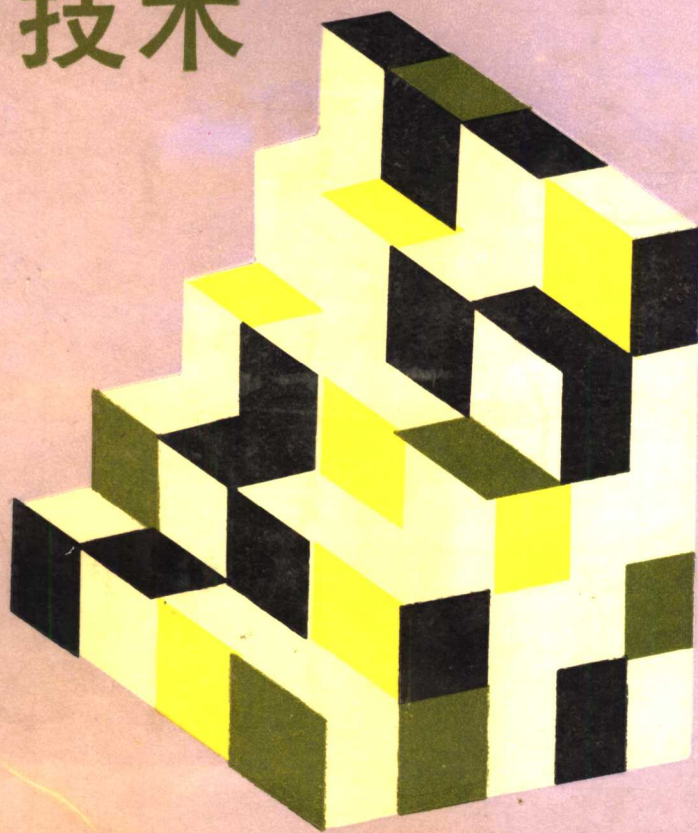


SANWEITUXINGXITONG  
PHIGS  
DEYUANLIYUJISHU

蔡士杰 张福炎 王玉兰 编著

# 三维图形系统PHIGS 的原理与技术



NANJINGDAXUECHUBANSHE

南京大学出版社

# 三维图形系统 PHIGS 的原理与技术

蔡士杰 张福炎 等 编著

南京大学出版社

1991·南京

## 内 容 简 介

本书是讲解计算机图形学基本理论与算法以及三维图形系统 PHIGS (含 PHIGS+) 的原理与应用技术的一本教材。全书共分十七章。前九章介绍计算机图形学的基本理论和算法,包括图形显示器原理、图形变换、几何模型构造、曲线曲面、消隐处理、真实感图形技术和交互技术。后八章介绍三维图形国际标准 PHIGS (程序员的层次结构交互图形系统) 的组成与应用技术。本书的特点是取材新颖,内容丰富,一般原理与具体系统相结合。

本书可作为高等院校有关各专业的大学生、研究生学习计算机图形学的教材。也可供研究和开发计算机图形学和计算机辅助设计与制造 (CAD/CAM) 技术的科技人员学习参考。

### 三维图形系统 PHIGS 的原理与技术

蔡士杰 张福炎 等 编著

南京大学出版社出版

(南京大学校内)

江苏省新华书店发行

江苏丹阳练湖印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 20.5 字数: 509 千字

1991年11月第1版 1991年11月第1次印刷

印数: 1—3000

ISBN 7—305—01281—5/TP·37

定价: 9.20 元

# 前 言

计算机图形学的发展已有三十多年的历史了。随着计算机图形学的应用领域不断拓宽，其基本理论、算法和技术的不断发展，GKS、CGI、GKS-3D 和 PHIGS 等图形标准也相继提出和建立。它们有力地支持和促进了计算机图形学的应用和进一步发展。其中三维图形系统 PHIGS 由于其既支持层次式结构的模型设计又支持三维图形显示而格外受到人们的重视。

本书是讲解计算机图形学基本理论与算法以及三维图形系统 PHIGS (含 PHIGS+) 的原理与应用技术的一本教材。该书是在我们多年从事计算机图形学教学和科研工作的基础上编写而成的。全书共分十七章，前九章讲解计算机图形学的基本理论与算法，包括图形显示器原理、图形变换、几何模型构造、曲线曲面、消隐处理、逼真图形技术和交互技术。后八章介绍三维图形国际标准 PHIGS 的组成与应用技术。我们在撰写本书时力求做到取材新颖、内容丰富、一般原理与具体系统相结合。

本书的第四、五、六、七、九、十一、十三、十四、十五章由蔡士杰执笔，第一、二、三、十、十二章由张福炎执笔，第八章和第十六章由王玉兰提供初稿，岳力编写了第十七章并提供了第十一、十三、十五章中的例子。全书由蔡士杰和张福炎统编定稿。

在本书撰写过程中，得到了葛如顶、李滨宇同志的许多帮助；在书稿录入、绘图、排版、校对过程中，卜云峰、夏燕、薛传纲等同志做了大量艰苦、细致的工作，编者借此机会向他们表示衷心的感谢。

限于编者的水平，书中错误和不妥之处在所难免，恳请读者批评指教。

编者 1991年6月

于南京大学计算机科学系

DJS 3/05

# 目 录

第1章 交互式计算机图形学引论 .....	1	4.5.1 引言 .....	46
1.1 图形信息的计算机处理 .....	1	4.5.2 基本体索引用法 .....	47
1.2 交互式图形系统的组成 .....	2	4.5.3 单元分解法和空间位置枚举法 ...	49
1.3 计算机图形学的应用 .....	4	4.5.4 扫描表示法 .....	53
1.4 计算机图形学的主要研究内容 .....	6	4.5.5 结构实体几何法 .....	55
第2章 光栅扫描图形显示器的工作原理 .....	8	4.5.6 边界表示法 .....	57
2.1 结构与原理 .....	8	4.6 两个实体造型系统简介 .....	58
2.2 监视器 .....	10	4.6.1 GMSolid .....	60
2.3 显示存贮器的组织 .....	12	4.6.2 ROMULUS .....	60
2.4 彩色表的结构与使用 .....	13	第5章 曲线和曲面 .....	62
2.5 图象生成器 .....	14	5.1 引言 .....	62
2.6 常用扫描转换算法 .....	16	5.1.1 曲线和曲面 .....	62
第3章 几何变换与裁剪 .....	29	5.1.2 插值和逼近 .....	63
3.1 坐标系 .....	29	5.1.3 曲线和曲面的参数表示 .....	63
3.2 基本二维变换 .....	29	5.1.4 基函数和张量积 .....	64
3.3 齐次坐标 .....	32	5.2 插值曲线 .....	64
3.4 复合变换 .....	33	5.2.1 线性和多项式插值 .....	64
3.5 三维变换 .....	35	5.2.2 四型值点三次插值曲线的矩阵表示 .....	65
3.6 观察变换 .....	39	5.2.3 插值曲线的分段生成及其特性 ...	66
3.7 裁剪 .....	40	5.3 Bezier 曲线 .....	67
第4章 几何模型构造技术 .....	43	5.3.1 Bezier 曲线的定义与矩阵表示 ...	67
4.1 几何模型 .....	43	5.3.2 Bezier 曲线的性质 .....	68
4.2 线模型、面模型和体模型 .....	43	5.3.3 Bezier 曲线的分割作图法 .....	69
4.3 模型的层次式结构 .....	45	5.4 B 样条曲线 .....	72
4.4 模型的操作 .....	45	5.4.1 B 样条曲线的定义 .....	72
4.5 实体模型设计 .....	46	5.4.2 B 样条曲线的几何特性 .....	72
		5.4.3 均匀周期性 B 样条曲线 .....	73
		5.4.4 均匀非期性 B 样条曲线 .....	77
		5.4.5 均匀 B 样条曲线的连续性及应用讨论 .....	79

5.5 非均匀有理 B 样条 (NURBS) .....	84	7.4 扫描线算法 .....	124
5.5.1 有理 B 样条曲线 .....	84	7.4.1 扫描线多边形填色算法 .....	124
5.5.2 非均匀有理 B 样条曲线 .....	84	7.4.2 扫描线 Z 缓存算法 .....	126
5.6 Bezier 曲面 .....	86	7.4.3 分段扫描线算法 .....	127
5.7 B 样条曲面 .....	89	7.5 优先度算法 (画家算法) .....	127
<b>第 6 章 三维空间的观察过程 .....</b>	<b>93</b>	7.6 循环细分算法 .....	128
6.1 引言 .....	93	7.6.1 Warnock 算法 .....	128
6.2 平面几何投影 .....	93	7.6.2 Weiler-Atherton 算法 .....	130
6.2.1 透视投影及其分类 .....	94	7.7 曲面的消隐算法 .....	131
6.2.2 平行投影及其分类 .....	95	7.7.1 Catmull 细分算法 .....	131
6.3 投影图的确定 .....	97	7.7.2 曲面的扫描线算法 .....	132
6.3.1 简单情况下点的透视投影计算 .....	97	<b>第 8 章 照明和浓淡 .....</b>	<b>133</b>
6.3.2 投影平面为 $Z=0$ 的正投影计算 .....	99	8.1 引言 .....	133
6.3.3 投影平面为 $Z=0$ 的斜平行投影计算 .....	99	8.2 颜色和颜色模型 .....	134
6.4 一般情况下三维视图的确定 .....	100	8.2.1 颜色混合 .....	134
✓ 6.5 平行投影的规范化变换 .....	103	8.2.2 颜色模型 .....	137
6.5.1 坐标系变换与点的变换 .....	103	8.3 光源 .....	140
6.5.2 规范化变换矩阵的推导 .....	103	8.4 照明模型 .....	141
✓ 6.6 透视投影的规范化变换 .....	108	8.4.1 基本照明模型 .....	141
6.7 相对于规范化观察空间进行裁剪 .....	111	8.4.2 phong 照明模型 .....	143
6.7.1 平行投影规范化观察空间的裁剪 .....	111	8.4.3 Torrance-Sparrow 照明模型 .....	144
6.7.2 透视投影规范化观察空间的裁剪 .....	112	8.4.4 透明性 .....	146
6.7.3 透视变换 .....	113	8.4.5 光线追踪与全局照明模型 .....	146
<b>第 7 章 隐藏线和隐藏面的消除 .....</b>	<b>115</b>	8.5 浓淡方法 .....	148
7.1 隐藏线和隐藏面问题 .....	115	8.6 彩色图形的绘制 .....	150
✓ 7.2 消隐算法中的基本测试方法 .....	116	<b>第 9 章 交互作用的设备与技术 .....</b>	<b>152</b>
7.2.1 引言 .....	116	9.1 图形输入设备 .....	152
7.2.2 重迭性测试 .....	116	9.1.1 数字化仪 .....	152
7.2.3 包含性测试 .....	118	9.1.2 鼠标仪 .....	154
7.2.4 深度测试 .....	122	9.1.3 光笔 .....	154
7.2.5 可见性测试 .....	123	9.1.4 旋钮 .....	154
7.3 Z 缓存算法 .....	124	9.1.5 键盘 .....	155
		9.1.6 三维输入设备 .....	156
		9.2 输入设备的逻辑分类与交互方式 .....	156
		9.2.1 输入设备的逻辑分类 .....	156

9.2.2 交互方式 .....	157	11.2.1 折线输出原语 .....	190
9.2.3 逻辑输入设备模型 .....	159	11.2.2 折线图元的属性 .....	191
9.3 交互技术 .....	161	11.2.3 折线属性的设置 .....	191
9.3.1 定位技术 .....	161	11.2.4 折线图元输出原语应用举例 ...	192
9.3.2 橡皮条技术 .....	162	11.3 多点标记 .....	194
9.3.3 拖曳技术 .....	163	11.3.1 多点标记输出原语 .....	194
9.3.4 菜单技术 .....	164	11.3.2 多点标记的属性 .....	195
9.3.5 定值技术 .....	166	11.3.3 多点标记属性的设定 .....	195
9.3.6 拾取技术 .....	167	11.3.4 多点标记输出原语应用举例 ...	196
9.3.7 网格与吸附 .....	168	11.4 文字 .....	197
9.4 用户接口的设计 .....	168	11.4.1 文字输出原语 .....	197
9.4.1 用户接口的任务和组成 .....	168	11.4.2 文字平面和文字局部坐标系统 .....	198
9.4.2 用户接口的语言模型 .....	170	11.4.3 文字图元的属性 .....	198
9.4.3 用户接口的设计原则 .....	170	11.4.4 文字对准 .....	200
<b>第10章 图形支撑软件标准概述 .....</b>	<b>173</b>	11.4.5 文字属性的设置 .....	202
10.1 交互式图形系统的标准接口 .....	173	11.4.6 文字图元输出举例 .....	203
10.2 图形核心系统 GKS .....	174	11.5 加注文字 .....	206
10.2.1 GKS 的基本概念 .....	174	11.5.1 加注文字输出原语 .....	206
10.2.2 GKS 图形输出原语 .....	175	11.5.2 加注文字的属性 .....	206
10.2.3 图段 .....	177	11.5.3 加注文字属性的设置 .....	207
10.2.4 输入与交互处理 .....	178	11.5.4 加注文字输出原语应用举例 ...	207
10.2.5 GKS 程序设计 .....	180	11.6 填充区 .....	208
10.3 计算机图形设备接口标准——CGI .....	181	11.6.1 填充区输出原语 .....	208
10.4 三维图形软件标准: GKS-3D ...	183	11.6.2 填充区属性 .....	209
10.5 层次结构交互图形标准: PHIGS 和PHIGS+ .....	184	11.6.3 填充区的属性设置 .....	212
10.5.1 概述 .....	184	11.6.4 填充区输出原语举例 .....	213
10.5.2 PHIGS 的基本概念 .....	186	11.7 填充区集 .....	214
10.5.3 PHIGS 的程序设计 .....	186	11.7.1 填充区集输出原语 .....	214
10.5.4 PHIGS 与 GKS 的比较 .....	188	11.7.2 填充区集的属性 .....	215
<b>第11章 PHIGS的输出原语及其属性 .....</b>	<b>189</b>	11.7.3 填充区集属性的设置 .....	215
11.1 引言 .....	189	11.7.4 填充区集输出原语应用举例 ...	216
11.2 折线 .....	190	11.8 单元阵列 .....	216
		11.9 广义图元 .....	218
		11.10 单一属性方式与束属性方式 .....	218
		<b>第12章 PHIGS 的建模功能 .....</b>	<b>221</b>

12.1 基本概念 .....	221	15.3 逻辑输入设备的请求输入 .....	266
12.1.1 模型 .....	221	15.4 逻辑输入设备的取样输入 .....	269
12.1.2 几何模型与物体的层次结构 .....	221	15.5 逻辑输入设备的事件输入 .....	271
12.1.3 符号及其定义 .....	222	15.6 输入度量的触发 .....	272
12.1.4 符号的引用及建模变换 .....	223	15.7 输入设备的初始化 .....	274
12.1.5 层次模型与复合建模变换 .....	224	15.7.1 定位设备的初始化 .....	274
12.2 PHIGS 的模型建立功能 .....	225	15.7.2 描画设备的初始化 .....	275
12.2.1 结构和结构元素 .....	225	15.7.3 定值设备的初始化 .....	277
12.2.2 结构网络(Structure network) .....	227	15.7.4 选择设备的初始化 .....	277
12.2.3 建模变换与建模裁剪 .....	228	15.7.5 拾取设备的初始化 .....	278
12.2.4 建模实用函数 .....	230	15.7.6 字符串设备的初始化 .....	279
12.3 结构的遍历与显示 .....	231	15.8 交互功能应用举例 .....	279
12.4 结构的编辑操作 .....	233	<b>第16章 扩充的输出原语和绘制流水线</b>	
12.5 对 CSS 中结构的处理 .....	234	.....	282
12.6 对 CSS 中结构的查询与搜索 .....	236	16.1 引言 .....	282
12.7 结构的存档与搜索 .....	239	16.2 扩充的输出原语 .....	283
<b>第13章 PHIGS 观察流水线</b> .....	242	16.2.1 带数据的折线集 .....	283
13.1 PHIGS 坐标系统和观察流水线 .....	242	16.2.2 带数据的填充区 .....	284
13.2 观察方向变换 .....	244	16.2.3 带数据的填充区集 .....	285
13.3 观察映射变换 .....	246	16.2.4 带数据的三角形带 .....	287
13.4 观察裁剪 .....	248	16.2.5 带数据的四边形网格 .....	288
13.5 观察表示与观察索引 .....	248	16.2.6 带数据的多面体 .....	289
13.6 工作站变换 .....	250	16.2.7 参数多项式曲线 .....	290
13.7 观察流水线举例 .....	252	16.2.8 非均匀 B 样条曲线 .....	291
<b>第14章 PHIGS 工作站</b> .....	257	16.2.9 参数多项式曲面 .....	292
14.1 引言 .....	257	16.2.10 非均匀 B 样条曲面 .....	292
14.2 工作站描述表 .....	257	16.2.11 扩展的单元阵列 .....	293
14.3 工作站的打开和关闭 .....	258	16.3 绘制流水线 .....	293
14.4 工作站图形的显示与修改 .....	258	16.3.1 光源定义 .....	293
14.5 工作站属性表 .....	261	16.3.2 反射方程 .....	294
14.6 颜色 .....	264	16.3.3 浓淡方法 .....	294
<b>第15章 PHIGS 的交互功能</b> .....	265	16.3.4 深度指示 .....	295
15.1 逻辑输入设备 .....	265	16.3.5 颜色映射 .....	296
15.2 PHIGS 的交互模式 .....	265	16.4 颜色综合 .....	298
		16.5 再论属性 .....	299
		<b>第17章 PHIGS 的综合应用例</b> .....	301



17.1 模型构造 .....	301	17.3 交互作用 .....	307
17.2 观察变换 .....	306	17.4 动态调试 .....	314
参考文献 .....			317

# 第 1 章 交互式计算机图形学引论

电子计算机的发展历史已经有 40 多年了。随着计算机硬件、软件技术的飞速进步,计算机的应用也逐步地由数值计算、数据处理领域向信息处理和知识处理领域拓宽。计算机应用不断提出的各种各样的要求又进一步促进了计算机科学技术的发展和提高。交互式计算机图形学(Interactive Computer Graphics)这一新的分支学科的出现,就是计算机应用与计算机技术相互促进的一个范例。下面简要地介绍计算机图形学的一些基本概念,图形应用系统的模型,图形学的应用以及交互式计算机图形学的主要研究内容。

## 1.1 图形信息的计算机处理

与其他形态的信息相比,图形具有直观明了、含义丰富等种种优点,因此它有着广泛的用途。当然,图形的表示、生成、处理、存储、检索和管理等要比文字复杂得多。用计算机处理图形信息比传统的手工或机械方式提高了一大步,它使图形的用途更加广泛,使用更加有效,而成本也越来越降低。

与图形信息的计算机处理有关的计算机分支学科有三个,它们是图象处理、模式识别和计算机图形学。

### (1) 图象处理(Image Processing)

可见或不可见的图形(图象)经过量化后送入计算机,由计算机按应用的需要进行图象增强、复原、分割、重建、编码、存储、传输等种种不同的处理,需要时把加工处理后的图形(图象)重新输出,这个过程统称为“图象处理”。计算机 X 射线断层造影技术(Computer Tomography, 简称 CT)就是图象处理的一个典型例子。

### (2) 模式识别(Pattern Recognition)

图形信息输入计算机后,先对它进行特征抽取等预处理,然后用统计判定方法或语法分析方法对图形作出识别,最后由计算机按照人们的使用要求给出该图形的分类或描述。例如中西文字符和工程图纸的自动阅读装置,就是模式识别技术的应用实例。

### (3) 计算机图形学(Computer Graphics)

使用计算机建立、存储、处理某个对象的模型,并根据模型产生该对象图形输出的有关理论、方法与技术,称为“计算机图形学”。这里所说的对象(object),可以是各种具体的、实在的物体,如汽车、房屋、机械零件等,也可以是抽象的或者是假想的事物,如天气形势、人口分布、世界各国经济发展增长速度等等。无论何种对象,计算机图形学的主要任务是先对这些对象进行描述(建模),然后对描述这些对象的一组数据或过程进行种种处理,从无到有地产生能正确地反映这些对象某种性质的图形的输出,如汽车外形图、零件加工图、大楼布局图、天气图、人口分布图等。图形生成的方式有被动式(passive)和交互式(interactive)两种。前者指图形生成过程中操作员无法对图形进行操纵和控制,它主要使用在以绘图机作为输出设备的早期系统中。交互方式则允许操作人员使用交互设备

控制和操纵模型的建立和图形的生成过程，模型及其图形可以边生成、边显示、边修改，直到产生了符合使用要求的模型和图形为止。目前，大多数图形系统的工作方式几乎都以交互式为主。

图象处理、模式识别和计算机图形学这三门与图形信息处理有关的学科，它们之间的相互关系可以粗略地用图 1.1 来表示。虽然这些学科都已有了二三十年的历史，但长时间来它们基本上是以相互独立的形式各自发展、成长的。到了 80 年代，由于光栅扫描图形显示器的广泛使用，以及大量复杂的应用课题的研究需要，这三门学科的相互关系和一些共同技术引起了人们越来越大的兴趣。从计算机软硬件系统的角度来看，其中图形显示技术起着基础和核心的作用。

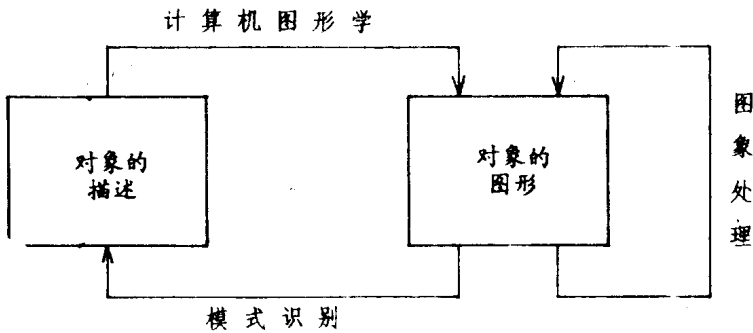


图 1.1 图象处理、模式识别与计算机图形学的相互关系

## 1.2 交互式图形系统的组成

从程序员的角度来看，所有交互式图形系统在概念上均由四个部分组成，如图 1.2 所示。下面分别对这四个部分作简要介绍。

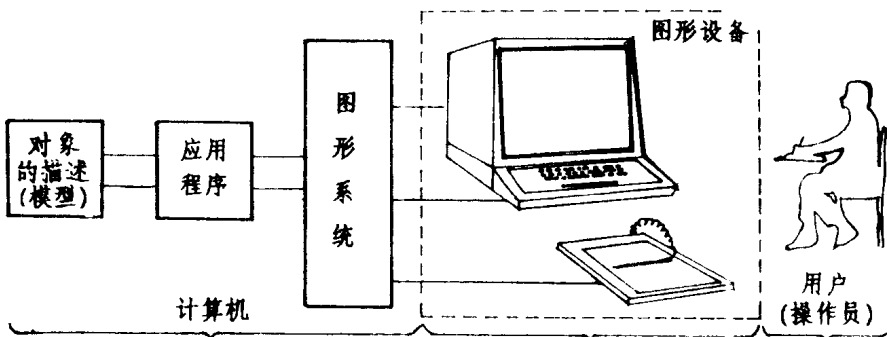


图 1.2 交互式图形系统的组成

### (1) 应用数据结构(Application Data Structure)

应用数据结构实质上是一些数据文件，其中保存着欲生成其图形的那个(些)对象的全部描述信息。这些描述信息包括：用于定义该对象所有组成部分的形状和大小的几何信息及有关的拓扑信息；用于说明与该对象图形有关的一些属性信息，如色彩、纹理、表面性质等；以及实际问题中还需要涉及的其他一些非几何数据，如材料、单价、加工要求等。

它们往往存放在数据库中。

能够正确地表达出一个对象的性质、结构和行为的所有描述信息，称为这个对象的模型。计算机图形学感兴趣的主要是这个对象的几何性质(形状、大小、位置、结构等)，因此，用于刻画被处理对象几何性质的描述信息就构成了它们的几何模型。

常用的几何模型有多种类型，例如线模型(Wireframe Model)、面模型(Surface Model)和体模型(Solid Model)，它们都可用来表示三维空间中的物体。由于表示方法不同，功能也不一样，其优缺点对比大致如表 1.1 所示。

表 1.1 三种不同几何模型比较

名称	特点
线模型	使用直线、折线、曲线等描述物体的几何形状。模型简单，易于生成各种投影视图。但由于模型信息不完整，隐线消除和剖面生成有一定困难，几乎不能进行体积、面积等物性计算
面模型	使用多边形、曲面等描述物体的几何形状。模型较复杂，可生成各种视图及真实感图形。模型信息较完整，能消除隐面和生成剖面，但物性计算有一定困难
体模型	常用多面体、球体、锥体等基本体素及其并、差、交运算来描述物体。模型复杂，但信息完整。可自动消除隐面和生成剖面，物性计算易于进行

## (2) 图形应用软件

图形应用软件是系统中的核心部分，它是图形技术在各种不同应用中的抽象，其主要功能大体概括如下：

①根据从图形输入设备经由图形支撑软件送来的命令和数据，构造或修改被处理对象的模型。

②从应用数据结构(模型)中取出该对象的几何数据及有关属性，按照应用的要求对它们进行种种处理，然后使用图形支撑软件所提供的各种功能，生成该对象的图形并在图形输出设备上输出。

③与图形显示并无直接关系的一些其他处理功能，如性能模拟、分析计算、后处理、用户接口、系统维护等。

## (3) 图形支撑软件

图形支撑软件通常由一组公用的图形子程序所组成，它扩展了系统中原有高级语言和操作系统的图形处理功能。特别是采用标准图形软件如 PHIGS, GKS, CGI 等之后，图形应用软件的开发将得到如下三个方面的好处：

①与设备无关。在标准图形软件基础上开发各种图形应用软件，不必关心具体设备的物理性能和参数，开发出的应用软件可以在不同硬件系统之间方便地进行移植和运行。

②与应用无关。标准图形软件的各种图形输入输出处理功能，综合考虑了多种应用的不同要求，因此有很好的适应性。

③具有较高性能。标准图形软件能够提供多种图形输出原语 (Graphic Output Primitives)，如线段、圆弧、折线、曲线、曲面、标志、填充区域、图象、文字等，能处理各种类型图形输入设备的操作，可以允许对图形分段，也可以对图形进行各种变换。因此，应用程序能以较高的起点进行开发。

#### (4) 图形设备

图形系统中的外围设备除大容量外存储器、通讯控制器等常规设备外，还有图形输出和图形输入设备。图形输出设备有图形显示器和图形硬拷贝设备两类；图形输入设备的种

表 1.2 常用图形输出设备的分类

图形显示器	CRT 显示器	光栅扫描图形显示器 随机扫描图形显示器(刷新式) 随机扫描图形显示器(存储管式)
	其他显示器	液晶显示器(LCD) 等离子平板显示器 发光二极管显示器(LED) 激光显示器
图形硬拷贝设备	绘图仪	平板式绘图机 滚筒式绘图机(静电式, 机械式)
	图形打印机	点阵式(机械)打印机 喷墨式印刷机 激光印刷机
	其他设备	缩微胶片输出设备 复印输出设备 录象设备(录象带, 录象盘)

类繁多，在国际图形标准中，按照它们的逻辑功能可分成定位设备、选择设备、描画设备等若干类。通常，一种物理设备往往兼具几种逻辑功能。在交互式系统中，图形的生成、修改、标注等人机交互操作，都是由用户通过图形输入设备进行控制的。表 1.2 和表 1.3 是常用图形设备的分类，供系统配置时参考。

表 1.3 常用图形输入设备的分类

逻辑输入设备	对应的主要物理设备
定位设备(Locator)	数字化仪, 鼠标器, 操纵杆等
描画设备(Stroke)	数字化仪
检取设备(Pick)	光笔, 鼠标器
命令选择设备(Choice)	按钮, 功能键
数值输入设备(Valuator)	可调电位器, 拨号盘, 键盘
字符输入设备(String)	键盘, 字符阅读器, 语音识别装置

### 1.3 计算机图形学的应用

计算机图形学研究如何使用计算机这个工具来描述物体并生成物体的图形。利用计算机生成图形，这是人们自从发明照相技术和电视技术以来产生图形的一种最重要的机械手段。与照相技术或电视技术相比，它的主要优点有：

\* 计算机不但能生成实际存在的具体对象的图形，而且还能生成假想的或者抽象的对象的图形，例如人口分布图、天气图、经济增长趋势图等。

\* 计算机不仅能生成静态图形，而且还能生成随地域、时间、位置或其他参数变化而变化的动态图形。

\* 计算机生成图形的过程中，允许人们随时进行修改和各种控制。

因此，计算机图形学有着广阔的应用范围和发展前景。下面是它的一些有代表性的应用领域：

①在科学和工程计算及事务处理中，常常使用图形来表示数值计算或数据处理的结果。例如函数的图形(图 1.3)、分子模型、框架结构、应力或场强的分布等。用图形来表示大量的数值结果，不但有形象、直观的优点，而且能反映出各种参数相互之间的关系，比较容易揭示事物的本质和规律。最近几年，“形象化计算技术”(Computing Visualisation)的兴起就是图形学与大型科学计算相结合的结果。

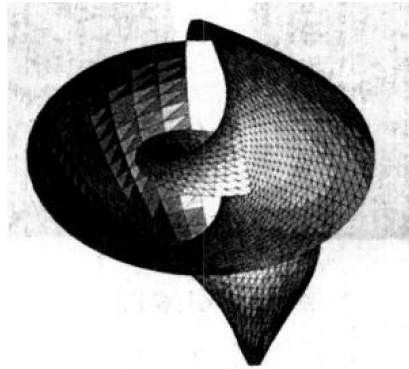


图 1.3 参数化曲面的图象

②各种地理信息和自然现象的图形表示。如地形图、天气图、海洋图、石油开采图、人口密度图等，利用计算机制作地图(Computerized Cartography)是计算机在古老的地理科学中的重要应用之一。

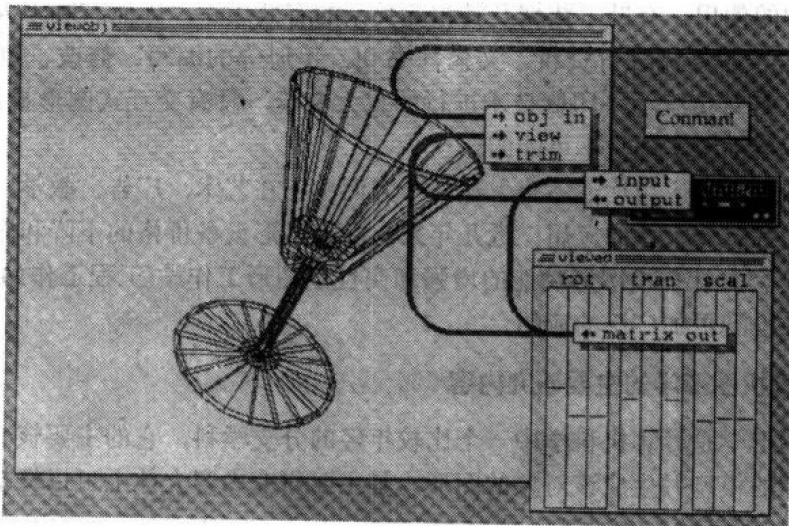


图 1.4 利用计算机辅助设计产品的外形与结构

③ 计算机辅助制图和辅助设计(Computer Aided Drafting and Design, 简称为 CADD), 这是计算机图形学最早、也是最重要的一个应用领域, 例如图 1.4 是利用计算机交互式设计产品结构的过程。目前, 计算机辅助设计在机械、电子、电气、建筑、轻工等各种工程领域都有着广泛的应用, 并取得明显的经济效益。

④ 计算机模拟和动画。利用计算机模拟某个系统或某种现象和过程(图 1.5), 这是一种进行系统分析和仿真的有效手段, 图形显示在计算机模拟中有着极重要的作用, 尤其是动画技术。若希望计算机进行实时模拟, 则它对图形显示技术有很高的要求。

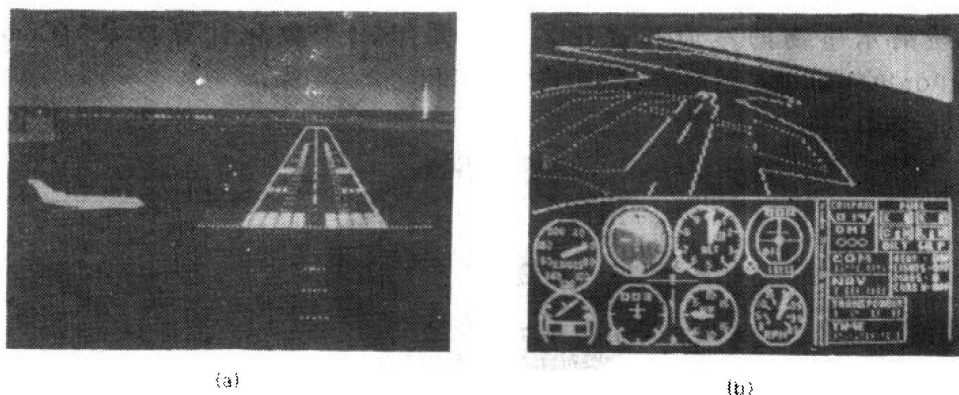


图 1.5 飞行模拟

⑤ 过程控制。在过程控制中, 图形显示器用来显示被控对象(炼油厂、发电厂等)有关环节在操作过程中的状态, 操作人员通过图形交互技术进行各种调节或处理所发生的意外事故。由于图形显示清晰明了、形象直观, 比指示灯、数字仪表等所包含的信息量大得多, 因而现场操作人员的工作效率得到很大提高。

⑥ 办公自动化和电子出版技术(Electronic Publication)。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。利用电子计算机进行资料、文稿、书刊、手册等的编写、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, 这种电子出版技术的实现是不可能的。

计算机图形学的应用远远不止上述六个方面, 它在艺术、广告、教学、游戏、软件工程等许多方面都有着很好的应用。近几年来, 随着图形设备价格的下降和图形显示技术的发展, 特别是个人计算机图形功能的增强和高性能图形工作站(工程工作站)的出现, 计算机图形学正在得到更加广泛的应用。

#### 1.4 计算机图形学的主要研究内容

计算机图形学是计算机科学中一个比较年轻的分支学科, 它的主要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)。例如各种不同类型几何模型(二维、三维、分数维(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, 以及隐线/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示技术。

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机内外表示方法、组织形式、存取技术、图形数据库的管理、图形信息的通信, 等等。

⑤人机交互及用户接口技术。例如新型定位设备、选择设备的研究, 各种交互技术如构造技术、命令技术、选择技术、响应技术等的研究, 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等。

⑥动画技术。研究实现高速动画的各种软、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, 实现高速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研究开发。如制订一系列国际图形标准, 使能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性, 允许在不同系统之间方便地进行移植。

总之, 交互式计算机图形学的研究内容是十分丰富的。虽然许多研究工作已经进行了多年, 取得了不少成果, 但随着计算机技术的进步和图形显示技术应用领域的扩大和深入, 计算机图形学的研究、开发与应用还将得到进一步的发展。



## 第 2 章 光栅扫描图形显示器的工作原理

图形显示器是交互式图形系统中必不可少的一种图形输出设备。CRT(阴极射线管)显示器由于其分辨率好、可靠性高、速度快、成本低等优点,多年来始终是图形显示器中最重要的一种设备。CRT 图形显示器工作方式有两种:随机扫描方式和光栅扫描方式。虽然随机扫描图形显示器(又叫向量式或笔画式图形显示器)具有画线速度快、分辨率高等优点,但它难以生成具有多种灰度或颜色、色调能连续变化的图形。而光栅扫描图形显示器却可以生成这种有高度逼真感的图形。由于半导体存储器价格的降低,集成度的提高,以及需要高质量图形显示的应用领域逐步扩大,光栅扫描图形显示器已经成为个人计算机、工程工作站等各种类型计算机所使用的最重要的一种信息显示设备。随着技术的进步,它的结构不断改进,性能逐步提高,成本迅速下降,应用日益广泛。本节叙述光栅扫描图形显示器的组成、工作原理、各种结构方式以及图形显示器的分类。

### 2.1 结构与原理

图 2.1 是光栅扫描图形显示器的框图。从图中可以看出,它一共由五个部分组成,其中显示存储器是整个显示器的核心,它存放着需要在屏幕上显示出来的图形的映象(image),更确切地说,显示存储器中存放了与屏幕画面上的每一点(pixel,称为象素)——对应的一个矩阵,矩阵中的每个元素就是象素的值(图 2.2),这个矩阵称之为“位图”(bitmap)。所以,显示存储器又叫影象存储器(video RAM)、位图存储器,或者叫做帧缓冲器(frame Buffer)。为了使 CRT 屏幕上的图形持续地进行显示,显示存储器的内容需要不断地反复读出并送到监视器去,使得画面能以一定的频率进行刷新。因此显示存储器往往也称为刷新存储器(refresh memory)。显示存储器的结构有多种变化,下面将再详细讨论。

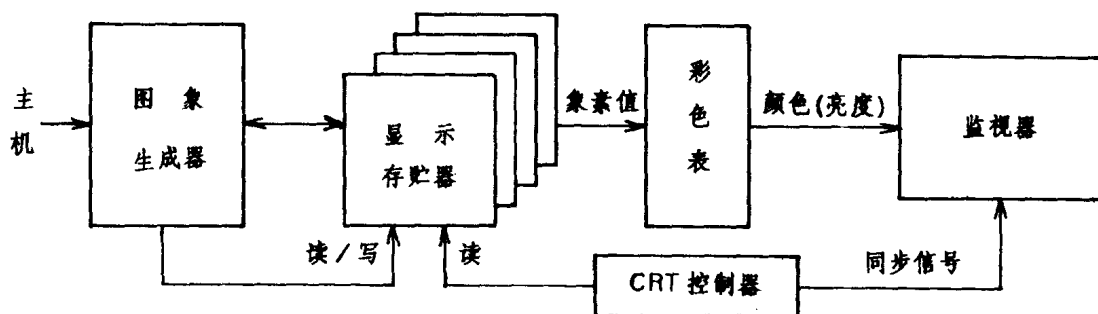


图 2.1 光栅扫描图形显示器的组成

彩色表用来定义象素的颜色。它根据象素的值(称为彩色号)从表中查出其颜色的定义,然后对 CRT 红、绿、蓝三原色的亮度进行控制,从而产生各种不同的颜色。例如图