



普通高等教育“十五”国家级规划教材
面向 21 世纪课程教材



计

算机图形学

——原理、方法及应用

(修 订 版)

潘云鹤 董金祥 陈德人 编著



高等教育出版社

普通高等教育“十五”国家级规划教材
面向 21 世纪课程教材

计 算 机 图 形 学

—— 原理、方法及应用

(修订版)

潘云鹤 董金祥 陈德人 编著



高 等 教 育 出 版 社
HIGHER EDUCATION PRESS

内容提要

本书是2001年1月第一版(教育部面向21世纪教材)的修订本,同时也是“普通高等教育‘十五’国家级规划教材”。第一版内容除了计算机图形学基础知识、主要算法和应用外,还介绍了图形学的应用系统与常用图形标准,并有一些在工业界应用的CAD系统实例,使读者既能很好地理解基础理论知识,又能掌握实际的应用方法和系统结构。修订版在第一版的基础上增加了曲线曲面、计算机动画方法和常用软件、科学计算可视化等章节,并对造型、真实感绘制等章节的内容进行了调整,增加了分解模型、粒子系统、阴影生成等内容,在此基础上,本书还在“计算机图形学的应用”一章中介绍了图形学在文物数字化中的应用,使读者能了解新技术的发展。

除了内容上的调整外,修订版还将在形式上有所提高,除用光盘提供应用系统的演示和学习版外,作者还将建设相关网站,提供与课本内容相对应的PPT课件,增加一些纸质课本无法表达的图形、图像,以取得更好的教学效果。

本书是一本集理论学习、实际应用为一体的颇有特色的教科书,可以作为高等院校本科和研究生计算机及相关专业的教材,也可供科研和工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

计算机图形学:原理、方法及应用/潘云鹤,董金祥,陈德人编著.—2版(修订本).—北京:高等教育出版社,2003.12(2006重印)

ISBN 7-04-013320-2

I. 计… II. ①潘…②董…③陈… 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(2003)第099606号

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 中国农业出版社印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 25.25
字 数 570 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2001年1月第1版
2003年12月第2版
印 次 2006年5月第4次印刷
定 价 36.90元(含光盘)

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 13320-00

修订版前言

本书是 2001 年 1 月版的修订本。计算机图形学从 20 世纪 60 年代至今短短几十年内在应用需求的驱动下得到了飞速发展，成为计算机应用的主要研究方向之一。与计算机图形学的快速发展相应，计算机图形学在国内外已有不少教材，但各教材侧重点有所不同，传统的教材注重原理和基本方法，较少涉及 CAD 等应用领域的实用方法介绍。作者在分析了多年教学过程中使用的国内外教材的优缺点后编写了计算机图形学讲义，并在此基础上完善而成了《计算机图形学——原理、方法及应用》一书。本书除介绍计算机图形学基础知识、主要算法和应用外，还介绍系统与标准，并有一些在工业界应用的 CAD 系统实例，使读者既能很好地理解基础理论知识，又能掌握实际的应用方法和系统结构。

2001 年 1 月本书第一版出版后，作为浙江大学和兄弟院校相关专业的研究生、本科生和研究生进修班等不同层次学生的教材，获得较好的效果。但计算机技术特别是图形硬件和网络技术的快速发展以及应用需求的推动，使得计算机图形学的知识有了更新和发展，并不断衍生出生气勃勃的学科分支，计算机动画、科学计算可视化等相关技术也日益成熟。为使读者尽快掌握相关知识，并使本书内容更丰富，结构更合理，适用面更广，我们在《计算机图形学——原理、方法及应用》第一版的基础上进行修订，增加了曲线曲面、计算机动画、科学计算可视化等章节，并对造型、真实感绘制等章节进行了调整，增加了分解模型、粒子系统、阴影生成等内容，使读者能了解新技术的发展。除了内容上的调整外，修订版还将在形式上有所提高，对应课本内容，我们将提供 PPT 课件，增加一些纸质课本无法表达的图形、图像，以取得更好的教学效果。

董金祥、陈德人、童若锋、唐敏、耿卫东、许端清、李际军、鲁东明、欧阳应秀等同志参加了本书的编写和修订工作，并由董金祥修改定稿。

今后 10 年，计算机图形学会向一片更加广阔的空间前进，在此过程中，特别要注意 3 个发展方向。一是图像技术和图形技术的交叉，它可能成为应对更高显示水平与更低计算成本挑战的强大武器，这也包括它的延伸，即动画和视频技术的交叉；二是智能技术与图形技术的交叉，基于数学计算的图形学算法发展得很快，同时也留下了用数学公式难以攻克的问题，解决这些问题的一套强大工具便是人工智能中的知识和逻辑技术，这种交叉手段，已经在动画的生成、基于图像的真实感显示(IBR)等技术上显示了远大的前景；三是互联网技术与图形技术的交叉，互连网络的那种分布式的、协同的、远距离的乃至无线的技术还将给计算机图形学带来哪些不可预知的变化，我们应当积极探索而不仅仅是拭目以待。

因写作时间有限，书中若有错误及遗漏之处，敬请读者指正。

潘云鹤

2003 年 9 月 1 日

初 版 前 言

近 20 多年来, 计算机图形学已成为计算机科学中最主要的分支之一。这种现象的产生至少有两个原因。其一, 图形是人类最易接受的信息形式, 这不仅因为眼睛是人类最重要的感知器官, 而且也因为人的大脑中的绝大部分信息是关于形象的信息, 因此, 以图形方式进行人一机交互最自然, 也最敏捷; 其二, 计算机图形学本身就很有吸引力, 人的探索欲是促进科学发展最大的动力, 于是, 全世界越来越多的学者加入了这个领域的研究工作, 结果使得各种计算机图形学会议的规模日渐扩大, 成果日趋精彩, 相关产业也随之蓬勃发展。

目前, 计算机图形学已广泛应用于各个领域, 同娱乐界中众多的计算机动画技术一样, 工业界也已普遍使用了各种各样的计算机辅助设计技术。近年来, 科学界对计算机模拟技术给予了越来越高的评价, 并将其列为可与理论、实验相并立的第三大科学研究手段。随着远程教育的发展, 声、文、图并茂的教材将会迅速普及, 人类的智力开发水平也将随之被推向一个新的高度。

本书是计算机图形学的基本教材。书中不但描述了计算机图形学的基本概念与算法, 而且介绍了系统与标准, 并有一些在工业界应用的 CAD 系统实例。希望读者通过阅读此书获得系统的计算机图形学知识, 并为今后学习日新月异发展的计算机图形学前沿知识打下坚实的基础。

今后 10 年, 计算机图形学会向一片更加广阔的空间前进。在此过程中, 特别要注意 3 个发展方向。一是图像 (Image) 技术和图形技术的交叉, 它可能成为应对更高显示水平与更低计算成本挑战的强大武器, 也包括它的延伸, 即动画和视频 (Video) 技术的交叉; 二是智能 (Intelligence) 技术与图形技术的交叉, 基于数学计算的图形学算法发展得很快, 同时也留下了用数学公式难以攻克的问题, 解决这些问题的一套强大工具便是人工智能中的知识和逻辑技术, 这种交叉手段, 已经在动画的生成、基于图像的真实感显示 (IBR) 等技术上显示了远大的前景; 三是互联网 (Internet) 技术与图形技术的交叉, 互联网络的那种分布式的、远距离的、协同的技术将给计算机图形学带来哪些不可预知的变化, 我们应不仅仅是拭目以待。

中国科学院软件研究所总工程师戴国忠研究员仔细审阅了全书, 并提出了宝贵建议, 在此表示衷心的感谢。参加本书编写工作的还有董金祥、陈德人、唐敏、童若峰、耿卫东、许端清等同志。本书所附光盘由董金祥、陈德人、陈纯、吕菁、唐敏、许端清等同志制作。

因写作时间有限, 书中若有错误及遗漏之处, 敬请读者指正。

潘云鹤

2000 年 10 月 1 日

策划编辑	康兆华
责任编辑	武林晓
封面设计	于文燕
责任绘图	郝 林
版式设计	史新薇
责任校对	殷 然
责任印制	宋克学

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E-mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

目 录

第一章 计算机图形学基本知识.....1	2.6.2 多边形的剪裁.....54
1.1 计算机图形学的概念.....1	2.6.3 字符串的剪裁.....58
1.2 计算机图形学的发展.....1	习题二.....59
1.3 计算机图形学的应用.....3	第三章 图形变换与输出.....60
1.4 计算机图形硬件简介.....5	3.1 图形的几何变换.....60
习题一.....19	3.1.1 二维图形几何变换.....60
第二章 基本图形的生成与计算.....21	3.1.2 三维图形几何变换.....64
2.1 直线的生成算法.....21	3.1.3 参数图形几何变换.....68
2.1.1 直线 DDA 算法.....21	3.2 坐标系统及其变换.....69
2.1.2 直线 Bresenham 算法.....22	3.2.1 坐标系统.....69
2.2 圆的生成算法.....26	3.2.2 规格化变换与设备坐标变换.....70
2.2.1 基础知识.....26	3.2.3 投影变换.....75
2.2.2 圆的 Bresenham 算法.....26	3.3 图元输出与输出属性.....77
2.3 区域填充算法.....28	3.3.1 二维图元输出.....77
2.3.1 基础知识.....28	3.3.2 输出属性及其控制.....78
2.3.2 扫描线填色算法.....29	3.3.3 三维图元的输出.....82
2.3.3 种子填色算法.....36	习题三.....83
2.4 字符的生成.....37	第四章 图形输入与交互技术.....85
2.4.1 点阵式字符.....37	4.1 逻辑输入设备.....85
2.4.2 矢量式字符.....38	4.2 图形输入控制.....86
2.4.3 方向编码式字符.....38	4.2.1 概述.....86
2.4.4 轮廓字形技术.....39	4.2.2 请求方式.....86
2.5 图形求交.....39	4.2.3 采样方式.....87
2.5.1 求交点算法.....40	4.2.4 事件方式.....88
2.5.2 求交线算法.....42	4.2.5 输入控制方式的混合使用.....89
2.5.3 包含判定算法.....44	4.3 交互技术.....90
2.5.4 重叠判定算法.....47	4.3.1 定位技术.....90
2.5.5 凸包计算.....47	4.3.2 橡皮条技术.....91
2.6 图形裁剪.....48	4.3.3 拖曳技术.....92
2.6.1 直线的剪裁.....49	4.3.4 菜单技术.....92

4.3.5 定值技术	94	6.6 产品模型数据交换标准 STEP	138
4.3.6 拾取技术	95	6.6.1 STEP 的组成	139
4.3.7 网格与吸附技术	96	6.6.2 产品模型信息结构	144
4.4 三维图形输入	97	6.6.3 几何与拓扑表示	150
习题四	97	习题六	152
第五章 图形数据结构	98	第七章 真实感图形显示	153
5.1 图段	98	7.1 线消隐	153
5.1.1 图段及其属性	98	7.1.1 消隐的基础知识	153
5.1.2 图段的操作	99	7.1.2 凸多面体的隐藏线消除	154
5.1.3 独立于工作站的图段 存储器和图文件	102	7.1.3 凹多面体的隐藏线消除	154
5.2 结构	102	7.2 面消隐	156
5.2.1 结构元素	102	7.2.1 区域排序算法	156
5.2.2 结构网络(Structure Network)	104	7.2.2 深度缓存(Z-Buffer)算法	156
5.2.3 集中式结构存储(CSS)与 结构操作	105	7.2.3 射线踪迹算法	158
5.2.4 建模操作	112	7.2.4 扫描线算法	158
5.3 图段与结构的比较	115	7.3 光照模型	158
习题五	116	7.3.1 光源特性和物体表面特性	158
第六章 数据接口与交换标准	117	7.3.2 光照模型及其实现	160
6.1 GKS 元文件标准 GKSM	118	7.3.3 明暗的光滑处理	163
6.1.1 GKSM 功能	118	7.3.4 阴影生成	165
6.1.2 GKSM 生成	119	7.3.5 整体光照模型	169
6.1.3 GKSM 输入	120	7.4 光线跟踪	170
6.2 计算机图形元文件标准 CGM	121	7.4.1 光线跟踪的基本原理	170
6.2.1 CGM 功能	121	7.4.2 光线与实体的求交	172
6.2.2 CGM 描述	121	7.4.3 光线跟踪算法	174
6.3 计算机图形接口标准 CGI	123	7.5 表面图案与纹理	179
6.3.1 CGI 功能	123	7.5.1 表面图案的描绘	179
6.3.2 光栅功能集	125	7.5.2 表面纹理的描绘	180
6.4 基本图形交换规范标准 IGES	126	7.6 颜色空间	182
6.4.1 IGES 功能	126	7.6.1 颜色的基本概念	182
6.4.2 IGES 元素	127	7.6.2 CIE 色度图	183
6.4.3 IGES 文件结构	131	7.6.3 几种常用的颜色模型	184
6.5 DXF 数据接口	135	习题七	186
		第八章 自由曲线曲面	188
		8.1 曲线和曲面的表示	188

8.2 Bezier 曲线	191	10.5 实体的布尔操作	261
8.3 Bezier 曲面	198	10.5.1 引言	262
8.4 B 样条曲线	201	10.5.2 在 Brep 模型上的 布尔集合操作	262
8.5 B 样条曲面	209	10.5.3 边界分类	264
8.6 NURBS 曲线	211	10.5.4 步骤	265
8.7 NURBS 曲面	214	10.5.5 顶点邻域分类	266
习题八	219	10.5.6 空边的连接	271
第九章 基本造型方法	221	10.5.7 结果的产生	271
9.1 概述	221	10.5.8 提高拼合运算可靠性措施	271
9.2 结构实体几何模型(CSG)	222	10.6 特征造型	273
9.3 分解模型	226	10.6.1 特征的定义	273
9.3.1 八叉树表达	226	10.6.2 特征的分类	274
9.3.2 八叉树的操作	227	10.6.3 特征的形式化描述	275
9.3.3 线性八叉树	229	10.6.4 特征造型系统实现模式	275
9.4 边界模型	229	10.6.5 特征表示	277
9.5 非传统造型技术	232	10.6.6 特征与约束	278
9.5.1 分形造型	232	10.6.7 特征的依赖描述	278
9.5.2 粒子系统	234	习题十	279
习题九	235	第十一章 计算机图形学的应用	280
第十章 实体造型中的基本算法 及特征造型	236	11.1 计算机动画	280
10.1 概述	236	11.1.1 计算机动画的起源与发展	280
10.2 半边数据结构	237	11.1.2 计算机动画的应用	281
10.2.1 半边数据结构描述	237	11.1.3 计算机动画的过程与分类	282
10.2.2 半边结构程序描述	239	11.1.4 计算机动画中的运动控制方法	283
10.2.3 半边数据结构的具体算法	242	11.1.5 典型动画方法介绍	292
10.3 欧拉操作	246	11.1.6 计算机动画的制作软件	306
10.3.1 基本欧拉操作	247	11.2 科学计算可视化	309
10.3.2 低级欧拉算子	249	11.2.1 科学计算可视化的概念和意义	309
10.3.3 高级欧拉算子	252	11.2.2 标量场可视化方法	310
10.4 基本体元的生成	255	11.2.3 矢量场可视化方法	314
10.4.1 移动掠扫算法	255	11.2.4 张量场可视化方法	315
10.4.2 长方体产生的算法	256	11.2.5 可视化应用软件	316
10.4.3 圆柱生成算法	257	11.3 文物数字化	321
10.4.4 以曲线为基的旋转掠扫算法	259	11.3.1 文物数字化的概念和意义	321

11.3.2 文物数字化方法介绍.....	321	12.1.6 系统体系结构.....	345
11.3.3 文物数字化典型系统介绍.....	337	12.1.7 系统配置要求.....	356
习题十一.....	341	12.1.8 造型实例.....	356
第十二章 实用 CAD 系统介绍.....	342	12.2 纺织图案 CAD/CAM 系统.....	368
12.1 基于特征的参数化产品造型		12.2.1 概述.....	368
系统 GS-CAD.....	342	12.2.2 系统的体系结构.....	370
12.1.1 引言.....	342	12.2.3 系统功能.....	372
12.1.2 系统简介.....	342	12.2.4 主要模块的实现.....	373
12.1.3 系统特色.....	343	习题十二.....	389
12.1.4 系统设计的技术路线.....	344	参考文献.....	390
12.1.5 系统的功能与技术特点.....	344		

第一章 计算机图形学基本知识

1.1 计算机图形学的概念

计算机图形学(Computer Graphics)是研究怎样用计算机表示、生成、处理和显示图形的一门学科。图形的具体应用范围很广,但是按基本的处理技术划分只有两类。一类是线条,如工程图、地图、曲线图表等;另一类是明暗图,与照片相似。为了生成图形,就要有原始数据或数学模型,如:工程人员构思的草图,地形航测的判读数据,飞机的总体设计方案模型,企业经营状况的月统计资料,等等。这些数字化的输入经过计算机处理后变成图形输出。

首先介绍几个计算机图形学中的基本概念。

计算机图形 用计算机表示、生成、处理和显示的对象。由几何数据和几何模型利用计算机进行存储、显示,并修改、完善后形成。

图像处理 将客观世界中原来存在的物体的影像处理成新的数字化图像的相关技术,如CT扫描、X射线探伤等。

模式识别 对所输入的图像进行分析和识别,找出其中蕴涵的内在联系或抽象模型,如邮政分拣、地形地貌识别等。

计算几何 研究几何模型和数据处理的学科,探讨几何形体的计算机表示、分析和综合,研究如何灵活、有效地建立几何形体的数学模型以及在计算机中更好地存储和管理这些模型数据。

1.2 计算机图形学的发展

计算机图形学的研究起源于美国麻省理工学院。从20世纪50年代初期到60年代中期,美国麻省理工学院积极从事现代计算机辅助设计/制造技术的开拓性研究。1952年,在该校的伺服机构实验室里诞生了世界上第一台数控铣床的原型。1957年,美国空军将第一批三坐标数控铣床装备运用到飞机工厂,大型精密数控绘图机也同时诞生。随后,麻省理工学院发展了数控加工自动编程工具(Automatically Programmed Tools, APT),这演变成国际上最通用的加工编程工具。1964年,孔斯(Steve Coons)在麻省理工学院提出了用小块曲面片组合表示自由型曲面时使曲面片边界达到任意高次连续阶的理论,此方法得到工业界和学术界的极大推崇,称之为孔斯曲面。孔斯和法国雷诺汽车公司的贝齐埃(Pierre Bézier)并列被称为现代计算机辅助几何设计技术的奠基人。

1962年第一台光笔交互式图形显示器在美国麻省理工学院林肯实验室研制成功,这是 Ivan

Sutherland 以博士论文形式完成的研究课题。

在美国工业界,研制交互式图形显示器的工作也同时开展,其中所起作用最重要的是 IBM 公司。在 1964 年秋,它推出了自主的设计方案,以后经过改进,成为 IBM 2250 显示器,这是 IBM 计算机正式提供工业界使用的第一代刷新式随机扫描图形终端。它使用光笔作为交互输入手段,并且配有 32 个功能键,以便调用程序中的相应功能模块。洛克希德飞机公司利用 IBM 2250 施行开发的 CADAM(Computer-graphics Augmented Design And Manufacturing,计算机图形增强设计与制造)绘图加工系统,从 1974 年起向外界转让,成为目前 IBM 主机上应用最广的 CAD/CAM 软件。

IBM 2250 在 1978 年前后改型为 IBM 3250,但在其工作原理上并无明显变化。1984 年又改型为 IBM 5080,采用光栅扫描技术,带彩色图像;有局部处理能力,并可以用旋钮直接放大、平移、旋转画面;光笔改为电笔,与输入板配合使用,并操纵屏幕上的光标。

20 世纪 60 年代末和 70 年代初,美国 Tektronix 公司发展了存储管技术。显示器型号先后有 4006、4010、4012 等。Tektronix 4014 曾经是 20 世纪 70 年代末 CAD 和工程分析中应用最广的图形终端,它的屏面尺寸是 19 英寸,画面线条清晰,分辨率可以达到 4096×3072 ,价格不到刷新式显示器的一半,每次输入显示命令后可以保留画面 1 小时,因此,编程简单,复杂的画面不会像刷新式显示器那样出现闪烁。它的缺点是,不能局部地动态修改显示画面。

光栅扫描型显示器采用与电视机类似的工作原理,最初主要用于图像处理。屏面像素的分辨率并不高,大多是 512×512 ,但是,色彩层次十分丰富,可以高达 24 个二进制位,即红、绿、蓝三原色各占 8 bit,各有 2^8 即 256 种层次,最终组合成 2^{24} 种色彩或灰度等级。当分辨率低时,这类显示器显示线条的效果不太好,有明显的锯齿形,而且要做矢量到点阵的相互转换,交互响应速度受到一定影响,图形显示缓冲器占用的存储量大。到了 20 世纪 80 年代初,个人计算机如 Apple、IBM PC 以及 Apollo、SUN 等工程工作站问世,并迅速受到广大用户的欢迎,销售量激增。在这些产品的设计中,主机和图形显示器融为一体,都用光栅扫描型显示方法,并得以同时生成高质量的线型图和逼真的彩色明暗图。由于大规模集成电路技术的发展和专用图形处理芯片的出现,光栅扫描型显示器的质量越来越好,价格越来越低,已成为图形显示器的常规形式。在工程设计中,联网的分布式工作站也正在逐渐取代分时式的大型主机连接几十个图形终端的结构。

在图形显示技术发展的历程中,需要强调两家公司的产品,这就是 Evans & Sutherland 公司的 PS 300 型和 Silicon Graphics 公司的 IRIS 型显示设备。它们采用了新的体系结构来提高图形的处理速度,在某种程度上满足了实时的要求。

Evans 和 Sutherland 都是计算机业界知名的计算机图形学专家,后者是光笔图形系统的研制人。PS 300 脱离了传统的冯·诺依曼机结构,不是逐条执行操作命令,而是采用数据驱动式原理,各个操作的执行次序取决于所需数据的到达时刻,当一种操作所需的全部输入数据都已齐备时,该操作便启动执行,这样可以方便地组织并行处理。图形处理中的矩阵运算和其他基本算法使用 3 个位片处理机组成的流水线,使得屏面上显示的线框图可以用旋钮实时旋转、平

移和缩放,并且快速显示运动机构的动作过程,以便从不同角度观察各个元件间的协调关系。三维物体轮廓线的显示亮度可以随距离远近而变化,离眼睛越远的部分线条越淡,这样可更好地体现出立体图的真实感。

数字成像的一般处理过程如下:

- (1) 建立模拟对象的几何模型,按照需要的逼近精度将模型简化为平面多面体。不少系统为了简化、统一运算过程,还进一步将多面体的各个棱面分解为三角形单元;
- (2) 将单个物体进行组装,施加平移、旋转和比例变换等操作,形成整体模拟环境;
- (3) 确定观察点位置,进行显示对象的透视变换;
- (4) 确定显示范围,相当于照相时的取景。窗口的有效范围用上、下、左、右、前、后 6 个平面规定。将所有准备输出的图元与窗口范围进行比较,裁剪出落在窗口有效边界以内的部分;
- (5) 确定图形显示器屏幕上的显示范围(称做视区),将用户定义的三维空间(称做世界坐标系)内的物体映射到显示器的屏面坐标系中;
- (6) 计算各单元三角形的法向矢量,根据光照模型确定可见三角形表面的亮度和色彩;
- (7) 显示所有可见的三角形单元。

美国人 J. H. Clark 从 1979 年至 1981 年在美国斯坦福大学计算机系统实验室试用特殊的浮点运算器组成的流水线来完成上述过程。他将这类专用处理器称为几何机器。

Silicon Graphics 公司的 IRIS 工作站就是采用数字成像工作原理的工业产品。此后,其他公司纷纷效仿。这种持续不断地提高显示画面质量、加快交互速度的努力会继续进行,必将进一步推动计算机图形学技术的飞速发展。

1.3 计算机图形学的应用

随着计算机图形学的不断发展,它的应用范围也日趋广泛。目前,计算机图形学的应用领域主要有以下几个方面。

1. 用户接口

图形比文字、统计报表更直观、逼真,所谓“一目了然”、“耳闻不如目睹”,都说明了形象观察的优越性和必要性。Macintosh 微机首先在商品化产品上用形象的图形表示操作命令,使得普通用户也会用计算机画图、做日常计算,打破了人们对操作计算机所持的神秘感。图文结合的形式大大改善了计算机交互操作的用户界面,开辟了计算机应用的很多新领域。

2. 计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)

这是计算机图形学在工业界最重要的应用领域。交互图形工作站在机械、电子、建筑等行业中迅速取代绘图板加丁字尺的传统设计方法,担负起繁重的日常绘图任务和总体方案的优化、细节设计等工作。

本书中将介绍一些机械 CAD 系统所生成的零件、装配件的例子。

3. 地形地貌和自然资源图

我国正在筹建国土基础信息系统，此系统是国家经济信息系统的组成部分。它将以往分散的表册、照片、图纸等资料整理成统一的数据库，记录全国的大地/重力测量数据、高山/平原地形、河流/湖泊水系、道路/桥梁、城镇/乡村、农田/林地/植被、国界/地区界、地名等。利用这些存储的信息不仅可以绘制平面地图，还可以生成三维的地形地貌图，为高层次的国土整治预测和决策、也为综合治理和资源开发的研究工作提供科学依据。

计算机图形学在战争指挥自动化中占有重要地位。例如，美国早期的 SAGE 战术防空计划直接推动了现代光笔图形显示器的研制。现代战争是多单位、多兵种的协同作战，战役指挥员和统帅部都必须及时了解各单位的发展态势。依靠电话和地图指挥作战的方式正在演变成利用计算机网络和图形显示设备直接传输态势变化并下达作战部署。此外，计算机图形系统在陆军和海军的战役/战术对抗训练中也发挥着重要的作用。这种作战模拟系统使用联机的 3 台图形工作站，分别供红军、蓝军和导演使用。每个工作站配置了显示作战态势的图形终端、显示战斗损耗的字符终端以及交互输入设备。计算机内存储作战区域的地图、各种军标符号和模拟战斗效果的各种算法。全部模拟过程由导演指挥，分别向红军和蓝军布置作战任务、组织讲评。空军飞行员的空战模拟器对图形显示器的硬件结构和软件算法提出了最苛刻的要求。飞行员在训练模拟舱内的操纵动作需要实时变换成投影在球形房顶上的飞机映像的飞行姿态。一场空战中同时有二三架战斗机参与，无疑使整个计算机系统的研制费用高涨。在国外这类系统已投入使用，我国则正在积极朝此发展方向努力。

4. 计算机动画和艺术

计算机动画已经成为计算机图形学的一个分支，并逐步进入实用阶段，使用巨型 Cray 计算机和高级图形显示器。

用计算机构造人体模型，有着非常广阔的应用前景。人一机工程中需要考察人、机器同周围环境的关系；工业设计中要使应用于生活的造型适应人的生理、心理特征；服装设计中要将人体作为效果分析的对象；舞蹈工作者需要方便地编写舞谱和形象地表达舞蹈动作细节的工具；等等。针对应用场合的不同，人体模型的构造方法也不同，最简单的是杆系模型；应用最多的是多面体模型；最复杂的是曲面模型。模型的活动关节数也取决于应用需要。例如，为了设计战斗机驾驶舱，需要计算飞行员的视景角度，用人体模型检查身体各部分的允许活动范围，考查各种手把、开关能否操纵自如，等等。这时，使用的人体模型应该详细到包含手掌和手指。

5. 科学计算可视化

科学计算可视化将计算中涉及与产生的大量数字信号以图像或图形的信息呈现在研究者面前，以促进研究人员对被模拟对象变化过程的认识，发现通常通过数值信息发现不了的现象，取得更多的研究成果。随着可视化技术的不断发展，它在自然科学(如分子构模、医学图像的三维重建、地球科学)和工程技术(如计算流体力学、有限元分析、CAD/CAM)等许多领域有着越来越广泛的应用。如：它可以将 CT 扫描图像通过体绘制或表面重构把肿瘤等的三维形象展示出来，给医师提供诊断治疗的直观依据；它还能够显示飞行器穿越大气层时周

围气流的运动情况和飞行器各部位所受的压力，以供工程师分析。可视化既用到二维曲线图表和三维模型，也有彩色高维几何表示。

6. 游戏

计算机游戏是计算机图形学应用的一个主要增长点，目前已成为促进计算机图形学研究特别是图形硬件发展的一大动力源泉。

随着计算机硬件的不断更新以及各种图形软件的不断出现，计算机图形学的应用前景将会更加引人入胜。

1.4 计算机图形硬件简介

首先介绍常用的图形输入设备。

1. 矢量型图形输入设备

它采用跟踪轨迹、记录坐标点的方法输入图形。主要输入的数据形式为直线或折线组成的图形数据。常用的矢量型图形输入设备有数字化仪、鼠标器、光笔等。

2. 光栅扫描型图形输入设备

它采用逐行扫描、按一定密度采样的方式输入图形。主要的输入数据为一幅由亮度值构成的像素矩阵——图像(Image)。这类设备常采用自动扫描输入方式，因此输入快捷；但是，它所获得的图像数据必须被转换为图形(Graphics)数据，才能被 CAD 系统和各子系统所使用。这种转换，是一种图形识别的过程。这方面的研究已逐步达到实用阶段。常用的光栅扫描型图形输入设备有扫描仪和摄像机。

图形输入设备的功能可分为六类：

- (1) 确定点坐标，即定位；
- (2) 确定一系列点的坐标，即笔画；
- (3) 确定数值；
- (4) 进行选择；
- (5) 进行图形识别；
- (6) 识别字符串。

下面对主要图形输入设备进行介绍。

1. 键盘

包括 ASCII 编码键、命令控制键和功能键，可实现图形操作的某些特定功能。

2. 鼠标

鼠标器是一种手持滚动设备，形状如一个方盒，表面有 2~4 个开关，下面是两个互相垂直的轮子，或是一个球。当轮子或球滚动时，带动两个角度—数字转换装置，产生出滚动距离的 x 方向、 y 方向移动值。表面的开关则用于位置的选择。鼠标器的一个重要特征是，只有当轮子滚动时，才会产生指示位置变化。把鼠标器从一个位置拿起后，放到另一个位置，如果没有轮

子的滚动, 则不会输入任何信息, 即鼠标器只能输入轮子的滚动值, 而不能像数字化仪那样输入位置值。因此, 鼠标器不能用于输入图纸, 而主要用于指挥屏幕上的光标。鼠标器价格便宜、操作方便, 是目前图形交互时使用最多的图形输入设备。

光电式鼠标

利用发光二极管与光敏晶体管来测量位移。前、后位置的夹角使二极管发光, 经鼠标板反射至光敏晶体管, 由于鼠标板均匀间隔的网格使反射光强弱不均, 反射光的变化转化为表示位移的脉冲。

机械式鼠标

内有 3 个滚轴, 即空轴、 x 向滚轴、 y 向滚轴, 还有 1 个滚球。 x 向、 y 向滚轴带动译码轮, 译码轮位于两个传感器之间且有一圈小孔, 二极管发向光敏晶体管的光因被译码轮阻断而产生反映位移的脉冲, 两脉冲相位成 90° 。

3. 坐标数字化仪

数字化仪由一块平板和一个探头组成, 它按工作原理的不同可分为电磁式、磁致伸缩式、机械式、超声波式等多种。

机械式坐标数字化仪

导轨和测头沿两个方向移动, 带动光栅轮移动, 产生光电信号, 从而得到相对有距离两点的坐标数。

超声波式坐标数字化仪

利用 x 、 y 方向的超声波传感器, 拾取坐标点的笔尖上产生的超声波, 通过所记录的超声波到 x 、 y 边的最小时间换算出两点间的距离。

全电子式坐标数字化仪

在平板的板面下面, 是一块 x 方向和 y 方向的导线网印刷线路板。平板内装有一套电子线路, 它向导线网的 x 方向线与 y 方向线依次进行时序脉冲扫描。扫描电流对导线的瞬间激励引起的时序脉冲的时间进行比较后, 就可以自动求出探头所在的位置数据并送入计算机。

三维数字化仪

这类设备通过投影的方法, 将 3D 物体的表面结构(线框)输入计算机, 以形成计算机内的 3D 线框图模型, 直接用于真实感显示。2D 数字化仪可视为其特例。因此, 这类设备称为 3D 数字化仪(3D Digitizer)。传统的 CAD 技术致力于在计算机中设计和装配几何形体, 但那些习惯于创作雕塑的人却难以将他们丰富的创造结果逼真而快速地输入到计算机内, 因而限制了 CAD 造型在许多领域中的应用。然而, 3D 自动数字化仪的出现将以上两个截然不同的创作世界有机地结合在一起。这一设备能够自动地将 3D 物体的表面形状以及色彩信息输入计算机中。

3D 数字化仪的工作原理是: 投射一组垂直的光线到物体上, 镜子从两个视点拣取光照射后得到的轮廓; 然后, 用一个高精度的传感器进行扫描, 经由特殊的电路将视频图像数字化后转换成一个矩形区域的范围表(Range Map), 这是一个关于距离测量的数组。数字化仪以每投射一组光线得到一个轮廓的方法, 沿着物体的周围扫描一遍, 直到创建一个描述整个物体的范围