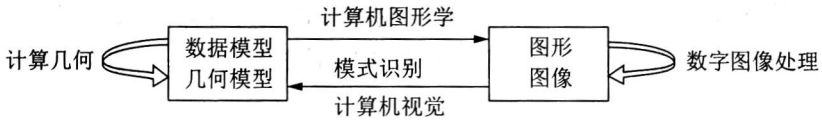


图 1-2 计算机图形学相关学科的关系

近年来,随着多媒体技术、计算机动画、虚拟现实技术的迅速发展,计算几何、计算机图形学、数字图像处理和模式识别的结合日益紧密、互相渗透,反过来也促进了学科本身的发展。

1.2 计算机图形学的发展

计算机图形学自 20 世纪 50 年代以来,先后经历了酝酿期、萌芽期、发展期、普及期和提高增长期等几个阶段,逐步发展成为以图形硬件设备、图形学算法和图形软件系统为研究内容的综合学科。计算机图形学的发展与计算机软件与硬件的发展密不可分,它们是相辅相成、相互促进的。

1. 酝酿期(20 世纪 50 年代)

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。该显示器用一个类似于示波器的阴极射线管(CRT)来显示一些简单的图形。1958 年美国 Calcomp 公司由联机的数字记录仪发展成滚筒式绘图仪(见图 1-3),GerBer 公司将数控机床发展成为平板式绘图仪。在整个 20 世纪 50 年代只有电子管计算机,它用机器语言编程,主要应用于科学计算,为这些计算机配置的图形设备仅具有输出功能。计算机图形学处于准备和酝酿时期,并称为“被动式”图形学。到 20 世纪 50 年代末,MIT 的林肯实验室在“旋风”计算机上开发 SAGE 空中防御体系,第一次使用了具有指挥和控制功能的 CRT 显示器,操作者可以用笔在屏幕上指出被确定的目标。与此同时,类似的技术在设计 and 生产过程中也陆续得到了应用,它预示着交互式计算机图形学的诞生。

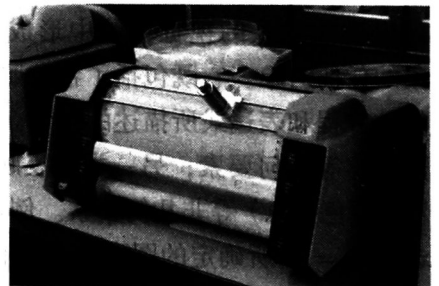


图 1-3 Calcomp 公司的滚筒绘图仪

2. 萌芽期(20 世纪 60 年代)

1962 年,林肯实验室的 Ivan E. Sutherland(见图 1-4)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。他在论文中所提出的一些基本概念和技术，如交互技术、分层存储符号的数据结构等至今还广为应用。1964年MIT的教授 Steven A. Coons 提出了被后人称为“超限插值”的新思想，通过插值四条任意的边界曲线来构造曲面。同在20世纪60年代早期，法国雷诺汽车公司的工程师 Pierre Bézier 发展了一套被后人称为“Bézier 曲线、曲面”的理论，成功地用于几何外形设计，并开发了用于汽车外形设计的 UNISURF 系统。Coons 方法和 Bézier 方法是计算机辅助几何设计最早的开创性工作。值得一提的是，计算机图形学的最高奖是以 Coons 的名字命名的，而获得第一届（1983年）和第二届（1985年）Steven A Coons 奖的恰好是 Ivan E. Sutherland 和 Pierre Bézier，这也算是计算机图形学的一段佳话。

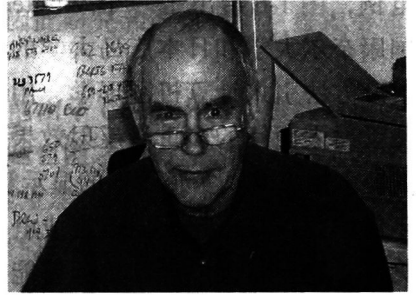


图 1-4 Ivan E. Sutherland

3. 发展期（20 世纪 70 年代）

20 世纪 70 年代是计算机图形学发展过程中一个重要的历史时期。由于光栅显示器的产生，在 60 年代就已萌芽的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，图形学进入第一个兴盛的时期，并开始出现实用的 CAD 图形系统，图 1-5 为光栅显示器扫描示意图。又因为通用、与设备无关的图形软件的发展，图形软件功能的标准化问题被提了出来。1974 年，美国国家标准学会（ANSI）在 ACM SIGGRAPH 的“与机器无关的图形技术”工作会议上，提出了制定有关标准的基本规则。此后 ACM 专门成立了一个图形标准化委员会，并开始制定有关标准。该委员会于 1977 年、1979 年先后制定和修改了“核心图形系统”（core graphics system）。ISO 随后又发布了计算机图形接口（Computer Graphics Interface, CGI）、计算机图形元文件（Computer Graphics Metafile, CGM）标准、图形核心系统（Graphics Kernel System, GKS）、面向程序员的层次交互图形标准（Programmer’s Hierarchical Interactive Graphics Standard, PHIGS）等。这些标准的制定对计算机图形学的推广、应用、资源信息共享起到了重要作用。

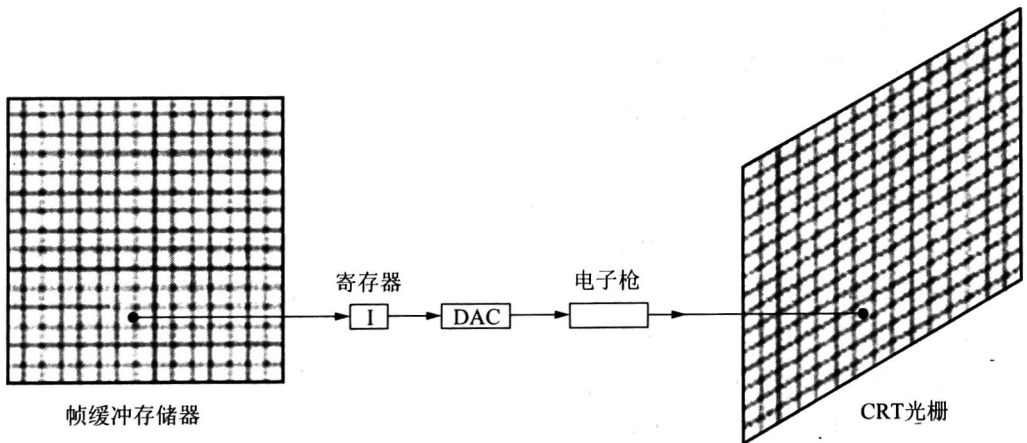


图 1-5 光栅扫描器显示方式

20 世纪 70 年代，计算机图形学另外两个重要进展是真实感图形学和实体造型技术的产