

普通高等院校“十一五”规划教材

计算机图形学 原理及应用

JISUANJI TUXINGXUE YUANLI JI YINGYONG

卢迪 李大辉 吴海涛 编著

1.41



国防工业出版社
National Defense Industry Press

院校“十一五”规划教材

计算机图形学原理及应用

卢迪 李大辉 吴海涛 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书内容适合各类大学本科生学习计算机图形学的基本理论和算法。全书共分为9章,主要内容有:计算机图形处理系统的功能、硬件设备、图形标准;基本图形的生成算法;几何变换与裁剪;曲线与曲面;真实感图形与交互式绘图技术。除此以外,还对计算机动画和一些常用CAD技术做了简单介绍,并给出了许多基于OpenGL的实用例子。本书是作者根据多年讲授计算机图形学课程的经验,在整理各自课程讲稿的基础之上,参考国内外相关书籍,通力合作编写而成的。

本书可作为电子类(通信、计算机、信息等专业)和机械类本科生的教材,也可供计算机图形学爱好者和相关专业技术人员自学参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算机图形学原理及应用 / 卢迪, 李大辉, 吴海涛编
著. —北京: 国防工业出版社, 2009. 7
普通高等院校“十一五”规划教材
ISBN 978 - 7 - 118 - 06390 - 5

I. 计... II. ①卢... ②李... ③吴... 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 090346 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 14 1/4 字数 338 千字
2009 年 7 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 25.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 68428422
发行传真: (010) 68411535

发行邮购: (010) 68414474
发行业务: (010) 68472764

前 言

计算机图形学经过 40 多年的发展,已经在工业、商业、军事、教育和娱乐等各个领域得到了广泛地应用,成为计算机科学中发展最快、影响最大的学科之一,并在应用中日益显示出其重要性和不可替代性。

计算机图形学主要研究如何在计算机中构造图形,并将生成数据通过相应算法转换成图形显示与输出。它涉及数学、物理、工程图学、计算机科学等多门学科。本书主要围绕图形的生成、表示和变换图形的原理、数学方法和算法进行介绍,出于对学生实际应用能力的培养目的并加深他们对图形生成算法的理解能力,在某些章节给出了基于 OpenGL 的图形生成算法程序,以帮助学生尽快掌握图形学的基本应用技巧。全书共分为 9 章:第 1 章简要介绍了计算机图形学的基本概念、发展和应用状况;第 2 章对计算机图形系统的构成作了介绍,主要包括计算机图形系统硬件设备和图形标准;第 3 章给出了基本图形——直线、圆、椭圆的常用生成算法,图形填充等基本图素的生成方法,并结合 OpenGL 给出了应用实例;第 4 章主要介绍了图形的二维、三维几何变换和二维图形的裁剪方法;第 5 章介绍曲线与曲面的生成;第 6 章对真实感图形绘制的一些基本思想作了简单描述;第 7 章介绍了交互式绘图系统,它是目前应用最普遍的、效率最高的一种绘图形式,本章对交互式绘图概念、基本模式、技术和交互式绘图系统作了介绍;第 8 章和第 9 章分别介绍了计算机动画和一些实用 CAD 系统。

本书在编写过程中,力求理论与实际、实例相结合,注意前后内容的衔接;文字表达清楚、深入浅出,方便学生自学,可作为电子类(通信、计算机、信息等专业)和机械类本科生教材使用,学时为 40~60。也可作为研究生的教材或参考书以及供相关人员参考使用。

本书第 1 章、第 2 章和第 3 章由哈尔滨理工大学卢迪编写;第 4 章、第 8 章和第 9 章分别由齐齐哈尔大学王军、李大辉和王丽编写;第 5 章由肇庆学院吴海涛编写;第 6 章由哈尔滨理工大学张开玉编写。第 7 章的编写工作由哈尔滨理工大学的王鹏完成。

由于作者水平有限,书中的不足、疏漏和错误在所难免,恳请读者和使用本书的同学们批评指正。

作者

2009 年 4 月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 计算机图形学的概念及研究内容	1
1.1.1 图形与图像	1
1.1.2 研究内容	2
1.1.3 相关学科	3
1.2 计算机图形学的发展	4
1.2.1 图形硬件的发展	4
1.2.2 图形软件及图形软件标准的发展	6
1.2.3 图形专用算法的发展	6
1.3 计算机图形学的应用	7
1.3.1 计算机辅助设计(CAD)及计算机辅助制造(CAM)	7
1.3.2 科学计算可视化	9
1.3.3 计算机动画	10
1.3.4 人机交互	10
1.3.5 计算机艺术	11
1.3.6 计算机辅助教学(CAI)	11
习题1	12
第2章 计算机图形系统	13
2.1 计算机图形系统构成和功能	13
2.1.1 计算机图形系统构成	13
2.1.2 计算机图形系统功能	15
2.2 输入设备	15
2.2.1 键盘(Keyboard)	15
2.2.2 鼠标(Mouse)	16
2.2.3 光笔(Light Pen)	16
2.2.4 触摸屏(Touch Screen)	17
2.2.5 数字化仪(Digitizer)	18
2.2.6 扫描仪(Scanner)	18
2.2.7 游戏杆(Joy Stick)和跟踪球(Trackball)	18
2.2.8 数据手套(Data Glove)	19
2.3 输出设备	19
2.3.1 显示设备	19
2.3.2 硬拷贝设备	24
2.4 光栅扫描显示系统	26

2.4.1	光栅扫描显示系统的组成	26
2.4.2	相关概念	27
2.4.3	PC 图形显示卡	30
2.5	计算机图形标准	31
习题2		34
第3章	基本图形的生成算法	35
3.1	直线的扫描转换	35
3.1.1	数值微分算法	35
3.1.2	中点画线算法	36
3.1.3	Bresenham 画线算法	38
3.2	圆的扫描转换	39
3.2.1	中点画圆算法	39
3.2.2	Bresenham 画圆算法	41
3.3	椭圆的扫描转换	42
3.4	实面积图形的生成	46
3.4.1	多边形的填充	46
3.4.2	种子填充算法	51
3.5	光栅图形反走样算法	52
3.5.1	过取样	52
3.5.2	简单区域取样	53
3.5.3	加权区域取样	53
3.6	属性处理	54
3.6.1	线属性	54
3.6.2	区域填充属性	56
3.7	字符处理	56
3.7.1	点阵式字符	56
3.7.2	矢量式字符	57
3.8	OpenGL 基本图元的绘制	58
3.8.1	点的绘制	59
3.8.2	线的绘制	62
3.8.3	多边形的绘制	65
习题3		67
第4章	几何变换	69
4.1	几何变换的数学基础	69
4.1.1	矩阵运算	69
4.1.2	矩阵运算的基本性质	70
4.1.3	二维坐标系统	71
4.2	二维图形几何变换	72
4.2.1	二维图形的基本变换	72
4.2.2	组合变换	74

4.3	三维图形的几何变换	74
4.3.1	三维图形的基本变换	74
4.3.2	组合变换	77
4.4	投影变换	79
4.4.1	基本概念	79
4.4.2	平行投影	80
4.4.3	透视投影变换	81
4.5	窗口—视区变换	83
4.5.1	基本概念	83
4.5.2	视窗变换实例 Window To Viewport 的设计	83
4.5.3	编写过程中的技术要点	84
4.6	二维图形的裁剪	85
4.6.1	点的裁剪	85
4.6.2	直线的裁剪	86
4.6.3	多边形的裁剪	91
4.6.4	曲线和文字的裁剪	94
4.7	OpenGL 图形变换基础	95
	习题 4	101
第 5 章	曲线与曲面	102
5.1	曲线、曲面参数表示的基础知识	102
5.1.1	矢量	102
5.1.2	曲线与曲面的参数表示	103
5.1.3	插值、逼近、拟合与光顺	104
5.1.4	曲线的参数连续性和几何连续性	107
5.2	Bezier 曲线	108
5.2.1	Bezier 曲线的定义	108
5.2.2	Bezier 曲线的性质	108
5.2.3	Bezier 曲线的矩阵表示	110
5.2.4	Bezier 曲线的拼接	111
5.3	B 样条曲线	112
5.3.1	B 样条曲线的定义	112
5.3.2	B 样条曲线的性质	113
5.3.3	B 样条曲线分类	115
5.4	非均匀有理 B 样条曲线	115
5.4.1	NURBS 曲线的定义	115
5.4.2	NURBS 的齐次坐标表示	116
5.4.3	NURBS 的优缺点	116
5.5	Bezier 曲面	117
5.5.1	Bezier 曲面的定义	117
5.5.2	Bezier 曲面片的拼接	118

5.6 B 样条曲面	119
5.6.1 B 样条曲面的数学表示	119
5.6.2 B 样条曲面片的拼接	120
5.7 非均匀有理 B 样条曲面	120
5.8 OpenGL 中自由曲线的绘制	120
5.8.1 Bezier 曲线的绘制	120
5.8.2 NURBS 曲线的绘制	124
习题 5	129
第 6 章 真实感图形	131
6.1 消除隐藏线	131
6.1.1 消隐的基础知识	131
6.1.2 凸多面体的隐藏线消除	131
6.1.3 凹多面体的隐藏线消除	132
6.1.4 二次曲面体的隐藏线消除	133
6.2 消除隐藏面	134
6.2.1 区域排序算法	134
6.2.2 Z 缓冲区算法	135
6.2.3 扫描线算法	136
6.2.4 区域采样算法	137
6.3 纹理	139
6.3.1 纹理的定义和映射	139
6.3.2 纹理的反走样处理	140
6.4 光照模型	142
6.4.1 光源特性和物体表面特性	142
6.4.2 光照模型与处理	143
6.4.3 明暗模型与处理	144
6.4.4 阴影生成	145
6.4.5 整体光照模型	147
6.5 光线跟踪	148
6.5.1 光线跟踪的基本原理	148
6.5.2 光线与实体的求交	149
6.6 颜色模型	151
6.6.1 基本概念	151
6.6.2 CIE 色度图	152
6.6.3 常用的颜色模型	154
6.6.4 颜色的选择插值与复制	155
习题 6	156
第 7 章 交互式绘图技术	157
7.1 交互式绘图概述	157
7.1.1 交互式绘图的概念	157

7.1.2	交互式绘图系统的任务	157
7.1.3	交互式绘图系统的设计原则	158
7.2	交互式输入的基本模式	159
7.3	基本交互式绘图技术	160
7.4	交互式绘图系统的构造	163
7.4.1	交互式用户接口的内容	164
7.4.2	交互式用户接口的工作方式	164
7.4.3	交互式用户接口实现	166
7.5	OpenGL 中的交互操作	168
7.5.1	物体的选择	168
7.5.2	反馈	169
习题 7		175
第 8 章	计算机动画	176
8.1	计算机动画起源与发展	176
8.2	计算机动画的过程与分类	179
8.3	计算机动画功能及应用	181
8.4	计算机动画控制方法	182
8.5	关键帧系统	183
8.5.1	变形	184
8.5.2	模拟加速度	186
8.6	运动的描述	188
8.6.1	直接运动描述	188
8.6.2	目标导向系统	189
8.6.3	运动学和动力学	189
习题 8		189
第 9 章	实用 CAD 系统介绍	191
9.1	AutoCAD 系统介绍	191
9.1.1	AutoCAD 概述	192
9.1.2	AutoCAD 系统简介	193
9.1.3	系统功能与技术特点	209
9.1.4	系统的体系结构	211
9.2	3DMAX 系统介绍	211
9.2.1	3DMAX 概述	212
9.2.2	3DMAX 系统简介	212
9.2.3	3DMAX 系统功能	224
9.2.4	3DMAX 体系结构	225
习题 9		227
参考文献		228

第1章 绪 论

据统计,人类对外部世界的感知 80% 来自于视觉,俗话说:“百闻不如一见”,就是一个非常形象的说法。在生产活动中,“图样”是交流技术思想、表达设计意图和指导生产的重要工具。千百年来,人们使用三角板、圆规、丁字尺等各种工具手工绘制各种图形。为了绘制图样和提高绘图效率,人们不断改进工具和绘图方法,但是仍难改变手工绘图速度慢、精度低且繁琐、劳动量大等问题,所以人们一直希望用自动绘图代替手工绘图,计算机绘图的出现使这个愿望变成了现实。随着计算机绘图软硬件技术的不断发展,人们对相关理论和算法的深入研究,逐渐形成了一门新兴的学科——计算机图形学(Computer Graphics, CG),它是一门涉及物理学、数学、工程图学、数据结构、计算机技术等多门学科的交叉学科。通过几十年的发展,计算机图形学已经在工业、商业、军事、教育和娱乐等各个领域得到了广泛应用,成为计算机科学中发展最快、影响最大的学科之一,并在应用中日益显示出其重要性和不可替代性。

1.1 计算机图形学的概念及研究内容

1.1.1 图形与图像

能够在人的视觉中形成视觉印象的客观对象都可以称为图形,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,也包括来自于各种媒体的图景、图片、图案和形体实体等。在计算机中,表示带有颜色和形状信息的图和形一般有两种方法:点阵法 and 参数法。点阵法用具有灰度或颜色信息的点阵来表示图形,强调图形由哪些点组成,并具有什么灰度和色彩。参数法是以计算机中记录图形的形状参数和属性参数来表示图形的一种方法。形状参数可以是形状的方程参数、线段的起点和终点等几何属性的描述;属性参数则描述灰度、色彩、线形等非几何属性。因此,可以将参数法描述的图形称做图形(Graphic),一般指直线、圆、圆弧、任意曲线和图表等计算机绘制的画面;而把点阵法描述的图形叫做图像(Image),一般以 BMP、PCX、TIF、GIFD 等格式存储在计算机中。

在计算机中,图形文件只记录生成图的算法和图上的某些特征点,也称做矢量图。在计算机还原时,相邻的特征点之间用很多小直线段连接而形成曲线,若曲线是一条封闭的图形,可靠着色算法进行颜色填充。这种方法最大的优点是容易进行移动、压缩、旋转和扭曲等变换,主要用于表示线框形的图画、工程制图、美术字等。常用的矢量图形文件有 3DS(用于 3D 造型)、DXF(用于 CAD)、WNF(用于桌面出版)等。相对于图像的大量存储数据,图形只保存算法和特征点,因此占用的存储空间较小。但是由于每次屏幕显示时都需要重新计算,因此显示速度没有图像快。在打印输出和放大时,图形的质量较高而图像通常会发生失真。

1.1.2 研究内容

简单地说,计算机图形学的主要研究内容是研究如何在计算机中表示图形、以及利用计算机进行图形的计算、处理和显示的相关原理和算法。构成图形的要素可以分为两类,一类是刻画形状的点、线、面、体等几何要素;另一类是反映物体表面属性或材质的明暗、灰度、色彩等非几何要素。这些要素构成了零维、一维、二维、三维与四维的几何图形。就计算机图形系统的组成而言,在实际工作中,一般分为二维图形系统和三维图形系统,因此图形学的研究内容也可以分为二维图形学和三维图形学。

二维图形学的研究对象是平面上的点、线、面(有界平面),以及它们随时间变化的情况。通常,二维图形系统只能完成用户要求绘制的任意复杂的平面图形。这些复杂平面图形既可以是静止图形(即图形显示或绘制后不用擦除,如在打印机、绘图仪中生成的图形)、动态图形(在显示器上显示的图形,可根据需要擦除或重新显示等),也可以是实时图形(在给定的时间范围内,完成相应图形的动态显示,如工业过程的实时监控系统等)。若要求显示这些复杂图形随时间变化情况,即制作动画,则要依靠人们事先画出一个个中间复杂图形,再连续播放这组图形,从而在人的视觉中形成动画效果。

三维图形学主要研究对象为点、线、面、体。其中线是空间中的任意曲线,面是空间中的任意曲面(有界曲面或有界表面)。体是三维空间中有限的封闭空间。一般来说,体的边界是面,面的边界是线,线的边界是点。

如果三维图形中仅研究点、线、面以及由这些点、线、面所构成的任意复杂曲面,则这种图形又称为二维半图形(在数控加工中,如果铣刀走平面曲线,即 $X-Y$ 坐标联动,则称铣刀的这种运动称为 $2\frac{1}{2}$ 坐标加工。而把平面图形经过平移扫描定义的三维图形称为二维半图形)。二维半图形系统的主要用途在于显示具有高度真实感的三维图形,例如三维空间中点、线、面,在光照效果条件下,可以构成各种立体感效果的画面,若这些点、线、面在空间中连续变化则可以构成三维动画片,与人工在平面上绘制的动画片相比较,三维动画具有较强的立体感。

若三维图形研究对象为体(真三维图形),则应满足用户提出的其物体形状任意复杂这一要求。体的概念不仅仅用于像机械零件等计算机辅助设计与制造领域,还可用于需要设计物体形状以及对其进行必要分析的应用领域,例如在分析空中复杂目标高频等效雷达截面问题时,需要逼真的飞机形状模型,以便于分析飞机对雷达发射电磁场的反射效果等。

在二维图形学和三维图形学中,主要研究问题可以分为如下几个方面:

(1) 复杂物体图形描述的方法和数学工具。强有力的复杂物体图形描述工具,为建立复杂物体的数学模型提供了保证。经典方法有 Bezier 曲线(面)、B 样条曲线(面)、非均匀 B 样条曲线(面)等曲线(面)描述方法。而分形描述、粒子描述等新方法则在表象火焰、云彩、山脉、树林、沙漠、海岸线等模糊、不明确或具有某种相似性与随机性边界的物体或物质中具有良好效果。

(2) 物体图形描述数据的输入。当成功建立了物体的数学模型之后,要将描述数据存入计算机,通常包括图形数据编程输入方法、人机交互输入技术及自动技术。其中,人机交互技术是研究热点,包括各种新型图形输入设备和三维图形输入方法、技术的研究,

各种交互技术如构造技术、命令技术、选择与拾取技术、响应技术、反馈方式以及图形描述、分析语言和多通道用户界面等问题的研究。

(3) 输入数据的存储。计算机图形系统要解决的一个重要问题是如何在计算机图形系统内部对输入数据进行有效地组织、存储和管理,以使用户对图形进行各种编辑与检索操作。图形数据库的管理、图形数据通信与图形数据交换标准等问题可以解决不同用户在不同的计算机系统之间相互交流信息,实现图形资源共享等要求。

(4) 物体图形数据的运算处理。构造复杂物体常用的运算方法有:不断追加新的简单物体,对已有物体进行几何变换(平移、旋转、放大、缩小等),对物体实施全剖切、集合运算(物体交、并、差后形成的新物体)与欧拉运算,以及其他一些辅助构造方法。

(5) 物体图形数据的输出显示。二维图形中的直线段、圆弧、椭圆弧、自由曲线、矢量字符的生成与实面积图形的填充,三维图形中物体的各种投影、开窗裁剪技术、平面曲面的显示,隐藏线、隐藏面的消除,物体的光照模型、着色处理、纹理、阴影、光线跟踪算法、辐射度方法、灰度与色彩等各种真实感图形的显示方法与技术。

(6) 图形标准与图形软件包。为了满足图形应用软件开发的需要,使图形应用软件不依赖硬件设备,允许图形应用软件在不同系统之间方便移植,则需要研究、制定一系列的国际图形标准,以解决图形程序或者 CAD 程序的可移植性和数据的共享。

(7) 图形系统与支持部件。借助 VLSI 和 ULSI 技术,研究能快速处理图形的硬件及其支持辅助部件,如图形显示控制器(GDC),位片器(Bitslicer),矩阵运算器,数字信号处理器(DSP),动画处理器,视频处理器,以及能进行矢量处理、实时处理的硬件处理器和处理部件。对图形系统而言,图形加速板、图形缓冲板、浮点加速板、高分辨率图形转换板等图形支持部件的研制,可以使图形系统更加完善,功能更加强大。

总之,计算机图形学的研究内容十分丰富。目前,计算机图形学的发展趋势主要体现在下述研究领域:对各种图形更有效的描述方法,图形数据输入的自动化技术与交互输入的效率,非均匀有理 B 样条理论,自由物体的几何构造、特征造型与可靠性,图形的标准化与图形数据交换标准,光照条件下高度真实感物体与场景的显示技术与效率,图形系统的硬件结构,动画技术,虚拟现实技术,科学计算的可视化等。

1.1.3 相关学科

随着对图形概念认识的深入,图形图像处理技术也逐步出现分支。目前,与图形图像相关的学科有计算机图形学、数字图像处理(Digital Image Processing)、模式识别(Pattern Recognition)和计算几何等,它们之间的相互关系如图 1-1 所示。

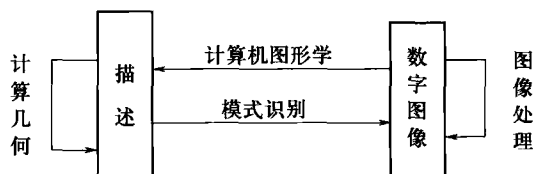


图 1-1 计算机图形学及相关学科

计算机图形学研究的是模型及数据的建立和由模型生成图的过程及方法。数字图像处理研究客观世界中的各种数字化图像,旨在对图像进行各种加工以改善图像的视觉效

果或是从图像中提取有用的信息。例如,对图像进行增强、复原、分割、重建以及存储、压缩和编码等。模式识别是指对表征事物或现象的各种形式(数值的、文字的和逻辑关系的)信息进行处理和分析,以对事物或现象进行描述、辨认、分类和解释的过程,其典型应用有文字识别、工程图纸识别、指纹识别、遥感图像识别等。计算几何是在数据及模型域中研究几何形体的计算机表示和分析的综合技术,典型应用是曲线及曲面构造,三维立体造型等。近年来,随着多媒体技术、图像数据传输、三维数据场可视化以及虚拟现实等技术的迅猛发展,上述学科的界限变得模糊起来,它们相互交叉、相互渗透,相互促进发展。

1.2 计算机图形学的发展

计算机图形学起始于 20 世纪 50 年代,经过 50 多年的发展,已经成为一门以硬件设备、图形专用算法和图形软件系统为研究内容的综合性学科。

1.2.1 图形硬件的发展

1950 年,美国麻省理工学院(MIT)旋风 1 号(Whirlwind)计算机配备了类似于示波器的阴极射线管,并由计算机驱动显示了一些简单图形。1958 年,美国 Calcomp 公司将联机的数字记录仪发展成滚筒式绘图仪,GerBer 公司将数控机床发展成平板式绘图仪。在这个时期,电子管式计算机主要用于科学计算,因此为其配备的图形设备只具有输出功能,计算机图形学处于准备和酝酿期,称为“被动”式图形学。到 20 世纪 50 年代末期,MIT 的林肯实验室在“旋风”计算机上开发 SAGE 空中防御体系,第一次使用了具有指挥和控制功能的 CRT 显示器,操作者可以用一种人机交互工具——光笔在屏幕上指出被确定的目标。与此同时,类似的技术在设计 and 生产过程中也陆续得到了应用,它预示着交互式计算机图形学的诞生。

1962 年美国 MIT 林肯实验室的 Ivan E. Sutherland 在其博士论文《Sketchpad: 一个人机通信的图形系统》中将光笔交互图形技术应用到工程绘图中,同时这篇论文还首次使用了计算机图形学“Computer Graphics”这个术语,将图形分解为子图和图元的层次数据结构,证明了交互式计算机图形学是一个可行的、有用的研究领域。20 世纪 60 年代中期 IBM、通用汽车公司、贝尔电话实验室和洛克希德公司等美国工业界也开始研究交互式图形显示器的工作。1964 年,IBM 推出的 IBM2250 显示器是第一代正式提供给工业界使用的刷新式随机扫描图形终端。它使用光笔作为交互输入手段,配有 32 个功能键,以便执行画直线、圆弧、虚线、标注尺寸、提取子图等宏命令。IBM 与美国通用公司合作开发了 DAC-1 计算机辅助设计系统。洛克希德飞机公司和麦克唐纳公司也分别利用 IBM2250 各自独立开发了二维绘图系统,前者称为 CADAM,后者称为 CADD。从 60 年代末起,逐渐在这些系统中增加曲线和曲面功能、数控加工编程功能等,形成了最早的计算机辅助设计、制造(简称 CAD/CAM)系统。从 1974 年起 CADAM 正式作为商品向外界转让,成为 70 年代至 80 年代中期 IBM 主机上应用最广的第一代 CAD/CAM 软件产品。我国西安交通大学于 1975 年研制了 751 型光笔图形显示器,1978 年为 751 配置了基本软件。西北工业大学、上海飞机厂、贵州云马飞机厂、上海交通大学等在 751 系统上开展了我国最早的飞机框架装配夹具设计,曲面外形设计和加工,组合机床设计等应用尝试。刷新式随机扫

描显示器具有较高的分辨率和对比度,具有良好的动态性能。但为了避免图形闪烁,通常需要以 30 次/秒左右的频率不断刷新屏幕上的图形,为此需要一个刷新缓冲存储器来存放计算机产生的显示图形数据和指令,还需要一个高速的处理器,这在当时是很昂贵的设备,因而成为影响交互式图形生成技术进一步普及的原因。IBM 2250 在 1978 年前后改型为 IBM 3250,但是其基本工作原理没有明显改变。1984 年又改型为 IBM 5080,采用光栅扫描技术,带彩色图像,可以进行局部处理,并可通过旋钮直接放大、平移、旋转画面。将光笔改为电笔,与输入板配合使用,并操纵屏幕上的光标。

20 世纪 60 年代末至 70 年代初,美国 Tektronix 公司发展了存储管技术。显示器型号分别有 4006、4010、4012 等。该公司的 4014 曾经是当时 CAD 和工业分析中应用最广的图形终端。其屏面尺寸是 19 英寸,画面线条清晰,分辨率可以达到 4096×3072 ,且价格不到刷新式显示器的一半,每次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,但是具有不能局部动态修改显示画面的缺点。

到了 20 世纪 70 年代中期,出现了廉价的固体电路随机存储器,可以提供比十年前大得多的刷新缓冲存储器,因而就可以采用基于电视技术的光栅扫描型显示器。在这种显示器中,被显示的线段、字符、图形及其背景颜色都按像素一一存储在刷新缓冲存储器中,按光栅扫描方式,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。这时的显示器屏幕像素的分辨率不高,大多是 512×512 ,但是色彩十分丰富,可以高达 24 个二进制位,即红、绿、蓝三原色各占 8bit,各有 2^8 种层次,最终组合成 2^{24} 种色彩或灰度级。当分辨率低时,该类显示器线条的显示效果不太好,有明显的锯齿形,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了大量存储空间。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,迅速得到广大用户的欢迎。在这些产品中,主机和图形显示器融为一体,均使用光栅扫描型显示方法,能同时生成高质量的线型图和逼真的彩色明暗图。随着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,已经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正在逐步取代分时式的大型主机连接十几个图形终端的结构。

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且又提出了“头戴式三维显示器”,在头盔的封闭环境下利用计算机成像的左右视图匹配,生成了立体视景。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,该操作使启动执行,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,使得屏幕上显示的线框图可以用实时旋转、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。

在图形输出设备不断发展的同时,图形输入设备也在不断变革。早期使用的定位、拾取装置——光笔,笨拙易损坏,逐渐被各类鼠标器和图形输入板代替。同时还出现了操纵杆、跟踪球、数据手套等定位、拾取装置。此外,键盘也是交互式图形生成系统的重要组成部分。坐标数字化仪、扫描仪、各类触摸屏等设备也广泛应用于图形的交互式输入,从而提高了图形输入的速度和直观性。

1.2.2 图形软件及图形软件标准的发展

随着计算机图形学算法的发展,图形硬件设备的进步,图形学应用领域的不断扩展,计算机图形相关软件的开发和应用也在迅猛发展。在图形学发展初期,各硬件厂商根据自己生产的硬件设备,开发了专用于自己硬件设备的图形软件包和相应的高级语言接口,导致图形软件包和建立在其上的应用程序互不兼容,无法移植,这样既限制了图形技术的发展也阻碍了图形硬件设备的推广。因此,人们希望建立一个统一的图形软件标准,以便应用软件可以在不同的计算机系统和外围设备之间移植。1974年,美国计算机协会图形学专业委员会(ACM SIGGRAPH)在一个题为“与机器无关的图形技术”的工作会议上,提出有关图形标准制定和审批工作。1977年该委员会提出了“核心图形系统”CGS(Core Graphics System)规范,1979年又公布了修订后的第二版。随后,国际标准化组织(ISO)和美国国家标准局(ANSI)批准了第一个图形软件标准“图形核心系统”GKS(Graphics Kernel System),这是一个二维图形软件包。1988年GKS-3D被批准为三维图形软件标准。ISO又相继发布了计算机图形接口CGI(Computer Graphics Interface)、计算机图形元文件标准CGM(Computer Graphics Metafile)、面向程序员层次交互图形系统PHIGS(Programmer's Hierarchical Interactive Graphics System)、基本图形转换规范IGES、产品数据转换规范STEP等标准,为计算机图形学的推广,资源信息共享,发挥了重要作用。此外,一些非官方的图形标准,因其在工业界的广泛使用,也成为事实上的标准,如目前比较流行的SGI公司开发的OpenGL,微软开发的Direct X,Adobe的Postscript等。

1.2.3 图形专用算法的发展

各种图形专用算法是编制高质量图形软件的基础。20世纪60年代,MIT的Coons教授提出了超限插值的新思想,通过四条任意的边界曲线来构造曲面解决了产品设计中曲线、曲面构造问题。同期,法国雷诺汽车公司的工程师Pierre Bezier研究了被后人称为Bezier曲线、曲面的理论,并根据这个理论开发了用于汽车外形设计的UNISURF系统。到了70年代,由于光栅显示器的出现,光栅图形算法迅速发展起来,区域填充、裁剪、消隐等基本概念和相应算法纷纷产生。真实感图形学和实体造型技术也在这个时期出现。1970年,Bouknight提出了第一个光反射模型,1971年Gourand提出了被称为Gourand明暗处理的“漫反射模型+插值”思想。1975年,Phong提出了著名的简单光照模型。这些算法共同缔造了真实感图形学。1980年Whitted提出了一个光透视模型,并第一次给出了光线跟踪算法范例。1984年美国Cornell大学和日本广岛大学的学者分别将热辐射工程中的辐射度方法引入到计算机图形学中,用辐射度方法成功模拟了理想漫反射表面间的多重反射效果。光线跟踪算法和辐射度算法标志着真实感图形的显示算法已逐渐成熟。80年代以后,随着超大规模集成电路的发展,计算机运行能力的提高,图形处理速度

的加快,使图形学的各个研究方向都得到了充分发展,各种图形算法也都得到了长足进步,因此图形学已广泛地应用于动画、科学计算可视化、CAD/CAM,虚拟现实、计算机辅助教学等各个领域。

1.3 计算机图形学的应用

1.3.1 计算机辅助设计(CAD)及计算机辅助制造(CAM)

在设计过程中,利用计算机作为工具,帮助工程师进行设计的一切实用技术的总和称为计算机辅助设计(CAD, Computer Aided Design)。它是综合了计算机科学工程设计方法的最新发展而形成的一门新兴学科,是计算机技术的一个重要的应用领域。CAD的概念是由麻省理工学院(MIT)于1963年在美国计算机联合会的年会上首先提出,此项技术一经问世便引起了工程技术界的极大关注,在短短几十年的发展过程中,经历了几代的变更,到今天已经发展成为包括计算机专业理论、计算方法、计算机软件及图形学等多方面的综合性技术。

CAD有时也写作“computer-assisted”,“computer-aided drafting”,或类似的表达方式。相关的缩略语有CADD,表示计算机辅助设计和草图“computer-aided design and drafting”,以及CAAD,表示计算机辅助建筑设计“computer-aided architectural design”。所有这些术语基本上都指使用计算机而不是传统的绘图板来进行各种项目的设计和工程制图。

计算机辅助设计作为一门学科始于20世纪60年代初,一直到70年代,由于受到计算机技术的限制,CAD技术的发展很缓慢,主要应用是在汽车制造、航空航天以及电子工业的大公司中。进入80年代以来,计算机变得更便宜,计算机技术突飞猛进,特别是微机和工作站的发展和普及,再加上功能强大的外围设备,如大型图形显示器、绘图仪、激光打印机的问世,极大地推动了CAD技术的发展,应用范围也逐渐变广。CAD技术已进入实用化阶段,广泛服务于机械、电子、宇航、建筑、纺织等产品的总体设计、造型设计、结构设计、工艺过程设计等环节。现今,CAD已经不仅仅用于绘图和显示,它开始进入设计者的专业知识中更“智能”的部分,即所谓的ICAD(Intelligent CAD)。另外,设计和制造一体化技术即CAD/CAM技术以及CAD作为一个主要单元技术的CIMS技术都是CAD技术发展的重要方向。

计算机辅助设计包括的内容很多,如:概念设计、优化设计、有限元分析、计算机仿真、计算机辅助绘图、计算机辅助设计过程管理等。在工程设计中,一般包括两种内容:带有创造性的设计(方案的构思、工作原理的拟定等)和非创造性的工作,如绘图、设计计算等。创造性的设计需要发挥人的创造性思维能力,创造出以前不存在的设计方案,这项工作一般应由人来完成。非创造性的工作是一些繁琐重复性的计算分析和信息检索,完全可以借助计算机来完成。一个好的计算机辅助设计系统既能充分发挥人的创造性作用,又能充分利用计算机的高速分析计算能力,即要找到人和计算机的最佳结合点。

CAD/CAM是计算机图形学最广泛、最重要的应用领域。机械结构和产品设计(如图

1-2所示)、土建工程(如图1-3所示),电子线路(如图1-4所示)、电子器件设计等都大量应用了计算机图形学。目前流行的大多数CAD软件的主要功能只支持产品的后续阶段——工程图的绘制和输出,产品设计功能相对薄弱。随着计算机图形学不断的发展,新一代的CAD系统将可以实现从概念设计到结构设计的全过程。例如德国西门子公司开发的Sigraph Design软件具有如下功能:①可以用计算机设计草图,不必费时费力的输入精确坐

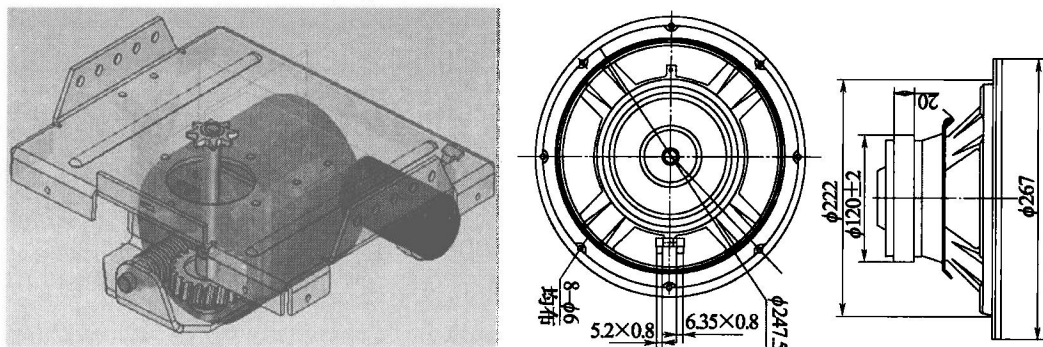


图1-2 CAD技术在机械结构和产品设计中的应用

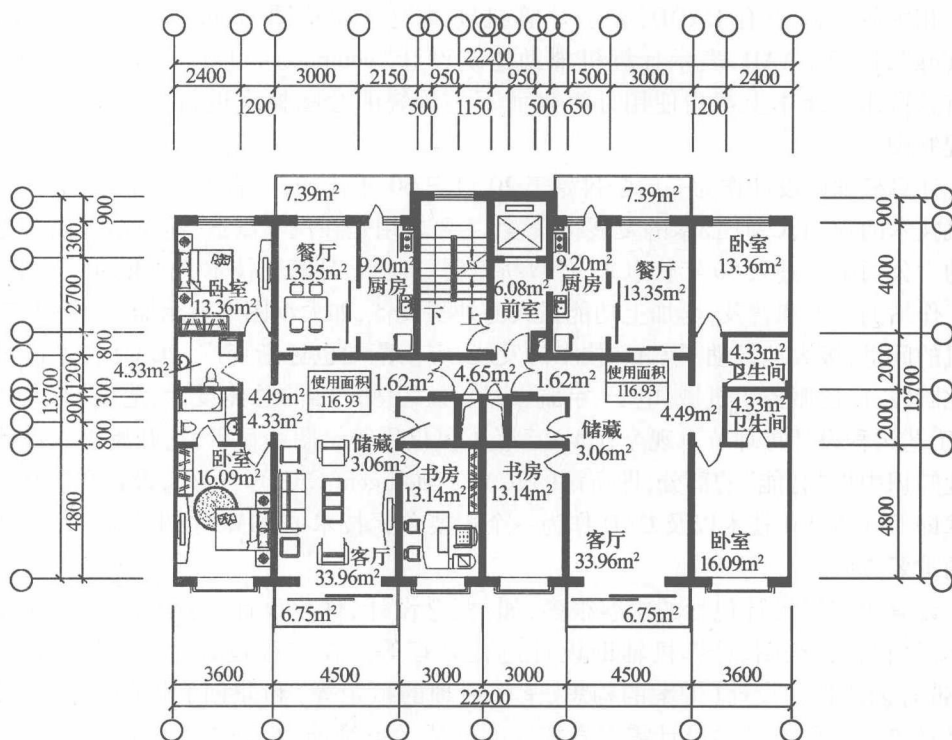


图1-3 CAD技术在建筑设计上的应用

标点;随意修改;一旦结构确定,给出正确尺寸即可得到满意的图纸。②具有关系数据库。改变图纸的局部,相关部分自动变化;在一个视图上的修改,其他视图自动修改。③不用编程,只需画一遍图就可以建立自己的图库。④可实现产品设计的动态模拟,以观察设计装置