

170

TP 3/1.41-43  
v35

新世纪高等学校计算机系列教材

# 计算机图形学

王汝传 编著

人民邮电出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

计算机图形学 / 王汝传编著. —北京: 人民邮电出版社, 2002.7

新世纪高等学校计算机系列教材

ISBN 7-115-10327-5

I. 计... II. 王... 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 (2002) 第 045826 号

新世纪高等学校计算机系列教材

### 计算机图形学

---

- ◆ 编 著 王汝传  
责任编辑 邹文波  
执行编辑 苗 颖
- ◆ 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>  
读者热线 010-67180876  
北京汉魂图文设计有限公司制作  
北京朝阳展望印刷厂印刷  
新华书店总店北京发行所经销
- ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 20  
字数: 476 千字 2002 年 7 月第 1 版  
印数: 1-5 000 册 2002 年 7 月北京第 1 次印刷

---

ISBN7-115-10327-5/TP · 2892

---

定价: 26.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

# CONTENTS

# 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 .....	3
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 .....	5
1.2 计算机图形学发展概况 .....	6
1.2.1 计算机图形学的发展 .....	6
1.2.2 计算机图形软件的几种类型 .....	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 .....	8
1.4 计算机图形学当前研究的课题 .....	10
习题 .....	11
第 2 章 计算机图形系统 .....	12
2.1 计算机图形系统的组成 .....	12
2.1.1 图形系统的结构 .....	12
2.1.2 图形系统的基本功能及其硬件性能要求 .....	13
2.1.3 图形系统分类及硬件工作平台 .....	14
2.2 计算机图形显示器 .....	16
2.2.1 CRT 显示器工作原理 .....	17
2.2.2 图形显示器的类型 .....	18
2.2.3 显示配置 .....	23
2.2.4 其他显示器 .....	26
2.3 计算机图形输入设备 .....	28
2.3.1 键盘 .....	29

2.3.2	鼠标	29
2.3.3	光笔	30
2.3.4	数字化仪和图形输入板	30
2.3.5	操纵杆、跟踪球	32
2.3.6	触摸屏	33
2.3.7	图形扫描仪	33
2.4	计算机图形输出设备	33
2.4.1	绘图仪	34
2.4.2	打印机	37
2.5	图形核心系统 (GKS) 简介	38
2.5.1	GKS 的功能	39
2.5.2	GKS 的基本概念	40
2.5.3	GKS 图形输出原语	41
2.5.4	图段	43
2.5.5	GKS 图形输入设备	44
2.6	通用图形软件简介	46
2.6.1	通用图形软件的分类	46
2.6.2	通用图形软件简介	47
	习题	48
<b>第 3 章</b>	<b>C 语言图形程序设计基础</b>	<b>49</b>
3.1	屏幕设置	49
3.1.1	屏幕显示模式与坐标系	49
3.1.2	图形驱动程序与图形模式	50
3.1.3	图形系统初始化和模式控制	52
3.1.4	图形坐标的设置	55
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	60
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	65
3.3.1	线的特性设定	65
3.3.2	填充	67
3.4	图形模式下文本处理	68
3.4.1	文本输出函数	68
3.4.2	输出文本的设置	70
3.5	图形存取处理	73
3.5.1	检测所需内存	73

# CONTENTS

3.5.2	把图形存入内存	74
3.5.3	从内存复制图形到屏幕	74
3.6	常用画图函数简介	75
3.6.1	直线类函数	75
3.6.2	多边形类函数	76
3.6.3	圆弧类函数	76
3.6.4	填充类函数	76
3.7	绘图程序实例	77
	习题	85
<b>第4章</b>	<b>二维图形生成和变换技术</b>	<b>86</b>
4.1	基本绘图元素	87
4.1.1	点	87
4.1.2	直线	88
4.1.3	曲线	88
4.1.4	区域填充	89
4.2	线段的生成	89
4.2.1	逐点比较法	90
4.2.2	数值微分法 (DDA 法)	92
4.2.3	Bresenham 法	93
4.3	曲线的生成	95
4.3.1	圆弧的生成	95
4.3.2	规则曲线的生成	101
4.3.3	自由曲线的生成	105
4.4	区域填充	121
4.4.1	多边形区域填充	121
4.4.2	边填充	124
4.4.3	种子填充	124
4.5	二维图形变换	126
4.5.1	二维图形几何变换的基本原理	127
4.5.2	几何变换的矩阵表示形式	131
4.5.3	二维图形齐次坐标矩阵变换	135
4.5.4	组合变换	139
4.5.5	二维图形变换程序设计	143
4.6	二维图像裁剪	149
4.6.1	窗口区和视图区	150
4.6.2	直线段裁剪	151
4.6.3	多边形裁剪	156
4.6.4	其他类型图形裁剪	159

# CONTENTS

4.6.5 二维图形裁剪程序设计 .....	159
习题 .....	162
<b>第5章 三维图形生成和变换技术 .....</b>	<b>164</b>
5.1 三维图形的概念 .....	164
5.2 自由曲面的生成 .....	165
5.2.1 空间曲面的参数表示 .....	165
5.2.2 Bezier (贝塞尔) 曲面 .....	166
5.2.3 B 样条曲面 .....	171
5.2.4 Coons (孔斯) 曲面 .....	175
5.3 三维图形变换 .....	179
5.3.1 三维图形几何变换 .....	180
5.3.2 三维图形平行投影交换 .....	189
5.3.3 三维图形透视投影变换 .....	202
5.4 三维图形裁剪和消隐技术 .....	208
5.4.1 三维图形的裁剪 .....	208
5.4.2 三维图形消隐 .....	210
习题 .....	216
<b>第6章 交互式绘图技术 .....</b>	<b>218</b>
6.1 概述 .....	218
6.2 交互式绘图系统 .....	219
6.2.1 交互式绘图系统的组成 .....	219
6.2.2 交互式绘图系统的交互任务 .....	220
6.2.3 交互式绘图系统的设计原则 .....	221
6.3 交互式绘图的交互技术 .....	223
6.3.1 构图技术 .....	223
6.3.2 拾取技术 .....	225
6.3.3 菜单技术 .....	225
6.4 输入控制方式 .....	226
6.4.1 请示输入方式 .....	226
6.4.2 采样输入方式 .....	226
6.4.3 事件输入方式 .....	227
6.5 交互式绘图系统的构造方法 .....	227
6.5.1 界面布置 .....	227
6.5.2 交互式工作方式 .....	228
6.5.3 交互式用户接口的实现 .....	228
习题 .....	234

# CONTENTS

第7章 真实感图形生成技术	236
7.1 概述	236
7.2 简单光照模型	237
7.2.1 环境反射光	238
7.2.2 漫反射光	238
7.2.3 镜面反射光	239
7.2.4 Phong 光照模型	240
7.3 明暗处理方法	240
7.3.1 哥罗德 (Gouraud) 强度插值法	241
7.3.2 Phong (冯) 法向插值方法	242
7.4 阴影生成方法	242
7.4.1 自身阴影生成方法	243
7.4.2 投射阴影生成方法	243
7.5 整体光照模型与光线跟踪算法	244
7.5.1 透明性的简单模型	245
7.5.2 整体光照模型	245
7.5.3 光线跟踪算法	246
7.6 纹理处理方法	247
7.6.1 纹理映射	247
7.6.2 扰动映射	249
7.7 图形颜色和颜色模型	250
7.7.1 颜色的性质	250
7.7.2 CIE 色度图	252
7.7.3 颜色模型	255
习题	257
第8章 几何造型简介	259
8.1 概述	259
8.2 几何造型系统的三种模型	260
8.2.1 线框模型	260
8.2.2 表面模型	261
8.2.3 实体模型	263
8.3 实体模型的构造	263
8.3.1 概述	263
8.3.2 边界表示 (B-rep) 法	265
8.3.3 构造实体几何 (CSG) 法	267
8.3.4 扫描 (Sweeping) 法	270
8.3.5 分解表示 (D-rep) 法	271

习题	274
<b>第 9 章 计算机动画技术</b>	<b>275</b>
9.1 计算机动画技术概述	275
9.1.1 计算机动画历史与现状	275
9.1.2 传统动画和计算机动画	276
9.1.3 计算机动画的应用	278
9.1.4 计算机动画研究内容和应用前景	278
9.2 计算机动画的分类和原理	280
9.2.1 计算机动画的分类	280
9.2.2 计算机动画原理	283
9.3 计算机动画的生成方法	284
9.3.1 画一擦一画方法	285
9.3.2 异或运算法	285
9.3.3 块动画法	285
9.3.4 多页面切换动画方法	286
9.3.5 图形变换动画方法	286
9.3.6 逐帧动画法	286
9.3.7 函数式动画技术	287
习题	295
<b>附录 A 标准显示模式及扩充 VGA 显示模式</b>	<b>296</b>
<b>附录 B Turbo C 2.0 的图形函数</b>	<b>298</b>



# 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, 简称 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。

简单地讲, 计算机图形学是研究计算机绘图的一门学科。但是这样讲往往容易使人们将计算机图形学与计算机图像处理 (Image Processing) 混淆, 因为这两者输出结果都是图形或图像。因此, 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, 并在专用显示设备上显示的原理、方法和技术的学科”。从这个定义中可以看出, 计算机图形学涉及到 3 个基本部分, 即数据、计算机和显示器。这里的数据可以由用户给出的原始输入如用以描述图形的几何数据、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。而显示器则用于将基本对象的视觉表示形式展示在显

示屏幕上，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。

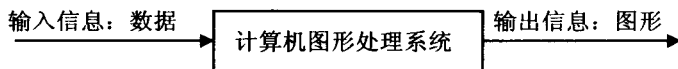


图 1.1 图形处理过程

例如，为了让计算机画一个圆，我们只要输入圆的中心坐标  $(x_0, y_0)$  和圆的半径  $R$ （它们是描述图形的数据），经过计算机系统处理以后便画出一个圆（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。

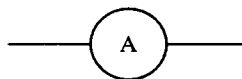


图 1.2 矢量法画图

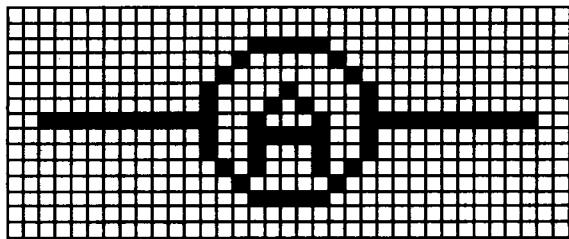


图 1.3 描点法画图

### 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有关的信息, 但实际上它们本质是不同的。这三者之间关系如图 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。其中人们所关心的问题是去除噪声、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。

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。如邮件分检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。

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存在计算机中的学科。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

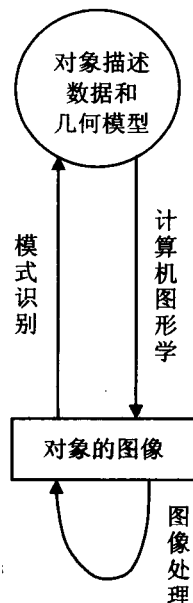


图 1.4 图像处理、模式识别和计算机图形学之间的关系

以某种方式（对话方式或命令方式）来控制 and 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。

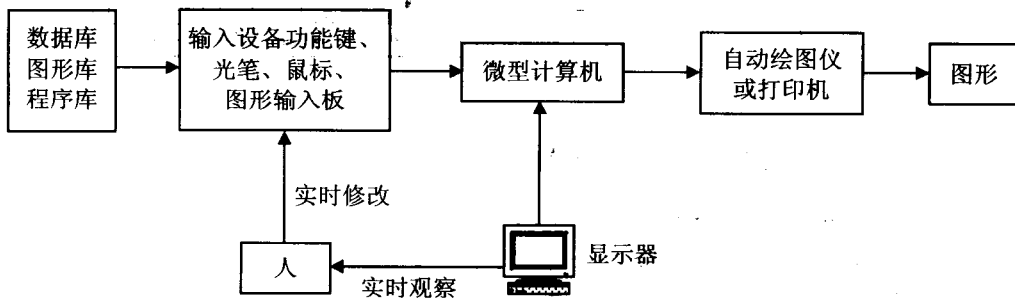


图 1.5 交互式绘图过程

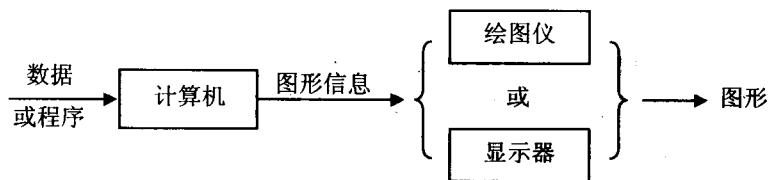


图 1.6 被动式绘图过程

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 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。

### 1.1.3 计算机绘图与 CAD/CAM 技术的关系

近 30 年来，随着计算机技术的广泛应用和迅速发展，计算机图形学（CG）、计算机辅助设计（Computer Aided Design，简称 CAD）与计算机辅助制造（Computer Aided Manufacturing，简称 CAM）等新技术发展十分迅速。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。

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，使计算机按设计工程师的意图进行科学分析和计算，作出判断和选择，最后输出满意的设计结果并产生图纸。它是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，并根据相应公式和标准规范进行计算，优化并显示出设计结果；还可以在屏幕上对设计结果进行放大、缩小、旋转、平移等变换操作，以及对设计图形作出修改、剪裁、拼接等处理，直到得到满意结果，最后由绘图仪输出图样。如果把 CG 和 CAD 都放到实际应用中

去考虑,那么,CG只涉及到与图形相关的部分,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,它不仅涉及到电路图描绘,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。

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生产的计划、管理、控制及操作的过程,它是应用计算机进行制造过程中管理、控制和处理的总称。那么,CAM与CG、CAD又是什么关系呢?CAD和CG二者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技术正是为达到这一目的而提供的一个重要手段。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。CAM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,从而使CAD自动绘图和CAM成为一体。

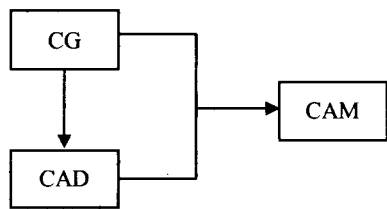


图 1.7 CG、CAD、CAM 关系

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。它们三者关系如图1.7所示。

#### 1.1.4 计算机图形学研究的内容

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)。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)。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示技术。

(3) 图形的操作与处理方法 (Picture Manipulation)。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。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。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) 动画技术。研究实际高速动画的各种软硬件方法、开发工具、动画语言等。

(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。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。

## 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、气象以及影视广告等方面,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。

### 1.2.1 计算机图形学的发展

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延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,也不能进行选择性地删除,它的出现可使一些简单的图形实现交互处理。存储器管式显示器的出现,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、扫描输入仪和触摸屏等。

20世纪80年代以后,计算机图形学进一步发展,主要体现在以下三个方面: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当今最热门的多媒体技术的重要组成部分。在未来计算机软件、硬件发展中,计算机图形学扮演着重要的角色,它的理论、方法和工具将会有更大的发展,它的应用领域也会越来越广。

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、坐标数字化仪和图形显示器等。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、轻纺和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。

### 1.2.2 计算机图形软件的几种类型

目前,计算机图形软件有多种不同类型,主要有以下几种。

(1) 用现有的某种高级语言写成程序包,用户使用该语言调用需要的子程序生成各种图形。由于用的是高级语言,所以编程并不困难,且具有便于移植推广的优点,但执行速度较

慢,效率较低。这类图形系统很多,如图形软件标准化的典型规范 GKS 和 CORE 文本就是采用程序包的形式。

(2) 将某种高级语言的功能加以扩充,使其具有图形生成功能。为此必须熟悉该高级语言的编译系统才能正确地扩充。这种方法实现起来工作量较大,难以移植。其优点是系统比较简练、紧凑、执行速度快。现在许多高级语言已经扩充,并具备了屏幕图形的生成功能,如 BASIC、Pascal、Turbo C、Borland C++、Java 等。

(3) 对于某种类型的设备可以配置专用的图形生成语言。其优点是功能强,执行速度快。事实上目前大多数绘图仪都配备了相应的图形生成语言。比较著名的有 GL (Graphics Language) 语言、PL (Plotting Language) 语言和 Dxy 语言。由于这些语言都是与设备相关的,因此难以在不同类型的设备上使用。目前各种设备的原理、功能差异很大,难以统一,这就使得图形系统的开发处于重重困难之中。

(4) 为了克服上述矛盾,就要求产生一种通用的与设备无关的图形软件,这就是图形软件标准化问题。为此 1997 年美国计算机协会 ACM (Association for Computing Machinery) 提出了核心图形系统 (Core Graphics System) 规范,即原西德提出了图形核心系统 GKS (Graphics Kernel System)。制定标准的目的是考虑到程序的可移植性。当使用具体图形设备时只要和这个“标准”的图形系统作一个“接口”即可。

多年来人们对图形软件所涉及的算法做了大量的研究工作,都是为了提高速度,节省内存。当然在计算机图形学中仍存在许多问题,如像素的拼合、几何造型、隐藏线隐藏面的消除等,这些问题正等待人们去作深入的探索和研究。目前有的公司正力图用硬件来实现图形软件的有关算法,以提高效率。

## 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、实时执行的速度、使用的方式也各不相同,因此,计算机产生的具体图形随之而异,但它们有如下的一些共同特点。

(1) 计算机产生的图形有规律、光滑。它是按数学方法产生的,规矩整齐,有着像数学一样的严格性。

(2) 计算机产生的图形纯净美观、无噪声干扰。

(3) 计算机产生的图形不仅能描绘客观世界的各种对象,也能描绘纯粹是想像的主观世界中的各种对象。后者可称之为“主观图像”,可以发挥人的创造性和想像力,构成绚丽多彩、变化多端的画面,其效果并不亚于“客观图像”。

(4) 交互式计算机图形显示可由用户控制,产生的图形可修改性强,且速度快、差错少。

### 1.3.2 计算机图形学的应用领域

计算机图形学有着广泛的应用领域,特别是近年来随着对计算机图形学原理的不断研究和新技术的不断产生,使得它深入到生产、科研、教学及生活等领域,目前主要应用在如下领域。



### 1. 计算机辅助设计 (CAD) 和计算机辅助制造 (CAM)

这是一个最活跃的应用领域。计算机图形学被用来进行土建工程、机械结构和产品的设计,包括设计飞机、汽车、船舶的外形和发电厂、化工厂等的布局,也能够用来进行电子线路或电子器件的设计。在电子工业中,计算机图形学应用到集成电路、印刷电路板、电子线路和网络分析等方面的优势是十分明显的。一个复杂的大规模或超大规模集成电路版图根本不可能用手工设计和绘制,用计算机图形系统不仅能进行设计和画图,而且还可以在较短的时间内完成,将其结果直接送至后续工艺进行加工处理。在飞机制造工业中,美国波音飞机公司已用有关的 CAD 系统实现波音 777 飞机的整体设计和模拟,其中包括飞机外型、内部零部件的安装和检验。

### 2. 事务管理中的交互式绘图

应用图形学最多的领域之一是绘制事务管理中的各种图形,如统计数据的二维及三维图形、直方图、线条图、表示百分比的扇形图等等,还可绘制工作进程图、库存和生产进程图以及大量的其他图形。所有这些都以简明的形式呈现出数据的模型和趋势以增加对复杂现象的理解,并促进决策的制定。

### 3. 地理信息系统

地理信息系统是建立在地理图形基础上的信息管理系统,目前已经在许多国家得到广泛的应用。在图形技术、数据库技术以及管理信息相结合的地理信息系统 (GIS) 中,图形起着核心和控制的作用。利用计算机图形生成技术可以绘制地理的、地质的以及其他自然现象的高精度勘探、测量图形,如地理图、地形图、矿藏分布图、海洋地理图、气象气流图、人口分布图、电场及电荷分布图以及其他各类等值线、等位面图。

### 4. 办公自动化和电子出版技术

图形显示技术在办公自动化和事务处理中的使用,有助于数据及其相互关系的有效表达,因而有利于人们进行正确的决策。利用电子计算机可以进行资料、文稿、书刊、手册的编写和修改。制图、制表、分页、排版,这是对传统活字印刷技术进行的重大变革,没有交互式图形显示技术的支持,这种电子出版技术是不可能实现的。

### 5. 系统模拟

实时模拟图像正在被越来越广泛地用于航天、航空驾驶和试验等工作。所谓实时模拟就是由计算机产生表现真实图像和模拟对象随时间变化的行为和动作。通过观察以图形模式表现出的变化效果,我们不仅可以研究数学图形,而且可以研究科学现象的数学模型,如液体流动、热流、相对论、核反应、化学反应生理系统与器官以及有负载时的结构变形等。例如,进行飞机模拟训练时,让飞行员坐在一间特制的屋子里,四周模拟驾驶舱的各种设施,面前摆着各种仪表和数字显示器,在应该有窗的地方放上大型显示屏。当显示屏显示出各种外部景物时,驾驶员的感觉如同真正驾驶飞机在天上飞。对于屏幕上出现的各种景物,如云雾、烟、夜晚灯光以及不同大小和形状的其他飞机、飞行物等特殊景物,驾驶员作出各种反应,模拟操作飞机运行。这时各种仪表显示器显示出各种相应的数据。驾驶员在这种驾驶室内可以用最低廉的费用安全地学会驾驶。同样,为了训练在月球登陆,宇航员可在模拟器上演习驾驶登月舱。

计算机图形学为这些实验、训练提供了安全、迅速而又费用低廉的试验条件和比较、存储资料的手段。