



重点院校推荐教材

计算机图形学

JISUANJI TUXINGXUE

张彩明 杨兴强 李学庆 等 编著



科学出版社
www.sciencep.com

重点院校推荐教材

计算机图形学

张彩明 杨兴强 李学庆 等 编著

获山东大学出版基金委员会资助

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是讲述计算机图形学基本原理和算法的教材。主要内容有:计算机图形学概述、计算机图形系统及硬件基础、基本光栅图形算法、变换、图形的层次结构、人机交互绘图技术、隐藏面和隐藏线的消除、简单光照明模型、曲线曲面的基础知识、三维实体造型、真实感图形的绘制、科学计算可视化和颜色等。书中结合开放图形库(OpenGL),系统地介绍了上述主要内容,从而使基础理论和相关技术的阐述更易于理解和掌握。为便于消化和理解书中内容,几乎所有章末均附有习题。

本书可作为高等院校计算机及相关专业本科生、研究生学习计算机图形学的教材,也可作为从事计算机辅助设计、计算机图形学和相关专业的科技人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

计算机图形学/张彩明等编著. —北京:科学出版社,2005

(重点院校推荐教材)

ISBN 7-03-014863-0

I. 计… II. 张… 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(2005)第 001817 号

责任编辑:鞠丽娜 丁 波 / 责任校对:郝 岚

责任印制:吕春珉 / 封面设计:三画设计

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年2月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2005年2月第一次印刷 印张:20 1/4

印数:1—4 000 字数:462 000

定价:28.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62138978-8002

前 言

计算机图形技术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,是计算机科学技术应用的一个重要分支。近几十年来,计算机硬件、软件性能的飞速发展,价格的大幅下降以及计算机的广泛应用,使计算机图形技术的发展十分迅速。计算机图形学已成为相当成熟的重要学科,并渗透到各行各业,在各个领域中起着越来越大的作用。国内外各高等院校对计算机图形技术非常重视,基本上都为研究生和本科生开设了“计算机图形学”课程,并把它放在十分重要的位置。在实际应用中,计算机图形技术也受到广大科技工作者和工程设计人员的极大关注。

一本好的教材应系统、准确地讲述该学科所需的基础知识和基本概念,在内容安排上能满足各类专业的基本教学需要。本书在编写过程中力求做到基础知识和基本原理全面、概念清晰、由浅入深、实例丰富以及方便自学。本书的特点如下:

(1) 内容方面:介绍基本原理和算法时,力求保持内容的完整性。对于图形学中的众多有效算法和技术,满足下列条件的才被选入本书:① 对讲解图形学基本原理是必不可少的;② 对研究图形学问题具有典型的启发意义;③ 近年来图形学的一些最新技术和成果。

(2) 适用范围:本书的第1~9章可作为本科生教材,第10~14章可作为研究生教材或本科生的选讲教材。本书也可作为工程技术人员的参考书和对计算机图形学感兴趣的读者的自学用书。

(3) 图形学理论与 OpenGL 绘图程序包相结合。一方面,OpenGL 起到实验环境的作用,将图形学的算法用最基本的 OpenGL 功能实现,便于读者对图形学中算法的理解;另一方面,读者可以把自己的实验结果同 OpenGL 的现有功能在效率和性能上相比较,从而加深对 OpenGL 的兴趣和理解。

(4) 便于对全书内容的理解和提高应用能力。本书系统地设计了各章的习题,从而使书中的内容和习题及 OpenGL 绘图程序包紧密结合,形成一个有机的整体。

(5) 便于在职申请学位者自学。书中内容尽量写得通俗易懂,对涉及到的知识都做了介绍,使读者不参考其他书籍也能很好地理解和掌握书中的基本内容。本书(主要是前10章)包含了近几年在职申请硕士学位全国“计算机图形学”科目考试的全部内容。

(6) 本书配备电子教案和书中部分实例的程序,有教学需求的教师可到科学出版社网站下载 (<http://www.sciencep.com>)。

本书共14章,其编写分工如下:第1章、第7章至第13章由张彩明、梁秀霞、高珊珊和韩慧健执笔,第2章、第4章和第14章由杨兴强和张国华执笔,第3章、第5章和第6章由李学庆和周元峰执笔,附录由周元峰执笔。常戈、凌霄燕、刘海香、钟丽、彭琨也等参加了文稿编辑和制图方面的工作,全书由张彩明修改定稿。

由于写作时间仓促,加之作者水平有限,书中难免有不当甚至错误之处,希望读者不吝指正。

作 者

2004年10月

目 录

第 1 章 计算机图形学概述	1
1.1 图形的概念与计算机图形学的研究内容	1
1.1.1 图形的概念	1
1.1.2 计算机图形学的研究内容	2
1.2 计算机图形学的发展史	2
1.2.1 计算机图形设备和交互技术	2
1.2.2 计算机图形系统	3
1.2.3 计算机图形的标准化	4
1.3 计算机图形学的应用	5
第 2 章 计算机图形系统及硬件基础	8
2.1 概述	8
2.1.1 计算机系统图形设备	8
2.1.2 图形的输入输出处理流程	8
2.1.3 图形工作站与 PC 机	9
2.2 图形显示原理.....	10
2.2.1 CRT 显示器	10
2.2.2 液晶显示器	18
2.2.3 等离子显示器	20
2.2.4 3 种显示技术的比较	21
2.2.5 显卡	21
2.2.6 显卡对 OpenGL 的支持	23
2.3 绘图设备.....	23
2.3.1 喷墨绘图机	23
2.3.2 激光打印机	24
2.3.3 笔式绘图机	25
2.4 图形输入设备.....	26
2.4.1 光笔	26
2.4.2 数字化仪和手写输入板	27
2.4.3 触摸屏	28
2.4.4 图形扫描仪	28
2.4.5 数字墨水.....	29
2.4.6 数据手套.....	30
2.4.7 三维鼠标.....	30
习题	31

第3章 基本光栅图形生成算法	32
3.1 如何在计算机上绘图	32
3.1.1 在计算机上绘图的一般方法	32
3.1.2 用 OpenGL 绘图	33
3.2 直线生成算法	36
3.2.1 生成直线的 DDA 方法	36
3.2.2 正负法	37
3.2.3 Bresenham 算法	39
3.2.4 改进后的 Bresenham 算法	40
3.3 圆弧生成算法	41
3.3.1 正负法	41
3.3.2 Bresenham 算法	42
3.3.3 圆弧的离散生成	44
3.3.4 椭圆生成算法	45
3.4 多边形的填充	46
3.4.1 多边形的表示方法	47
3.4.2 多边形填充的扫描线算法	47
3.4.3 边缘填充算法	51
3.4.4 边界标志算法	51
3.5 区域填充	53
3.5.1 区域的基本概念	53
3.5.2 简单的种子填充算法	55
3.5.3 扫描线种子填充算法	55
3.6 光栅图形的反走样算法	57
3.6.1 光栅图形的走样现象	57
3.6.2 提高分辨率的反走样算法	58
3.6.3 线段反走样算法	59
3.6.4 多边形反走样算法	59
习题	60
第4章 变换	61
4.1 OpenGL 中简单的变换实例	61
4.2 一般图形的显示流程	62
4.3 几何变换	63
4.3.1 基本变换	64
4.3.2 齐次坐标与变换的矩阵表示	67
4.3.3 变换的模式	68
4.4 投影变换	70
4.4.1 透视投影	71
4.4.2 平行投影	72

4.4.3	投影平面是任意平面的情况	73
4.4.4	射影变换	75
4.5	裁剪	76
4.5.1	Sutherland-Cohen 算法	76
4.5.2	Cyrus-Beck 算法和梁友栋-Barsky 算法	78
4.5.3	多边形裁剪	82
4.5.4	三维裁剪	83
4.6	视口变换	85
4.7	GKS-3D 图形显示流程	86
4.7.1	连续变换的处理	86
4.7.2	图形显示流程的进一步讨论	87
4.7.3	至规范化坐标空间的变换	87
4.7.4	视见体至三维视口的变换	90
4.8	OpenGL 图形变换	92
4.8.1	OpenGL 中的图形变换	92
4.8.2	OpenGL 中的图形变换应用举例	93
	习题	98
第 5 章	图形的层次结构	100
5.1	图形的层次结构概述	100
5.2	面向对象的图形层次结构实现	101
5.2.1	面向对象的层次结构表示	101
5.2.2	面向对象的层次结构编辑	106
5.2.3	面向对象的层次结构讨论	106
5.3	用结构方法实现层次结构	107
5.3.1	基本的结构函数	107
5.3.2	设置结构属性	109
5.3.3	结构编辑	110
	习题	113
第 6 章	人机交互绘图技术	114
6.1	基本图形输入设备和基本交互任务	114
6.1.1	基本的图形输入设备	114
6.1.2	基本交互任务	115
6.2	人机交互输入模式	117
6.2.1	请求模式	118
6.2.2	样本模式	118
6.2.3	事件模式	119
6.2.4	输入模式的混合使用	120
6.3	常见的辅助交互技术	120
6.3.1	几何约束	120

6.3.2 拖拽	121
6.3.3 在三视图上进行三维输入	122
6.3.4 结构平面	122
6.3.5 新的交互技术	123
6.4 OpenGL 中的交互式绘图技术	125
6.4.1 选择模式	125
6.4.2 反馈模式	128
6.5 人机交互的发展	132
习题	133
第 7 章 隐藏线和隐藏面的消除	134
7.1 可见面判断的有效技术	135
7.1.1 边界盒	135
7.1.2 后向面消除	136
7.1.3 非垂直投影转换成垂直投影	137
7.2 多面体隐藏线消除算法	138
7.2.1 算法的基本思想	138
7.2.2 确定边 L 和多边形 E 关系的技术	139
7.2.3 确定 L 的可见部分	140
7.3 基于窗口的子分算法	141
7.4 基于多边形的子分算法	142
7.5 z 缓冲器算法和扫描线算法	143
7.6 优先级排序表算法	146
7.7 光线投射算法	148
7.8 曲面隐藏线的消除	149
习题	150
第 8 章 光照明模型	151
8.1 简单光照明模型	151
8.1.1 光源	152
8.1.2 材质	153
8.1.3 简单光照明模型概述	153
8.2 光滑明暗处理技术	157
8.2.1 Gouraud 明暗处理技术	157
8.2.2 Phong 明暗处理技术	158
8.3 OpenGL 环境下的光照明模型	160
8.3.1 OpenGL 中的颜色设置及光照明模型	160
8.3.2 OpenGL 应用举例	164
习题	168
第 9 章 Bézier 曲线曲面	169
9.1 曲线曲面的基础知识	169

9.1.1	曲线的表示	169
9.1.2	参数曲线的切矢量、弧长、法矢量和曲率	171
9.1.3	参数曲面的切平面和法矢量	173
9.1.4	参数曲线的多项式表示	174
9.1.5	参数连续性与几何连续性	175
9.2	Bézier 曲线	176
9.2.1	Bézier 曲线的定义	176
9.2.2	Bézier 曲线的性质	177
9.2.3	Bézier 曲线的其他性质	178
9.2.4	Bézier 曲线的拼接	180
9.2.5	Bézier 曲线的离散生成	181
9.3	Bézier 曲面	184
9.3.1	Bézier 曲面的定义和性质	184
9.3.2	Bézier 曲面的拼接	185
9.3.3	Bézier 曲面的离散生成	186
	习题	187
第 10 章	B 样条曲线曲面、Coons 曲面和有理样条曲线曲面	188
10.1	B 样条曲线曲面	188
10.1.1	B 样条基函数的定义和性质	188
10.1.2	B 样条曲线的定义和性质	189
10.1.3	B 样条曲线的计算	191
10.1.4	三次 B 样条曲线	192
10.1.5	B 样条曲面的定义和性质	194
10.2	Coons 曲面	195
10.2.1	双线性 Coons 曲面	195
10.2.2	双三次 Coons 曲面	195
10.3	曲面的互化	197
10.3.1	三次 Bézier 曲线、B 样条曲线和 Hermite 曲线的互化	197
10.3.2	双三次 Bézier 曲面、B 样条曲面和 Coons 曲面的互化	200
10.4	有理 Bézier 曲线曲面	201
10.4.1	有理曲线	201
10.4.2	有理 Bézier 曲线	201
10.4.3	有理 Bézier 曲线的齐次表示	201
10.4.4	二次有理 Bézier 曲线	202
10.4.5	有理 Bézier 曲线对圆的表示	203
10.4.6	有理 Bézier 曲面	205
	习题	205
第 11 章	三维实体造型	206
11.1	三维物体在计算机内的表示	206

11.1.1	三维物体的表示模型	206
11.1.2	三维物体的表示方式	208
11.2	CSG 树表示	208
11.2.1	物体间的正则集合运算	208
11.2.2	物体的 CSG 树表示	209
11.2.3	CSG 物体性质的计算	210
11.2.4	用光线投射算法进行 CSG 物体的图形显示	212
11.3	边界表示法	213
11.3.1	三维物体的边界表示	213
11.3.2	半边数据结构	214
11.3.3	欧拉运算	216
11.3.4	集合运算	218
11.3.5	Sweep 运算和局部运算	221
11.4	空间分割表示	222
11.4.1	单元分解表示	222
11.4.2	八叉树表示	223
11.5	基于图像的三维造型	225
11.5.1	双目视觉的基本原理	226
11.5.2	双目视觉算法的具体实现	227
习题		230
第 12 章	真实感图形的绘制	231
12.1	光线跟踪技术	231
12.1.1	简单透明模型	232
12.1.2	Whitted 光照明模型	233
12.1.3	光线跟踪技术	234
12.1.4	加速光线跟踪技术	235
12.2	基于物理的光照明模型	238
12.2.1	基本光照模型	238
12.2.2	Torrance-Sparrow 光照明模型	240
12.2.3	Cook-Torrance 光照明模型	243
12.3	阴影	243
12.3.1	z 缓冲器阴影算法	244
12.3.2	阴影体算法	245
12.3.3	光线跟踪阴影技术及半影算法	247
12.4	纹理	248
12.4.1	纹理的生成	248
12.4.2	纹理的映射	250
12.4.3	Catmull 纹理映射算法	252
12.4.4	Mip-map 纹理映射技术	253

12.4.5 凹凸纹理映射技术	255
12.5 图形反走样技术	256
12.5.1 A 缓冲器方法	257
12.5.2 光线跟踪的图形反走样技术	260
12.6 辐射度方法	261
12.6.1 辐射度方程	262
12.6.2 形状因子	264
12.6.3 半立方体	265
12.7 基于图像的绘制	267
12.7.1 基于图像的绘制技术	268
12.7.2 图像的拼接	271
习题	273
第 13 章 科学计算可视化	275
13.1 科学计算可视化的基本步骤和方法分类	275
13.1.1 科学计算可视化的基本步骤	275
13.1.2 科学计算可视化的方法分类	276
13.2 科学计算可视化处理的数据	277
13.3 面绘制方法	278
13.3.1 基于等值线的生成方法	278
13.3.2 基于体素的生成方法	280
13.3.3 几何变形模型方法	283
13.4 体绘制方法	283
13.4.1 体绘制方法出现的背景	284
13.4.2 体光照模型	284
13.4.3 以图像空间为序的体绘制方法	286
13.4.4 以物体空间为序的体绘制方法	287
13.4.5 体绘制方法中的一些典型的加速方法	288
13.4.6 Shear-warp 体绘制方法	288
13.5 矢量场和张量场的可视化	289
13.5.1 矢量场的可视化	289
13.5.2 张量场的可视化	290
习题	290
第 14 章 颜色	291
14.1 颜色特性	291
14.2 标准基色和色彩图	294
14.2.1 XYZ 颜色模型	294
14.2.2 CIE 色度图	295
14.3 颜色模型	297
14.3.1 RGB 模型	297

14.3.2 CMY 模型	298
14.3.3 YIQ 模型	298
14.3.4 HSV 模型	299
14.4 颜色模型间的相互转换	299
14.5 颜色的交互选择及应用	301
习题	302
附录 OpenGL	303
主要参考文献	309

第 1 章 计算机图形学概述

1.1 图形的概念与计算机图形学的研究内容

1.1.1 图形的概念

人们生活在一个有形的世界里,认识事物和相互交流都离不开“形”。如果事物没有形状,就很难描述和表达它。正是因为“形”的存在,所以一谈到某某物品,人们就自然会联想到它的形状,从而知道对方所要表达的意思,以达到交流的目的。同时,图形又有不同于文字和数字的独特功能,它能够表达一些文字和数字难以表达或不能表达的信息,有时候一大段文字所描述的信息远不及一幅简单的图形所描述得那样清楚,而且有时图形信息能使人们对所描述的事物理解得更透彻。

人类从外界获得的信息主要是图形信息。人们认识自然,首先是靠眼睛观察事物的外表形象,至于语言、符号、文字,都是在此以后经过千万年的进化才逐渐形成的。据统计,在所有获得的信息中,约有 80%~90% 的信息量来自视觉。

如今,图已成为科学技术领域里一种通用语言,在工程上用来构思、设计、指导生产、交换意见、介绍经验;在科学研究中用来处理实验数据、图示和图解各种平面及空间几何元之间的关系问题、选择最佳方案等。可以说,各行各业都离不开图。

那么什么是图形呢?从广义上来说,能够在人的视觉系统中形成视觉印象的客观对象都称为图形。因此,下面所列的都可以称为图形:

- (1) 人眼所看到的自然界的景物。
- (2) 用摄像机、录像机等装置获得的照片和图片。
- (3) 用绘图机或绘图工具绘制的工程图、设计图、方框图。
- (4) 各种人工美术绘画、雕塑品。
- (5) 用数学方法描述的图形(包括几何图形、代数方程、分析表达式或列表所确定的图形)。

由此可见,图形既包括了自然图形,即景象、图像、图案、图片以及形体实体,也包括了描述图形。用数学方法描述图形是计算机图形学早期重点解决的问题之一,它包括各种几何图形,以及由函数式、代数方程和表达式所描述的图形,这是人们习惯的图形的概念。然而,目前计算机图形处理的范围已经远远超过了用数学方法描述的图形,它已经从纯粹的“图”扩展到了广义的“形”。图形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。

从图形的历史发展来看,图形本身又是一个不断发展和变化的概念。随着计算机的普遍应用,现在工程上大量图形都用计算机来绘制,这时出现在计算机屏幕上的图形就有别于绘制在图纸上的图形,这时的图形是由点、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,是从客观世界中抽象出来的带有灰度、色彩及形状的图或形,这是

计算机图形学中图形的概念。

1.1.2 计算机图形学的研究内容

计算机图形学(computer graphics,CG)是用计算机生成景物的数字模型,并将它显示在计算机屏幕上,或者绘制在纸张或胶片上。因此,它所研究的主要对象是景物的几何建模方法(modeling)、对模型的处理方法、几何模型的绘制技术(rendering)、图形输入和控制的人机交互界面(user interface)。计算机图形学不同于单纯用几何方法研究图形的各种几何学,也不同于用一般数学证明和计算来研究各种图形的纯数学方法,而是用计算机便于处理的数学方法来研究各种图形的表示和处理等,并把处理的结果在显示器上显示或发送到绘图机中绘图。因此,计算机图形学是研究如何在计算机环境下生成、处理和显示图形的一门学科。

谈到图形,人们常常会联想到图像。图像处理(image processing)则是用摄像机或扫描仪等手段将客观世界中原来存在的景物摄制成数字化图像,并对图像进行处理和分析,理解图像的内涵,从图像中提取所关注的景物的二维或者三维几何信息的过程。从某种意义上说,图像处理是计算机图形学的一个逆过程,它可应用于微小细胞的显微观测、用卫星遥感技术估计农作物收成、用CT或核磁共振成像检查人体病理。图像处理所研究的内容有图像增强、边缘提取和图像分割、图像压缩、纹理分析、形状特征提取、模式识别、机器人视觉和三维形体重建等。

1.2 计算机图形学的发展史

1.2.1 计算机图形设备和交互技术

1946年,第一台电子计算机的问世及其发展,有力地推动了许多学科的发展和新学科的建立。现代图形学技术就是在这个环境下逐渐兴起和发展起来的。在20世纪50年代中期,计算机主要用于处理科学计算中的问题。一个很直观的想法是,如果计算的结果能用图形显示出来,将大大地方便和提高人们对复杂结果的理解,并减少大量的后期处理工作。当时,尽管已在计算机中配置了显示器,但由于计算机图形显示技术的理论还没有形成,其制造技术也相对落后,因此只能显示字符,还不具备人机交互的功能。1952年,美国MIT成功地研制了世界上第一台三坐标数控铣床,并开始着手研制数控自动编程系统。当时,奥地利人H. Josph Gerber在美国学习,他根据数控加工的原理和方法为波音飞机制造公司研制出世界上第一台平板绘图机。1959年,美国的Calcomp公司根据打印机的原理研制出世界上第一台滚筒式绘图机,从此,计算机辅助绘图仪开始代替人工绘图,使古老的绘图技术有了突破性的发展,并且解决了一些用手工绘图不能完成的任务,如绘制大规模集成电路中的掩膜图。

20世纪50年代末期,美国MIT林肯实验室研制出了空中防御系统,它能将雷达的信号转换为显示器上的图形,操作者用光笔指向显示器屏幕上的目标图形,便可以获取所需要的信息。该系统的研制成功标志着交互式图形技术的诞生。

绘图机和交互式图形技术的诞生是继计算机问世后又一重大成果,它们为现代图形

学技术的兴起做出了重大贡献,使计算机图形学进入了一个崭新的阶段,在图形学理论、绘图方法方面都产生了巨大的变化。

早期的计算机绘图模式为被动式绘图模式。被动式绘图是指用户输入绘图对象的基本参数之后,由计算机进行自动处理,直到图纸绘制完毕。如果要修改图形,必须修改数据或源程序。然而,在工程实际应用中,常常需要对所绘出的图形进行动态修改,因此,设计者希望能与计算机不断地进行对话。在设计过程中,图形显示在屏幕上,设计者利用交互设备输入各种命令或数据,以人机对话方式随时修改图形,直到满意为止,最后由图形输出设备输出绘制的图形。这种能够动态地修改所获图形的处理技术被称为交互型绘图技术。

1962年,美国MIT林肯实验室的I.E. 萨瑟兰德在他的博士论文《SKETCHPAD:一个人机通信的图形系统》中首次提出了计算机图形学、交互技术、分层存储符号的数据结构等新思想。在这个系统中,可以用光笔在图形显示器上实现选择和定位等交互功能,以交互方式在显示屏幕上画出直线、圆弧等一系列图素。另外,系统对符号和图形的存储采用了分层的数据结构,一幅完整的、较复杂的图形可以通过分层调用各有关子图来产生。该系统使用的这些基本理论和技术至今仍是现代图形技术的基础。

交互型绘图系统是计算机绘图系统中比较先进和完善的一种系统形式,它是以计算机为核心设备,以图形显示器和交互式图形学为基础,具有图形生成、图形编辑和图形显示的能力,可以实现人机交互作业。

图形显示器是计算机图形学中的关键设备。早期与计算机配用的图形显示器采用阴极射线管原理,利用两对电磁偏转线圈来控制电子束在荧光屏扫描来产生图形。电子束在扫描时轰击荧光屏内侧的磷粉涂层使磷粉发光,但光亮维持的时间是很短暂的,电子束必须不断重复扫描图形,才能保持屏幕上的画面稳定,因此,它被称为随机扫描刷新式显示器。该显示器只能绘制线框图,而且造价很高。在一段时间里还流行过存储管显示器,它的特点是在阴极射线管的荧光屏前增设一个细密的金属网栅,其上涂有绝缘介质材料,它可以较长时间地存储电子束扫描时留下的电子图像。这类显示器不需要反复刷新画面,从而降低了造价,因此在低档的图形终端配置中得到了较为广泛的应用。

光栅扫描式显示器于1980年前后诞生。它采用成熟的彩色电视机技术,用3个电子束同步逐行扫描荧光屏上整齐排列的红、绿、蓝三基色像素。一幅画面可以由 640×480 , 1024×800 , 1280×1024 不等的像素构成。将需要显示的图形点阵分解成红、绿、蓝三基色,并将各像素所对应的色彩编码值存储在帧缓存器内,用来控制扫描电子束每一瞬间的强度,这样就在屏幕上产生出一幅绚丽多彩的图像。图形终端从随机扫描转向光栅扫描是计算机图形学发展历程中一次质的飞跃,它有力地促进了计算机图形学的快速发展和普及。

1.2.2 计算机图形系统

20世纪60年代以来,随着计算机图形学的发展,出现了各种绘图软件包,用计算机绘制各种工程图纸,以减轻产品设计中手工绘图的繁重负担。这些早期的绘图软件大都采

用线框式图形数据结构,即只存储所画图形的顶点以及各顶点间的连接关系。线框式数据结构特别适合于对图形进行各种几何变换和交互显示,例如,平移某一图形时,只需将这一图形上各顶点的坐标作相应平移,按线框结构中各顶点间原有的连接关系就可生成新的图形。然而,随着CAD技术的发展,当需要在计算机内完整地定义三维物体时,这种线框数据结构便很快暴露出了它的弱点,例如,由于该数据结构包含的信息有限,无法实现图形的自动消隐;其次,同一数据结构可能对应多个物体,产生二义性。从60年代末期,人们开始致力于研究和发发展实体造型技术。并相继出现了英国剑桥大学CAD小组中的I. C. Braid的BUILD系统,美国罗彻斯特大学的H. B. Voelcker等人主持研究的PADL-1系统和日本北海道大学N. Okino主持研究的基本体素半空间的TIPS-1系统。之后不久,法国、瑞士等国也发展了类似功能的实体造型系统。所有这些系统具有一个很重要的共同点是它们都在计算机内提供了对物体的完整的几何定义,因而可以随时提取所需要的信息,而且它们支持CAD/CAM过程的任何一个方面,如计算机绘图、应力分析、热流计算、数控加工等。目前,国际上应用较广的实体造型系统有IBM公司的CADAM、Dassault System公司的CATIA、SDRC公司的Geomod、PT公司的Pro/Engineer、Spatial Technology公司的ACIS、Solidworks公司的Solidworks等。实体造型系统的重要特点之一是设计人员可以直接在三维空间进行产品的设计、修改和观察,从而使设计活动变得直观、简单和高效。

实体造型和曲面造型是紧密联系、相互支持、互相渗透的两个独立分支。这是因为三维形体的几何表示处处都要用到曲面造型,如果光有实体造型而无曲面造型,我们将无法准确地描述和控制许多物体的外部形状。例如,飞机、汽车、叶轮的流体动力学分析,家用电器、轻工业产品的工业造型设计,科学计算中的应力、应变、温度场、速度场的直观显示等,都需要强有力的曲面造型工具。而曲面造型也必须和实体造型结合起来才有意义。光有曲面造型,我们就得不到物体的整体,无法计算和分析物体的许多整体性质,如物体的体积、表面积、重心等,也不能将这个物体作为一个整体去考察它与其他物体相互关联的性质。

近20年来,有关曲线和曲面的文章和专著相继发表。1963年,美国波音飞机公司的费格森将曲线曲面表示成参数矢量函数形式;1964年,美国MIT的孔斯(Coons)用封闭曲线的4条边界定义一块曲面;1946年,舍恩伯格提出有关B样条的理论,1967年其论文发表;1971年法国雷诺汽车公司的贝塞尔(Bézier)发表了一种用控制多边形定义曲线和曲面的方法。同期,法国雪铁龙汽车公司的德卡斯特里奥也独立地研究出与贝塞尔类似的方法。孔斯和贝塞尔被并列称为现代计算机辅助几何设计的奠基人。1974年,美国通用汽车公司的戈登和里森费尔德将B样条理论用于形状描述,提出了B样条曲线、曲面。1975年,美国锡拉丘兹大学的佛斯普里尔在其博士论文中提出了有理B样条方法。20世纪80年代后期,美国的皮格尔和蒂勒将有理B样条发展成为非均匀有理B样条(NURBS)方法,并已成为当前自由曲线和曲面描述的最为流行的技术,使有关曲面的设计、分析与计算达到了前所未有的高度。

1.2.3 计算机图形的标准化

伴随着图形输入、输出技术的进步,图形软件也从无到有、从单一功能到多种功能不