

普.通.高.等.学.校
计算机教育“十二五”规划教材

计算机图形学教程

(第3版)

COMPUTER GRAPHICS
(3rd edition)

王汝传 黄海平 林巧民 蒋凌云 ◆ 编著



普.通.高.等.学.校
计算机教育“十二五”规划教材

计算机图形学教程

(第3版)

COMPUTER GRAPHICS
(3rd edition)

王汝传 黄海平 林巧民 蒋凌云 ◆ 编著

人 民 邮 电 出 版 社

图书在版编目(CIP)数据

计算机图形学教程 / 王汝传等编著. -- 3版. -- 北京 : 人民邮电出版社, 2014. 8
普通高等学校计算机教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-115-35800-4

I. ①计… II. ①王… III. ①计算机图形学—高等学校—教材 IV. ①TP391.41

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第140685号

内 容 提 要

本书主要介绍计算机图形学的基本原理、相关技术及其应用,对计算机图形学的基本概念和特点、计算机图形显示系统和输入/输出设备、常用图形函数和C语言图形程序设计、二维图形和三维图形的生成和变换技术、图形的填充、裁剪和消隐技术、几何造型和真实感图形生成技术、计算机动画生成技术和开发工具、虚拟现实技术和VRML语言以及基于OpenGL的图形编程等相关知识做了详细而系统的论述。此外,本书还给出了大量计算机图形学的应用程序实例和实验大纲。

本书可作为本、专科院校计算机及相关专业的“计算机图形学”课程教材,也可供从事计算机图形处理技术及其他有关的工程技术人员阅读使用。



-
- ◆ 编 著 王汝传 黄海平 林巧民 蒋凌云
责任编辑 邹文波
责任印制 彭志环 焦志炜
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京铭成印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 23.25 2014年8月第3版
字数: 615千字 2014年8月北京第1次印刷
-

定价: 49.80 元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316
反盗版热线: (010)81055315

第 3 版前言

计算机图形学是随着计算机技术在图形处理领域中的应用而发展起来的新技术,是计算机专业及其他一些工科专业重要的专业课程之一,同时也是计算机应用学科的一个重要分支。当前,计算机图形技术已经渗透到各个行业,如航空航天、影视制作、汽车制造、工业生产等,在经济建设中发挥了重要的作用。

为适应我国计算机图形技术的应用和发展,进一步提高计算机图形学课程的教学质量,为相关行业的工程技术人员提供有益参考,作者根据多年的教学经验,结合当前图形学研究的一些热点,在分析国内、外多种同类教材的基础上编写了本书。

在 1998 年,作者编写了《计算机图形技术原理及其实现方法》一书,随后又对该书的教材内容进行了修订,并于 2002 年以《计算机图形学》为书名再次出版,2009 年又再版为《计算机图形学教程(第 2 版)》。随着教学要求的变化和图形技术的发展,作者结合近几年的教学 and 实践经验,又一次对这本书进行修订,删去了一些过时的内容,增加了一些新的技术,旨在为从事或将要从事计算机图形处理和应用的工程技术人员、相关专业的教师和学生,提供一本更加系统、更加全面、更加实用的教材。

本书共 11 章,分别概括如下。

第 1 章是概述,简要介绍计算机图形学的研究内容,最新的发展、应用和研究方向,概括了图形生成和输出的流水线。

第 2 章是计算机图形系统,主要介绍计算机图形系统的构成和功能,计算机图形输入设备和显示器(包括液晶和等离子)的工作原理,同时还简要介绍了当前主流的图形软件。

第 3 章是 C 语言图形程序设计基础,主要介绍如何利用 C 语言和图形函数进行绘图,同时提供了 C++ 图形绘制环境的简介。

第 4 章是二维图形生成和变换技术,主要介绍平面直线、规则和自由曲线的生成方法,二维图形变换的原理和方法以及二维图形的裁剪和区域填充。

第 5 章是三维图形生成和变换技术,主要介绍空间自由曲面的生成,三维图形各种变换和裁剪、消隐技术。

第 6 章是真实感图形生成技术,主要介绍如何生成一个真实感图形,如光照、明暗、阴影、纹理等。

第 7 章是几何造型简介,重点介绍实体模型的构造方法。

第 8 章是计算机动画技术,主要介绍计算机动画生成的原理和方法。

第 9 章是计算机动画实践,主要介绍如何基于 OpenGL 图形库和 3ds Max 动画工具开发动画实例。

第 10 章是虚拟现实技术及 VRML 语言,主要介绍图形学在虚拟现实技术中的应用以及如何用 VRML 语言开发虚拟图形场景。

第 11 章是 OpenGL 图形编程基础,主要介绍如何利用 OpenGL 的函数库和 C++

语言来进行二维和三维图形的绘制。

本书具有以下特色。

(1) 深入浅出、内容全面。覆盖了核心的计算机图形算法和技术原理, 比较全面和基础, 不盲目追求难度和深度; 内容描述明晰详尽、易理解, 特别适合计算机图形学的基础教学。

(2) 实例丰富, 启发性强。本书介绍的每个图形算法几乎都有相应的源代码说明和分析, 而且有大量的辅助实例讲解, 有助于读者更加深入和透彻的理解, 同时也为读者提供了更多上机实践的启示。

(3) 算法描述清晰, 图文并茂。图形学的核心是图形生成算法, 本书都以图文并茂的形式来描述算法, 使得读者更容易掌握和理解算法的核心。

(4) 习题典型, 理论联系实际。为了巩固所学的理论知识, 本书每章都附有习题, 以帮助读者理解基本概念, 通过理论联系实际进行书面练习和上机编写程序, 同时介绍了很多主流和实用的图形库、图形软件和开发工具, 旨在加强读者的实践能力。

(5) 将教学与科研相结合。本书第 10 章介绍了图形学在科研方面的热点——虚拟现实技术, 为教师和学生在进行教与学的过程中提供更多的科研实践环节。

(6) 提供了相应的实验大纲。在本书的附录部分有与教学内容相匹配的实验大纲可供参考。

本书建议学时数为 56, 其中课堂教学学时数为 40, 上机实验学时为 16, 实际教学中可以根据具体情况予以调整, 适当减少或增加学时数。对使用本书的教学和科研单位, 我们还提供本书配套的习题解答、教学素材以及课件, 请到人民邮电出版社教学服务与资源网 (<http://www.ptpedu.com.cn>) 下载。

在本书的编写过程中, 南京邮电大学计算机学院孙力娟教授对本书提出了许多宝贵意见, 肖甫老师对本书做了审校, 并同作者进行了多次有益的讨论, 提出了许多修改意见; 南京邮电大学计算机学院的研究生王海元、孙涛、殷贞玲、林萍、魏烨嘉、邵星、张皓、陈超、孙凯、操天明、陈庭德、黄益贵等对书稿的录入和校对工作付出了辛勤的劳动。此外, 书中还引用了其他同行的工作成果。在此, 一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限, 书中难免存在不妥与疏漏之处, 敬请广大读者批评指正, 如果存在教学和教材的相关问题, 请与编者联系 (wangrc@njupt.edu.cn, hph@njupt.edu.cn, qmlin@njupt.edu.cn, jianglingyun@njupt.edu.cn)。

编 者

2014 年 5 月于南京

目 录

第 1 章 概述1

1.1 计算机图形学的概念与研究内容1

1.1.1 什么是计算机图形学1

1.1.2 图像处理、模式识别与计算机图形学2

1.1.3 计算机绘图与 CAD/CAM 技术的关系4

1.1.4 计算机图形学研究的内容及当前的热点课题5

1.2 计算机图形学发展概况7

1.3 计算机图形学特点和应用8

1.3.1 计算机图形学的特点8

1.3.2 计算机图形学的应用领域9

1.4 计算机图形生成和输出的流水线11

1.4.1 图形生成和输出的流水线概述11

1.4.2 基本图形的点阵转换12

1.4.3 区域填充12

1.4.4 图形变换12

1.4.5 图形裁剪13

1.4.6 三维图形生成和输出的流水线（真实感图像的绘制）13

习题13

第 2 章 计算机图形系统14

2.1 计算机图形系统的组成14

2.1.1 图形系统的结构14

2.1.2 图形系统的基本功能及其硬件性能要求15

2.1.3 图形系统分类及硬件工作平台16

2.2 计算机图形显示器18

2.2.1 CRT 显示器18

2.2.2 液晶显示器27

2.2.3 等离子显示器30

2.2.4 其他类型的显示器32

2.3 计算机图形输入/输出设备32

2.3.1 计算机图形输入设备32

2.3.2 计算机图形输出设备37

2.4 通用图形软件简介41

2.4.1 通用图形软件的分类41

2.4.2 典型图形软件及图形库一览42

2.4.3 主流图形接口及软件简介43

习题45

第 3 章 C 语言图形程序设计基础46

3.1 屏幕设置46

3.1.1 屏幕显示模式与坐标系46

3.1.2 图形驱动程序与图形模式47

3.1.3 图形系统初始化和模式控制49

3.1.4 图形坐标的设置52

3.1.5 屏幕窗口操作53

3.2 图形颜色设置55

3.2.1 颜色的设置55

3.2.2 调色板57

3.2.3 获取颜色信息59

3.3 线的特性设定和填充60

3.3.1 线的特性设定60

3.3.2 填充62

3.4 图形模式下文本处理63

3.4.1 文本输出函数63

3.4.2 输出文本的设置64

3.5 图形存取处理67

3.5.1 检测所需内存67

3.5.2 把图形存入内存	68	4.5.5 二维图形变换程序设计	139
3.5.3 从内存复制图形到屏幕	68	4.6 二维图像裁剪	144
3.6 常用画图函数简介	69	4.6.1 窗口区和视图区	145
3.6.1 直线类函数	69	4.6.2 直线段裁剪	147
3.6.2 多边形类函数	70	4.6.3 多边形裁剪	151
3.6.3 圆弧类函数	70	4.6.4 其他类型图形裁剪	154
3.6.4 填充类函数	70	4.6.5 二维图形裁剪程序设计	155
3.7 绘图程序实例	71	4.7 反走样技术	157
3.8 C++语言环境下绘图	79	4.7.1 走样和反走样的定义	157
3.8.1 Borland C++开发图形程序		4.7.2 超采样	158
环境设置	79	4.7.3 区域采样	159
3.8.2 在VC++ 6.0中使用Borland的图形		习题	160
程序包	80		
习题	80		
		第5章 三维图形生成和	
		变换技术	162
第4章 二维图形生成和变换技术	81		
4.1 基本绘图元素	81	5.1 三维图形的概念	162
4.1.1 点	82	5.2 自由曲面的生成	162
4.1.2 直线	82	5.2.1 空间曲面的参数表示	163
4.1.3 曲线	83	5.2.2 Bezier(贝塞尔)曲面	164
4.1.4 区域填充	83	5.2.3 B样条曲面	168
4.2 直线段的生成	84	5.2.4 Coons(孔斯)曲面	171
4.2.1 逐点比较法	84	5.2.5 NURBS(非均匀有理B样条)	
4.2.2 数值微分法	87	曲面	174
4.2.3 Bresenham法	88	5.3 三维图形变换	174
4.3 曲线的生成	90	5.3.1 三维图形几何变换	175
4.3.1 圆弧的生成	90	5.3.2 三维图形平行投影变换	184
4.3.2 椭圆的生成	97	5.3.3 三维图形透视投影变换	195
4.3.3 规则曲线的生成	100	5.4 三维图形裁剪和消隐技术	200
4.3.4 自由曲线的生成	103	5.4.1 三维图形的裁剪	200
4.4 区域填充	120	5.4.2 三维图形消隐	202
4.4.1 多边形区域填充	120	习题	208
4.4.2 边填充	122		
4.4.3 种子填充	123	第6章 真实感图形生成技术	209
4.5 二维图形变换	125	6.1 概述	209
4.5.1 二维图形几何变换的基本原理	125	6.2 简单光照模型	210
4.5.2 几何变换的矩阵表示形式	129	6.2.1 环境反射光	211
4.5.3 二维图形齐次坐标矩阵变换	133	6.2.2 漫反射光	211
4.5.4 组合变换	136	6.2.3 镜面反射光	211

6.2.4 Phong 光照模型	212	习题	247
6.3 明暗处理方法	213	第 8 章 计算机动画技术	248
6.3.1 哥罗德 (Gouraud) 强度插值法	213	8.1 计算机动画概述	248
6.3.2 Phong (冯) 法向插值方法	214	8.1.1 计算机动画历史与现状	248
6.4 阴影生成方法	215	8.1.2 传统动画和计算机动画	249
6.4.1 自身阴影生成方法	215	8.1.3 计算机动画的研究内容	250
6.4.2 投射阴影生成方法	216	8.1.4 计算机动画的应用	250
6.5 整体光照模型	217	8.2 计算机动画的分类和原理	252
6.5.1 透明性的简单模型	217	8.2.1 计算机动画的分类	252
6.5.2 整体光照模型	218	8.2.2 计算机动画原理	255
6.5.3 光线跟踪算法	218	8.3 计算机动画的关键技术	257
6.5.4 辐射度算法	219	8.3.1 旋转的四元数表示	257
6.6 纹理处理方法	220	8.3.2 碰撞检测技术	259
6.6.1 纹理映射	221	8.3.3 运动捕捉技术	263
6.6.2 扰动映射	222	习题	269
6.7 图形颜色和颜色模型	223	第 9 章 计算机动画实践	270
6.7.1 颜色的性质	223	9.1 计算机动画编程	270
6.7.2 CIE 色度图	225	9.1.1 Turbo C 动画编程	270
6.7.3 颜色模型	227	9.1.2 基于 OpenGL 的 Visual C++ 动画编程	273
6.8 真实感图形技术的实现	230	9.1.3 基于 OGRE 的 Visual C++ 动画编程	276
6.8.1 定义	230	9.2 计算机动画软件	280
6.8.2 定义	230	9.2.1 二维动画软件	280
6.8.3 定义	232	9.2.2 三维动画软件	281
6.8.4 定义	232	9.3 3ds Max 动画制作	283
6.8.5 绘制模拟光源	233	9.3.1 软件环境简介	283
习 题	233	9.3.2 刚体动画实例	287
第 7 章 几何造型简介	234	9.3.3 软体动画实例	288
7.1 概述	234	9.3.4 骨骼动画实例	291
7.2 几何造型系统的三种模型	235	习题	294
7.2.1 线框模型	235	第 10 章 虚拟现实技术及 VRML 语言	295
7.2.2 表面模型	236	10.1 虚拟现实技术概述	295
7.2.3 实体模型	237		
7.3 实体模型的构造	237		
7.3.1 概述	237		
7.3.2 边界表示法	239		
7.3.3 构造实体几何法	241		
7.3.4 扫描法	244		
7.3.5 分解表示法	244		

10.1.1 虚拟现实技术的基本概念	295	实验 5 编程生成“双三次 Bezier 曲面”	356
10.1.2 虚拟现实技术的特征与分类	295	实验 6 编程实现“三维图形的几何变换”	356
10.1.3 虚拟现实技术的发展	297	实验 7 编程实现“三维图形的消隐”	357
10.1.4 几个典型的虚拟现实应用	297	实验 8 编程实现“光线跟踪算法”	357
10.2 虚拟现实系统工具	298	实验 9 编程实现“基于 OpenGL 图形库的三维动画”	358
10.2.1 虚拟现实设备	298	实验 10 制作基于 3ds Max 的三维动画	359
10.2.2 主流的虚拟现实引擎	299	实验 11 实现“颜色随机变换的旋转十字架”虚拟现实场景	359
10.2.3 虚拟现实的软件开发工具	299	实验 12 设计与实现“校园导航系统”	360
10.3 虚拟现实建模及语言	301		
10.3.1 虚拟现实建模技术	301	附录 B 标准显示模式及扩充 VGA 显示模式	361
10.3.2 虚拟现实建模语言	302		
10.3.3 分布式虚拟现实系统	322	参考文献	363
10.4 基于 VRML 语言的虚拟现实场景实例	323		
10.4.1 南京邮电大学校园导游系统	323		
10.4.2 分布式虚拟坦克战场	330		
习题	338		

第 11 章 OpenGL 图形编程基础 339

11.1 OPENGL 简介	339
11.1.1 OPENGL 的基本概念	339
11.1.2 OpenGL 函数库的导入	340
11.2 绘制二维图形	342
11.3 绘制三维图形	346

附录 A 实验 354

实验 1 编程实现“自行车行驶动画”	354
实验 2 自由设计“美术图案”	354
实验 3 编程生成“三次贝塞尔曲线”	355
实验 4 编程实现“多边形扫描线种子填充算法”	355

第 1 章

概 述

1.1 计算机图形学的概念与研究内容

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的一个重要研究方向, 目前尚属一门新兴的学科。计算机绘图技术在科学研究、工程设计和生产实践中得到了广泛的应用。人们在不断解决所提出的各种新问题的同时, 又进一步丰富了这门学科的内容, 推动了这门学科的发展。计算机绘图显著提高了绘图的速度和精确度, 把工程技术人员从繁琐的手工制图中解放出来, 同时由于计算机的快速图形显示可以实现对目标的实时跟踪和控制, 因此, 利用计算机绘图已成为必然的趋势。

可以对计算机图形学作如下定义: “计算机图形学是研究通过计算机将数据转换为图形, 并在专用显示设备 (例如显示器) 上显示的原理、方法和技术的学科”。从这个定义中可以看出, 虽然计算机图形学和计算机图像处理 (Image Processing) 这两者最后得到的都是图形或者图像, 但它们之间是存在区别的, 前者是数据到图形的过程, 而后者是图形到图形的过程。计算机图形学的过程涵盖了 3 个基本部分, 即数据、计算机和显示设备。数据可以由用户给出的原始输入, 如用以描述图形的几何参数、数学方程等, 或计算机产生的结果, 也可以是来自图形工作站操作者的命令。而显示设备则用于将基本对象的视觉表示形式展示在可视屏幕上, 将人们不能感觉到其形态的抽象数据按需要显示成能直接观察到的图形, 通过计算机来实现信息的图形表达。我们输入给计算机的信息不是图形本身, 而是描述图形的各种数据或者与图形有关的信息, 经过计算机系统处理以后, 输出的结果就是我们所要求的图形, 这一过程如图 1.1 所示。

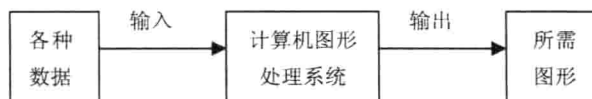


图 1.1 图形处理过程

例如, 为了让计算机画出一个矩形, 我们只要输入矩形的左上角坐标 (x_1, y_1) 和右下角坐标 (x_2, y_2) (它们是描述图形的源数据), 经过计算机绘图系统处理后便显示出一个矩形 (图形), 因此, 我们把完成图 1.1 所示过程的计算机系统称为计算机图形处理系统, 简称为图形系统。

由计算机图形系统产生的图形，其表现形式和内容都是十分丰富的。图形表现形式通常有两种，一种是线条式，即线框架图，它是用线段来表现图形，这种图形容易反映客观实体的内部结构，因而适合表示各类工程技术中的结构图，如机械设计中零件结构图、土木设计中房屋结构图以及电路设计中的电路原理图等；另一种是具有面模型、色彩、浓淡和明暗层次效应的、有真实感的图形，这种图形如同我们用照相机拍摄的彩色照片一样，它适合表现客观实体的外形或外貌，如汽车、飞机、轮船等的外形设计以及各种艺术品造型设计等。另外，从图形所在空间来看，可分为二维图形（在平面坐标系中定义的图形）和三维图形（在三维坐标系中定义的图形）。二维图形又叫平面图形，简记为 2D 图形；三维图形又称立体图形，简记为 3D 图形。

同时，对计算机产生的图形还可以自动地进行各种变换，如平移、放大、缩小、旋转等。正是由于计算机产生的图形有以上这些优点，再加上计算机具有高速度的运算功能和大容量的存储能力，使得计算机绘图无论在哪一方面都超过了人工制图，从而使人们认识到计算机图形学在计算机应用领域具有广阔的前景。

计算机图形产生的方法有两种：矢量法和描点法。

1. 矢量法（短折线法）

任何形状的曲线都可以用许多首尾相连的短直线（矢量）逼近。可以在显示屏上先给定一系列坐标点，然后控制电子束在屏幕上按一定顺序扫描，逐个“点亮”邻近两点间的短矢量，从而得到一条近似的曲线。尽管显示器产生的只是一些短直线的线段，但当直线段很短时，连成的曲线看起来还是光滑的。这种图形产生的方法称为随机扫描法或矢量法，如图 1.2 所示。

2. 描点法（相邻像素串接法）

这种方法是把显示屏幕分为有限个可发亮的离散点，每个离散点叫做一个像素，屏幕上由像素点组成的阵列称为光栅。这时，曲线的绘制过程就是将该曲线在光栅上经过的那些像素点串接起来，使它们发亮，所显示的每一曲线都是由一定大小的像素点组成的。当像素点具有多种颜色或多种灰度等级时，便可以显示彩色图形或具有不同灰度的图形。

上述方法采用的是电视光栅扫描法，或称顺序扫描法。电子束按顺序扫遍整个屏幕，但只有在经过与组成图形所在位置最相近的像素时才加以辉亮，从而显示描绘的图形，如图 1.3 所示。

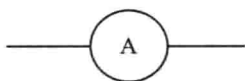


图 1.2 矢量法画图

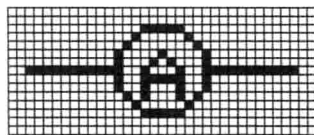


图 1.3 描点法画图

1.1.2 图像处理、模式识别与计算机图形学

图像处理（Image Processing）、模式识别（Pattern Recognition）和计算机图形学（Computer Graphics）是计算机应用领域发展的 3 个分支学科，它们之间有一定的关系和区别。由于这三者有共同的地方，因而易混淆。它们的共同之处就是计算机所处理的信息都是与图形或图像有关的信息，但实际上它们的本质是不同的。这三者之间的关系如图 1.4 所示。

图像处理是利用计算机对原来存在物体的映像进行分析处理，然后再现图像。图像信息经过量化（数字化）后输入到计算机中，按照不同的应用要求，计算机对图像进行各种各样的分析处理，如对照片图像扫描抽样、量化、模/数转换后送入计算机，由计算机进行加工——复原（使模糊图像清晰）、增强（突出某些特征）和图像赋值（定义图像某部分尺寸形状和位置）等。其中人

们所关心的是如何去除噪声、压缩图像数据以便于进行存储、传输等不同处理。需要时可把加工处理后的图像重新输出，如工业中射线探伤、人体的 CT 扫描、卫星遥感以及资源勘测等都是图像处理的实例。早期图像处理基本上是二维处理，而且早已遍及各个领域，并朝着三维图像生成、立体成像、多种存储传输媒体等方向发展。

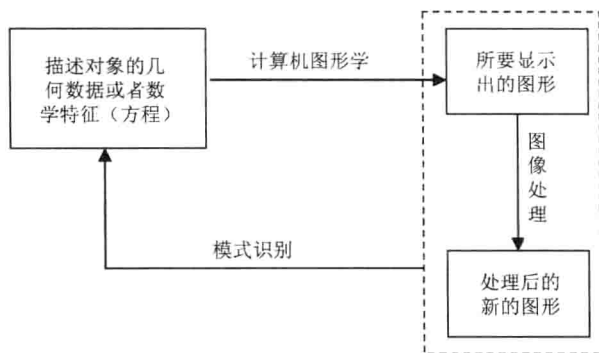


图 1.4 图像处理、模式识别和计算机图形学之间的关系

模式识别是指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。图形信息输入到计算机后，先对其特征进行抽取等预处理，然后利用各种识别技术，如统计识别技术、句法（语法）识别技术以及基于模糊数学的模糊识别技术对图形作出识别，按照不同应用要求，由计算机给图形作出分类和描述，从图像中提取数据模型。如邮件分拣设备扫描信件上手写的邮政编码，并将编码用图像复原成数字；再如手机的汉字手写功能，也是模式识别的一个典型应用。

计算机图形学是研究根据给定的描述（如数学公式或数据等），用计算机生成相应的图形、图像，所生成的图形、图像可以显示在屏幕上、硬拷贝输出或作为数据集中存放在计算机中的学科。计算机图形学研究的是从数据描述到图形生成的过程。

在计算机图形学中，图形生成方式有两种，即交互式绘图和被动式绘图。前者允许操作者以某种方式（对话方式或命令方式）来控制和操作图形的生成过程，使得图形可以边生成、边显示、边修改，直到符合要求为止。对于后者，图形在生成过程中，操作者无法对图形进行操作和控制，目前还有一些图形系统不具备交互功能，只提供各种图形命令或图形程序库，通过编程获得所需图形。如图 1.5 和图 1.6 所示分别为交互式绘图过程和被动式绘图过程。

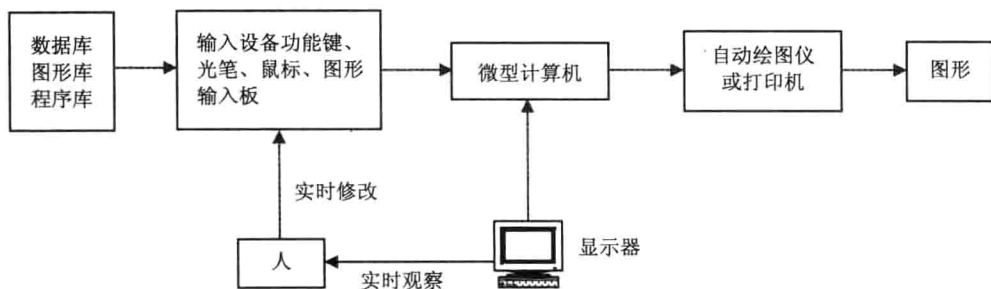


图 1.5 交互式绘图过程

图像处理、模式识别和计算机图形学都是与图形信息处理有关的三门学科，它们都有二三十年的历史，但长期以来它们以各自独立的形式发展。到了 20 世纪 80 年代，由于光栅扫描图形显

示器的广泛使用以及各门学科之间的相互渗透和沟通,它们之间的关系越来越密切,但是计算机图形学仍起着基础和核心的作用。

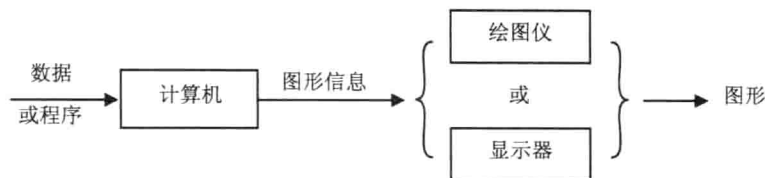


图 1.6 被动式绘图过程

1.1.3 计算机绘图与 CAD/CAM 技术的关系

计算机图形学(CG)、计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)与计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing, CAM)等新技术在近30年有了突飞猛进的发展。到了20世纪80年代,CAD/CAM已进入实际应用阶段,在电子、造船、航空、汽车和机械等领域均得到了普遍应用。进入21世纪,CG技术已广泛应用于平面设计、绘制动画、工程勘测、场景模拟等领域,与人们的日常生活息息相关。

计算机绘图技术应用计算机及其图形输入、输出设备,实现图形显示及绘图输出。它建立在图形学、应用数学及计算机科学三者结合的基础上,是CAD/CAM的基础。

计算机辅助设计就是建立某种模式、算法以及相关的支撑和应用软件,由设计者向系统输入根据设计要求建立的数学模型和设计参数,然后让计算机去检索有关资料,将草图变为工作图的繁重工作就可以交给计算机完成;根据计算机自动产生的设计结果,可以快速绘制出图形并显示出来,使设计人员及时对设计作出判断和修改;利用计算机可以进行图形的编辑、放大、缩小、平移和旋转等有关的图形数据加工工作。如果把CG和CAD都放到实际应用中去考虑,那么,CG只涉及与图形相关的部分,而CAD所涉及的范围要广得多。凡是利用计算机来帮助人们进行某项设计的工作都可以称为CAD,如计算机在电子线路方面的辅助设计,简称为电路CAD,它不仅涉及电路图描绘,更主要的是电路分析;再如CAD在土木结构设计方面的应用,除了利用计算机绘制各种结构图外,更多的是结构计算、应力分析。凡是应用CAD的地方都有计算机绘图,因此可以说,计算机绘图是CAD技术的基础,利用计算机产生图形技术是CAD技术中的核心技术,运用CAD技术就一定会用到计算机绘图技术。

计算机辅助制造是通过直接或间接地把计算机与工厂生产设备联系起来,实现用计算机系统生产计划、管理、控制及操作的过程,是将计算机应用于制造生产过程的过程或系统。

近几年来,CAD、CG和CAM逐步发展成为一种综合技术并应用到实际领域。而在内部,它们各自扮演着不同的角色。CAD和CG主要是用于工程设计、制图阶段,对于实际的生产和加工而言,它们还只是一个初级阶段。然而,除了现代化设计、自动绘图以外,人们更希望能够自动化地加工、生产,所以CAM技术正是承担了这一任务。CAM通过计算机直接控制加工设备,使它能自动地加工产品,并且由这种方法加工出的产品在数量和质量上都远远优于人工加工制造的产品。例如,各种机械零件加工、集成电路光刻和印制电路板的钻孔等。自动控制生产系统一般称之为数控系统,属于该系统的设备称之为数控设备。数控系统的一般过程是先由CAD技术和计算机图形软件产生一个完整的并符合加工要求的数控语言,通过这种语言去控制那些数控机床、数控切割机等,从而将最初的设计模型转化为实际的工业产品,实现了CG、CAD和CAM

技术三位一体的综合数控系统。

应当说计算机绘图是 CAD 的基础,而计算机绘图与 CAD 又共同构成了 CAM 的基础。它们三者之间的关系如图 1.7 所示。

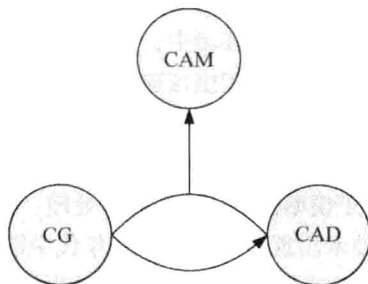


图 1.7 CG、CAD、CAM 三者之间的关系

1.1.4 计算机图形学研究的内容及当前的热点课题

计算机图形学是计算机科学中一个比较年轻的分支学科,它的核心技术是如何建立所处理对象的模型并生成该对象的图形。其主要的研究内容和当前研究的热点课题大体上可以概括为如下几个方面。

(1) 几何模型构造技术 (Geometric Modelling)。例如,各种不同类型几何模型(二维、三维、分数组 (Fractal Model))的构造方法及性能分析,曲线与曲面的表示与处理,专用或通用模型构造系统的研究等。

(2) 图形生成技术 (Image Synthesis)。例如,线段、圆弧、字符、区域填充的生成算法,以及线/隐面消除、光照模型、浓淡处理 (Shading)、纹理、阴影、灰度与色彩等各种逼真感图形表现技术。

(3) 图形的操作与处理方法 (Picture Manipulation)。例如,图形的开窗、裁剪、平移、旋转、放大、缩小、投影等各种几何变换操作的方法及其软件或硬件实现技术。

(4) 图形信息的存储、检索与交换技术。例如,图形信息的各种表示方法、组织形式、存取技术、图形数据库的管理、图形信息通信等。

(5) 人机交互及用户接口技术。包括各种交互技术,如构造技术、命令技术、选择技术、响应技术等研究,以及用户模型、命令语言、反馈方法、窗口系统等用户接口技术的研究,如新型定位设备、选择设备的研究。

(6) 动画和游戏制作技术。研究高效逼真的动画和游戏开发的各种软硬件方法、开发工具、语言等。

(7) 图形输出设备与输出技术。例如,各种图形显示器(图形卡、图形终端、图形工作站等)逻辑结构的研究,实现高级图形功能的专用芯片 (ASIC) 的开发,图形硬拷贝设备(特别是彩色硬拷贝设备)的研究等。

(8) 图形标准与图形软件包的技术开发。例如,制定一系列国际图形标准,以满足多方面图形应用软件开发工作的需要,并使图形应用软件摆脱对硬设备的依赖,允许在不同系统之间方便地进行移植。

(9) 计算机图形学、计算机辅助设计和计算机辅助制造三者一体化。一项产品在生产过程中,按照过去的方式要首先对产品进行各种科学计算,提出各种设计方案进行优选,然后绘出图纸送

去加工。现在这些工作都可由计算机辅助进行,并把计算机图形学(CG)、计算机辅助设计(CAD)和计算机辅助制造(CAM)三者有机地结合在一起,形成所谓一体化软件。

(10) 虚拟现实环境的生成。虚拟现实(Virtual Reality, VR)是继多媒体以后另一个在计算机界引起广泛关注的研究热点。它是利用计算机生成一种模拟环境(如飞机驾驶舱、操作现场等),通过多种传感器和设备使用户“投入”到该环境中,实现用户与该环境直接进行交互的技术。该项技术在虚拟场景娱乐、军事模拟演习、大型虚拟建筑等领域有着广泛的应用。

(11) 科学计算可视化。传统的科学计算的结果是数据流,这种数据流不易理解也不易于检查其中的错误。科学计算可视化通过对空间数据场构造中间几何图素,或用图形绘制技术在屏幕上产生二维图像。它将广泛地应用于分子模型构造、地震数据处理、大气科学、生物化学等领域。

(12) 3D 打印技术。3D 打印技术出现在 20 世纪 90 年代中期,实际上是利用光固化和纸层叠等技术的最新快速成型装置。它与普通打印工作原理基本相同,打印机内装有液体或粉末状金属或塑料等可粘合的“打印材料”,与电脑连接后,通过电脑控制,利用激光束、热熔喷嘴等方式将金属粉末、陶瓷粉末、塑料、细胞组织等特殊材料进行逐层堆积黏结,最终叠加成型,从而把计算机上的蓝图变成实物。这种数字化制造模式不需要复杂的工艺、庞大的机床、众多的人力,直接从计算机图形数据中便可生成任何形状的零件,使生产制造得以向更广阔的范围延伸。如今,3D 打印正逐渐用于一些产品的直接制造,例如珠宝设计、三维建筑实体模型、汽车和航空模型器件、牙科和医疗产业等领域。2013 年 11 月,美国德克萨斯州奥斯汀的 3D 打印公司“固体概念”(Solid Concepts)设计制造出金属材料 3D 打印手枪。

(13) 运动追踪及动画模拟技术。用于动画制作的运动捕捉技术的出现可以追溯到 20 世纪 70 年代,迪斯尼公司曾试图通过捕捉演员的动作以改进动画制作效果。从 20 世纪 80 年代开始,美国 Biomechanics 实验室、Simon Fraser 大学、麻省理工学院等开展了计算机人体运动捕捉的研究。1988 年,SGI 公司开发了可捕捉人体头部运动和表情的系统。当前,运动捕捉的应用领域远远超出了表演动画,成功地应用于虚拟现实、游戏、人体工程学研究、模拟训练、生物力学研究等诸多方面。从应用角度来看,表演动画系统主要有表情捕捉和身体运动捕捉两种;从实时性来看,可分为实时捕捉系统和非实时捕捉系统两种。微软公司于 2009 年公布了 XBOX360 体感周边外设 Kinect,推动了基于深度图像的运动捕捉及动画制作的应用。基于 Kinect 的骨骼追踪系统可以实时识别游戏玩家的手势、姿态等信息,使得玩家能从传统的手柄游戏中解脱出来。开发者们可以基于 Kinect 感知语音、手势、脸部表情和诸多玩家的感觉信息,给玩家带来前所未有的互动性体验。

(14) 三维物体重建技术。物体三维重建是计算机辅助几何设计(CAGD)、计算机图形学(CG)、计算机动画、计算机视觉、医学图像处理、科学计算和虚拟现实、数字媒体创作等领域的共性科学问题和核心技术。在计算机内生成物体三维的表示方法主要有两类。一类是使用几何建模软件通过人机交互生成人为控制下的物体三维几何模型,另一类是通过一定的手段获取真实物体的几何形状。前者的实现技术已经十分成熟,现有若干软件支持,比如 3DMAX、Maya、AutoCAD、UG 等。早期,一般采用激光扫描设备来获取物体的真实三维坐标点,其优点是数据精确度高,缺点是扫描时间较长,没有纹理信息,难以重建运动物体的三维信息。随着相机及计算机设备的发展,基于多台相机的三维重建技术也得到了广泛的应用。目前,由于社交网络的发展,网上存有海量的图像,华盛顿大学的研究人员筛选了 Flickr 上关键字与罗马城相关的所有照片,通过分析相片信息重建了罗马城中的一些主要建筑物,如罗马竞技场、圣彼得大教堂等。

(15) 人机交互中的视点跟踪技术。人们在观察外部世界时,眼睛总是与其他人体活动自然协调地工作,并且眼动所需的认知负荷很低,人眼的注视包含当前的任务状况以及人的内部状态等

信息,因此眼注视是一种非常好的能使人机对话变得简便、自然的候选输入通道。目前用户界面所使用的任何人机交互技术几乎都有视觉参与。早期的视线跟踪技术首先应用于心理学研究,后被用于人机交互。眼动在人的视觉信息加工过程中起着重要的作用。它有三种主要形式:跳动(Saccades)、注视(Fixations)和平滑尾随跟踪(Smooth Pursuit)。视线跟踪技术主要是解决眼睛运动特性的检测问题。眼睛盯视技术的应用领域对于正常人来说,是通过鼠标和键盘操作实现与计算机间的交互,但是对于某些瘫痪病人或者四肢麻痹者且不能说话的人(如 ALS 患者),视线跟踪技术有着非常重要的意义。

1.2 计算机图形学发展概况

计算机图形学是伴随着电子计算机及其外围设备而产生和发展起来的,它是计算机科学技术、半导体工艺及图像处理等技术结合而产生的。在许多领域,如航空、造船、汽车、电子、建筑、地理信息、气象、影视广告等方面,计算机图形学被广泛地应用,从而推动了这门学科的发展,并且由于不断地解决应用中提出的各类新课题,又进一步将这门学科的内容不断地被充实和丰富起来。

自从 20 世纪 40 年代研制出世界上第一台电子计算机以来,由于计算机处理数据的速度快、精度高,引起了人们的重视。许多国家纷纷投入人力和物力研制新的计算机以及输出图形的软、硬件产品。

1950 年美国麻省理工学院研制出了第一台图形显示器,作为旋风 1 号(Whirl Wind 1)计算机的输出设备。这台显示器在计算机的控制下第一次显示了一些简单图形,它类似于示波器的 CRT,这就是计算机产生图形的最早萌芽。

1959 年美国 CALCOMP 公司根据打印机原理研制出了世界上第一台滚筒式绘图仪。同年,GERBER 公司把数控机床发展成木板式绘图仪。

20 世纪 50 年代末期,美国麻省理工学院在旋风 1 号计算机上开发了 SAVE 空中防御系统,它具有指挥和控制功能。这个系统能将雷达信号转换为显示器上的图形,操作者利用光笔可直接在显示屏上标识目标。这一功能的出现预示着交互式图形生成技术的诞生。

1962 年美国麻省理工学院林肯实验室的伊凡·萨瑟兰德(Ivan E.Sutherland)发表了题为“Sketchpad: 人机图形通信系统”(Sketchpad: Man-Machine Graphical Communication System)的博士论文,首先提出了“计算机图形学(Computer Graphics)”这一术语,引入了分层存储符号的数据结构,开发出了交互技术;可用键盘和光笔实现定位、选项和绘图的功能,还正式提出了至今仍在沿用的许多其他基本思想和技术,从而奠定了计算机图形学的基础。

20 世纪 60 年代中期,美国、英国、法国的一些汽车、飞机制造业大公司对计算机图形学开展了大规模的研究。在计算机辅助设计(CAD)和计算机辅助制造(CAM)中,人们利用交互式计算机图形学实现了多阶段的自动设计、自动绘图和自动检测。在这一时期,计算机图形学输出技术也得到了很大的发展,开始使用随机扫描的显示器。这种显示器具有较高的分辨率和对比度,具有良好的动态性能,但是显示处理器必须至少以 30 次/秒的频率不断刷新屏幕上的图形才能避免闪烁。

20 世纪 60 年代后期出现了存储管式显示器,它不需要缓冲和刷新,显示大量信息也不闪烁,价格也比较低廉,分辨率高,但是它不具备显示动态图形的能力,也不能进行选择性的删除,它的出现可使一些简单的图形实现交互处理。存储管式显示器的出现,对计算机图形学的发展起到了促进作用,但对于计算机图形学中交互技术的需求,其功能还有待进一步完善和改进。

20 世纪 70 年代中期,出现了基于电视技术的光栅图形扫描器。在光栅显示器中,线段字符及多边形等显示因素均存储在刷新缓冲区存储器中,这些图是按照构成像素点三亮度存储的,这些点被称为像素。一个个像素构成了一条条光栅线,一系列光栅线构成了一幅完整的图像。它是以 30 次/秒的频率对存储器进行读写以实现图形刷新而避免闪烁的。光栅图形显示器的出现使得计算机图形生成技术和电视技术相衔接,图形处理和图像处理相互渗透使得生成的图形更加形象、逼真,因而更易于推广和应用。在图形输出设备不断发展的同时,出现了许多不同类型的图形输入设备,如从原有的光笔装置发展到图形输入板、鼠标、扫描仪、触摸屏等。

20 世纪 80 年代以后,计算机图形学进一步发展,主要体现在以下 3 个方面。第一,几个著名的大型计算机图形系统相继问世。特别值得一提的是 GKS(Graphics Kernel System)核心系统。GKS 原是德国研制的,后于 1982 年由国际标准化组织(ISO)讨论和修改并定为准二维图形 ISO 标准系统。第二,随着硬件技术的发展、高分辨率图形显示器的研制成功,三维图形显示达到了更高水平,可动态显示物体表面的光照程度、颜色浓度和阴影变化,具有很强的真实感。第三,随着工程工作站的出现和微型计算机性能的不断提 高,外设不断完善,图形软件功能不断增强,使得计算机图形系统在许多领域可以取代中、小型计算机系统,计算机图形学得到了更加广泛的应用。

20 世纪 90 年代,计算机图形学向着更高阶段发展,它的许多技术已成为最热门的多媒体技术的重要组成部分。例如,CAD 技术的发展在计算机辅助建筑设计(CAAD)辅助绘图中得到人们的认可后,实现了向更高层次的飞跃,即诞生了第二代 CAAD 软件——三维建筑模型软件。虚拟设计是 20 世纪 90 年代发展起来的一个新的研究领域,是计算机图形学、人工智能、计算机网络、信息处理、机械设计与制造等技术综合发展的产物,在机械行业有广泛的应用前景。

进入 21 世纪,在计算机软、硬件技术的推动下,计算机图形技术以前所未有的速度发展。虚拟现实技术及可视化仿真技术,作为现代图形学的应用主流和技术生长点,它们的发展将为研究人员研究数据的方式提供全新的视角。多媒体技术的发展,对教育和娱乐等行业都产生了意义深远的影响。

随着我国四个现代化建设事业的发展,计算机图形学无论在理论研究,还是在实用的深度和广度方面都得到了快速发展。从 20 世纪 60 年代中后期,我国就开始了计算机图形设备和计算机辅助几何设计方面的研究工作。在图形设备方面,我国陆续研制出多种系列和型号的绘图仪、坐标数字化仪、图形显示器等,如 1970 年我国研制成功了黑白光笔图形显示器(75-1 型),1976 年又研制成功了彩色光笔图形显示器(75-2 型)。与计算机图形学有关的软件开发和应用在我国也得到迅速发展,如我国自行开发的二维交互绘图系统已进入商品化阶段,三维几何造型系统在国内也有几个比较实用的版本,由清华大学、复旦大学等院校开发的大规模集成电路 CAD 系统也得到了广泛应用。计算机图形学在我国的应用从 20 世纪 70 年代起步,经过多年发展,至今已在电子、机械、航空航天、建筑、造船、轻纺、影视等多个领域的产品设计、工程设计和广告影视制作中得到了广泛应用,并取得了明显的经济效益和社会效益。随着计算机图形学的不断发展,计算机图形学在国民经济各个领域中将发挥越来越大的作用。

1.3 计算机图形学特点和应用

1.3.1 计算机图形学的特点

由于应用环境以及所配置的主机、图形设备、图形软件的不同,图形系统所能提供的功能、