

21世纪高等学校计算机规划教材

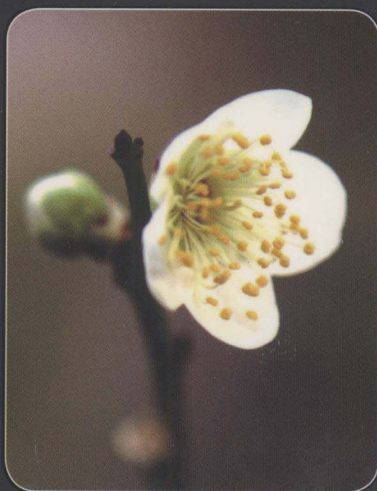
21st Century University Planned Textbooks of Computer Science

计算机图形学 教程（第2版）

Computer Graphics (2nd Edition)

王汝传 黄海平 林巧民 编著

- 基本原理+技术及应用+C语言实现
- 算法描述清晰，图文并茂，易于理解
- 案例丰富，提供实验大纲，培养动手能力



精品系列



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

21世纪高等学校计算机规划教材

21st Century University Planned Textbooks of Computer Science

计算机图形学 教程 (第2版)

Computer Graphics (2nd Edition)

王汝传 黄海平 林巧民 编著



人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

计算机图形学教程 / 王汝传, 黄海平, 林巧民编著. —2
版. —北京: 人民邮电出版社, 2009. 8
21世纪高等学校计算机规划教材
ISBN 978-7-115-20867-5

I. 计… II. ①王…②黄…③林… 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 (2009) 第079737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。

21 世纪高等学校计算机规划教材 计算机图形学教程 (第 2 版)

-
- ◆ 编 著 王汝传 黄海平 林巧民
责任编辑 邹文波
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京楠萍印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 22.25
字数: 585 千字
印数: 26 001—29 000 册

2009 年 8 月第 2 版

2009 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-20867-5/TP

定价: 35.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

出版者的话

计算机应用能力已经成为社会各行业最重要的工作要求之一，而计算机教材质量的好坏会直接影响人才素质的培养。目前，计算机教材出版市场百花争艳，品种急剧增多，要从林林总总的教材中挑选一本适合课程设置要求、满足教学实际需要的教材，难度越来越大。

人民邮电出版社作为一家以计算机、通信、电子信息类图书与教材出版为主的科技教育类出版社，在计算机教材领域已经出版了多套计算机系列教材。在各套系列教材中涌现出了一批被广大一线授课教师选用、深受广大师生好评的优秀教材。老师们希望我社能有更多的优秀教材集中地呈现在老师和读者面前，为此我社组织了这套“21世纪高等学校计算机规划教材-精品系列”。

“21世纪高等学校计算机规划教材-精品系列”具有下列特点。

(1) 前期调研充分，适合实际教学需要。本套教材主要面向普通本科院校的学生编写，在内容深度、系统结构、案例选择、编写方法等方面进行了深入细致的调研，目的是在教材编写之前充分了解实际教学的需要。

(2) 编写目标明确，读者对象针对性强。每一本教材在编写之前都明确了该教材的读者对象和适用范围，即明确面向的读者是计算机专业、非计算机理工类专业还是文科类专业的学生，尽量符合目前普通高等教学计算机课程的教学计划、教学大纲以及发展趋势。

(3) 精选作者，保证质量。本套教材的作者，既有来自院校的一线授课老师，也有来自IT企业、科研机构等单位的资深技术人员。通过他们的合作使老师丰富的实际教学经验与技术人员丰富的实践工程经验相融合，为广大师生编写出适合目前教学实际需求、满足学校新时期人才培养模式的高质量教材。

(4) 一纲多本，适应面宽。在本套教材中，我们根据目前教学的实际情况，做到“一纲多本”，即根据院校已学课程和后续课程的不同开设情况，为同一科目提供不同类型的教材。

(5) 突出能力培养，适应人才市场要求。本套教材贴近市场对于计算机人才的能力要求，注重理论技术与实际应用的结合，注重实际操作和实践动手能力的培养，为学生快速适应企业实际需求做好准备。

(6) 配套服务完善，共促提高。对于每一本教材，我们在教材出版的同时，都将提供完备的PPT课件，并根据需要提供书中的源程序代码、习题答案、教学大纲等内容，部分教材还将在作者的配合下，提供疑难解答、教学交流等服务。

在本套教材的策划组织过程中，我们获得了来自清华大学、北京大学、人民大学、浙江大学、吉林大学、武汉大学、哈尔滨工业大学、东南大学、四川大学、上海交通大学、西安交通大学、电子科技大学、西安电子科技大学、北京邮电大学、北京林业大学等院校老师的大力支持和帮助，同时获得了来自信息产业部电信研究院、联想、华为、中兴、同方、爱立信、摩托罗拉等企业和科研单位的领导和技术人员的积极配合。在此，人民邮电出版社向他们表示衷心的感谢。

我们相信，“21世纪高等学校计算机规划教材-精品系列”一定能够为我国高等院校计算机课程教学做出应有的贡献。同时，对于工作欠缺和不妥之处，欢迎老师和读者提出宝贵的意见和建议。

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》的书名再次出版。随着教学要求的变化和图形技术的发展,结合作者近几年的教学 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 10 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以及图形核心系统 GKS。

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。

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,蒋凌云老师和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, hhp@njupt.edu.cn, qmlin@njupt.edu.cn)

编者

2009年7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.....6	
1.3 计算机图形学特点和应用.....7	
1.3.1 计算机图形学的特点.....7	
1.3.2 计算机图形学的应用领域.....8	
1.4 计算机图形生成和输出的流水线.....10	
1.4.1 图形生成和输出的流水线概述.....10	
1.4.2 基本图形的点阵转换.....11	
1.4.3 区域填充.....11	
1.4.4 图形变换.....11	
1.4.5 图形裁剪.....12	
1.4.6 三维图形生成和输出的流水线（真实感图像的绘制）.....12	
习题.....12	
第 2 章 计算机图形系统13	
2.1 计算机图形系统的组成.....13	
2.1.1 图形系统的结构.....13	
2.1.2 图形系统的基本功能及其硬件性能要求.....14	
2.1.3 图形系统分类及硬件工作平台.....15	
2.2 计算机图形显示器.....17	
2.2.1 CRT 显示器.....17	
2.2.2 液晶显示器.....26	
2.2.3 等离子显示器.....29	
2.2.4 其他类型的显示器.....30	
2.3 计算机图形输入/输出设备.....31	
2.3.1 计算机图形输入设备.....31	
2.3.2 计算机图形输出设备.....35	
2.4 图形核心系统简介.....39	
2.4.1 GKS 的功能.....40	
2.4.2 GKS 的基本概念.....41	
2.4.3 GKS 图形输出原语.....42	
2.4.4 图段.....43	
2.4.5 GKS 图形输入设备.....44	
2.4.6 GKS-3D 简介.....46	
2.5 通用图形软件简介.....46	
2.5.1 通用图形软件的分类.....46	
2.5.2 典型图形软件及图形库一览.....47	
2.5.3 主流图形接口及软件简介.....48	
习题.....50	
第 3 章 C 语言图形程序设计基础51	
3.1 屏幕设置.....51	
3.1.1 屏幕显示模式与坐标系.....51	
3.1.2 图形驱动程序与图形模式.....52	
3.1.3 图形系统初始化和模式控制.....53	
3.1.4 图形坐标的设置.....56	
3.1.5 屏幕窗口操作.....57	
3.2 图形颜色设置.....59	
3.2.1 颜色的设置.....59	
3.2.2 调色板.....61	
3.2.3 获取颜色信息.....63	
3.3 线的特性设定和填充.....64	
3.3.1 线的特性设定.....64	
3.3.2 填充.....65	
3.4 图形模式下文本处理.....67	
3.4.1 文本输出函数.....67	
3.4.2 输出文本的设置.....68	
3.5 图形存取处理.....71	
3.5.1 检测所需内存.....71	
3.5.2 把图形存入内存.....71	
3.5.3 从内存复制图形到屏幕.....72	

3.6 常用画图函数简介	73	4.6.1 窗口区和视图区	146
3.6.1 直线类函数	73	4.6.2 直线段裁剪	148
3.6.2 多边形类函数	73	4.6.3 多边形裁剪	153
3.6.3 圆弧类函数	73	4.6.4 其他类型图形裁剪	156
3.6.4 填充类函数	74	4.6.5 二维图形裁剪程序设计	156
3.7 绘图程序实例	74	4.7 反走样技术	159
3.8 C++语言环境下绘图	82	4.7.1 走样和反走样的定义	159
3.8.1 Borland C++开发图形程序 环境设置	82	4.7.2 超采样	159
3.8.2 在 VC++ 6.0 中使用 Borland 的 图形程序包	82	4.7.3 区域采样	160
习题	82	习题	161
第 4 章 二维图形生成和变换 技术	83	第 5 章 三维图形生成和变换 技术	163
4.1 基本绘图元素	83	5.1 三维图形的概念	163
4.1.1 点	84	5.2 自由曲面的生成	163
4.1.2 直线	84	5.2.1 空间曲面的参数表示	164
4.1.3 曲线	85	5.2.2 Bezier (贝塞尔) 曲面	165
4.1.4 区域填充	85	5.2.3 B 样条曲面	169
4.2 直线段的生成	86	5.2.4 Coons (孔斯) 曲面	172
4.2.1 逐点比较法	86	5.2.5 NURBS (非均匀有理 B 样条) 曲面	175
4.2.2 数值微分法	89	5.3 三维图形变换	175
4.2.3 Bresenham 法	90	5.3.1 三维图形几何变换	176
4.3 曲线的生成	92	5.3.2 三维图形平行投影变换	184
4.3.1 圆弧的生成	92	5.3.3 三维图形透视投影变换	195
4.3.2 椭圆的生成	99	5.4 三维图形裁剪和消隐技术	200
4.3.3 规则曲线的生成	101	5.4.1 三维图形的裁剪	200
4.3.4 自由曲线的生成	105	5.4.2 三维图形消隐	202
4.4 区域填充	121	习题	208
4.4.1 多边形区域填充	121	第 6 章 真实感图形生成技术	209
4.4.2 边填充	123	6.1 概述	209
4.4.3 种子填充	124	6.2 简单光照模型	210
4.5 二维图形变换	126	6.2.1 环境反射光	211
4.5.1 二维图形几何变换的基本原理	126	6.2.2 漫反射光	211
4.5.2 几何变换的矩阵表示形式	130	6.2.3 镜面反射光	211
4.5.3 二维图形齐次坐标矩阵变换	134	6.2.4 Phong 光照模型	212
4.5.4 组合变换	137	6.3 明暗处理方法	213
4.5.5 二维图形变换程序设计	141	6.3.1 哥罗德 (Gouraud) 强度插值法	213
4.6 二维图像裁剪	146	6.3.2 Phong (冯) 法向插值方法	214

6.4 阴影生成方法	215	8.3 计算机动画的关键技术	254
6.4.1 自身阴影生成方法	215	8.3.1 旋转的四元数表示	254
6.4.2 投射阴影生成方法	216	8.3.2 碰撞检测技术	256
6.5 整体光照模型	217	8.3.3 运动捕捉技术	260
6.5.1 透明性的简单模型	217	习题	266
6.5.2 整体光照模型	218	第 9 章 计算机动画实践	267
6.5.3 光线跟踪算法	218	9.1 计算机动画编程	267
6.5.4 辐射度算法	219	9.1.1 Turbo C 动画编程	267
6.6 纹理处理方法	220	9.1.2 基于 OpenGL 的 Visual C++ 动画编程	270
6.6.1 纹理映射	221	9.1.3 基于 OGRE 的 Visual C++ 动画编程	273
6.6.2 扰动映射	222	9.2 计算机动画软件	276
6.7 图形颜色和颜色模型	223	9.2.1 二维动画软件	277
6.7.1 颜色的性质	223	9.2.2 三维动画软件	278
6.7.2 CIE 色度图	225	9.3 3ds Max 动画制作	279
6.7.3 颜色模型	228	9.3.1 软件环境简介	279
习题	230	9.3.2 刚体动画实例	283
第 7 章 几何造型简介	231	9.3.3 软体动画实例	285
7.1 概述	231	9.3.4 骨骼动画实例	288
7.2 几何造型系统的三种模型	232	习题	291
7.2.1 线框模型	232	第 10 章 虚拟现实技术及 VRML 语言	292
7.2.2 表面模型	233	10.1 虚拟现实技术概述	292
7.2.3 实体模型	234	10.1.1 虚拟现实技术的基本概念	292
7.3 实体模型的构造	234	10.1.2 虚拟现实技术的特征与分类	292
7.3.1 概述	234	10.1.3 虚拟现实技术的发展	294
7.3.2 边界表示法	236	10.1.4 几个典型的虚拟现实应用	294
7.3.3 构造实体几何法	238	10.2 虚拟现实系统工具	295
7.3.4 扫描法	241	10.2.1 虚拟现实设备	295
7.3.5 分解表示法	241	10.2.2 主流的虚拟现实引擎	296
习题	244	10.2.3 虚拟现实的软件开发工具	296
第 8 章 计算机动画技术	245	10.3 虚拟现实建模及语言	298
8.1 计算机动画概述	245	10.3.1 虚拟现实建模技术	298
8.1.1 计算机动画历史与现状	245	10.3.2 虚拟现实建模语言	299
8.1.2 传统动画和计算机动画	246	10.3.3 分布式虚拟现实系统	319
8.1.3 计算机动画的研究内容	247	10.4 基于 VRML 语言的虚拟现实场景实例	321
8.1.4 计算机动画的应用	247		
8.2 计算机动画的分类和原理	249		
8.2.1 计算机动画的分类	249		
8.2.2 计算机动画原理	252		

10.4.1 南京邮电大学校园导游系统	321	实验 7 编程实现“三维图形的消隐”	339
10.4.2 分布式虚拟坦克战场	327	实验 8 编程实现“光线跟踪算法”	339
习题	335	实验 9 编程实现“基于 OpenGL 图形库的 三维动画”	340
附录 A 实验	336	实验 10 制作基于 3ds Max 的三维动画	341
实验 1 编程实现“自行车行驶动画”	336	实验 11 实现“颜色随机变换的旋转 十字架”虚拟现实场景	341
实验 2 自由设计“美术图案”	336	实验 12 设计与实现“校园导航系统”	342
实验 3 编程生成“三次贝塞尔曲线”	337	附录 B 标准显示模式及扩充 VGA 显示模式	343
实验 4 编程实现“多边形扫描线种子 填充算法”	337	参考文献	345
实验 5 编程生成“双三次 Bezier 曲面”	338		
实验 6 编程实现“三维图形的几何变换”	338		

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, 把工程技术人员从烦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。数据可以是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。

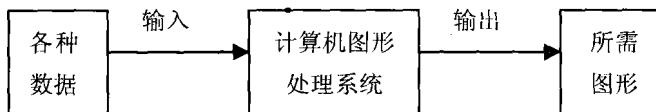


图 1.1 图形处理过程

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。

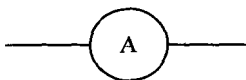


图 1.2 矢量法画图

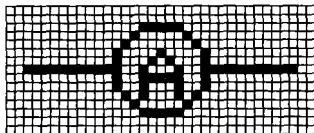


图 1.3 描点法画图

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。

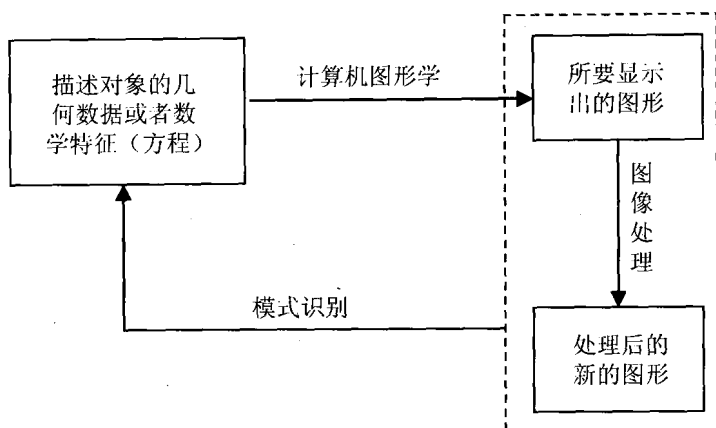


图 1.4 图像处理、模式识别和计算机图形学之间的关系

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,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)来控制和操作图形生成过程,使得图形可以边生成、边显示、边修改,直至符合要求为止。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。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。

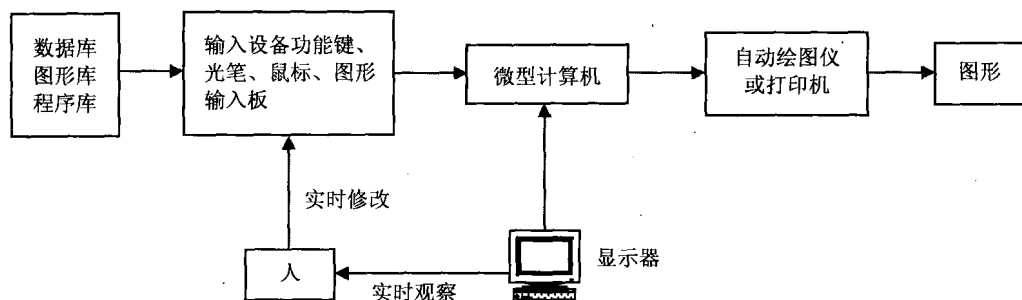


图 1.5 交互式绘图过程

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,它们都已有二三十年的历史,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。

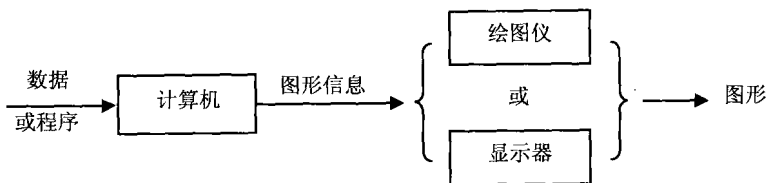


图 1.6 被动式绘图过程

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、汽车和机械等各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,与人民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可以交给计算机完成;由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涉及范围要广得多。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,实现用计算机系统进行的计划、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。

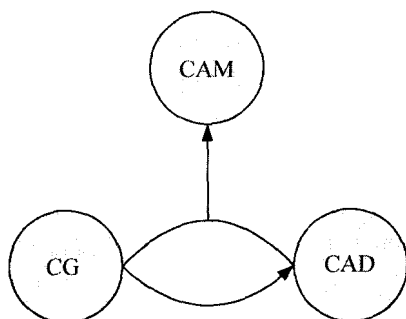


图 1.7 CG、CAD、CAM 关系

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，对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的图形表现技术。

(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) 人一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。

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,它是计算机科学与电视、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,所以又进一步使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速度快、精度高,因此引起了人们的重视。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—机通信的图形系统”(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分辨率和对比度,具有良好动态性能,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图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 原是西德研制的,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,由于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承认和接受后,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、