

计算机图形学

吴庆标 韩丹夫 编著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

计算机图形学

吴庆标 韩丹夫 编著

浙江大學出版社

图书在版编目(CIP)数据

计算机图形学/吴庆标,韩丹夫编著. —杭州:浙江大学出版社,2006.6

ISBN 7-308-04753-9

I. 计... II. ①吴... ②韩... 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(2006)第 051616 号

责任编辑 石国华
封面设计 刘依群
出版发行 浙江大学出版社
(杭州浙大路 38 号 邮政编码 310027)
(E-mail: zupress@mail.hz.zj.cn)
(网址: <http://www.zjupress.com>)
排 版 星云光电图文制作工作室
印 刷 德清第二印刷厂
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 13.25
字 数 340 千
版 印 次 2006 年 6 月第 1 版 2006 年 6 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 7-308-04753-9/TP·297
定 价 25.00 元

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 计算机图形学的研究内容	1
1.2 计算机图形学的发展简史	2
1.3 计算机图形学应用	3
习题	7
第 2 章 计算机图形系统	8
2.1 计算机图形系统的组成	8
2.2 图形设备	9
2.3 图形软件	17
习题	17
第 3 章 直线和圆弧的生成算法	18
3.1 直线图形的生成算法	18
3.2 圆弧图形的生成算法	24
习题	30
第 4 章 区域填充算法和字符	31
4.1 基础知识	31
4.2 多边形填充的扫描线算法	32
4.3 边界标志算法	34
4.4 种子填充算法	35
4.5 反走样	38
4.6 字 符	40
习题	43
第 5 章 裁剪算法	44
5.1 直线段裁剪	44
5.2 多边形裁剪	50
5.3 字符裁剪	54
习题	54
第 6 章 曲线和曲面生成技术	55
6.1 参数曲线和曲面	55
6.2 三次样条曲线和三次参数样条曲线	63
6.3 Bézier 曲线与曲面	68
6.4 B 样条曲线与曲面	81
6.5 NURBS 曲线与曲面	87
6.6 Coons 曲面	93

习题	96
第 7 章 图形变换	98
7.1 数学基础	98
7.2 图形几何变换	101
7.3 图形的投影变换	107
习题	110
第 8 章 真实感图形	111
8.1 颜色和视觉	111
8.2 简单光照明模型	116
8.3 局部光照明模型	124
8.4 光透射模型	127
8.5 纹理及纹理映射	131
8.6 整体光照明模型	134
8.7 实时真实感图形学技术	148
习题	153
第 9 章 几何造型技术	154
9.1 形体在计算机内的表示	154
9.2 求交分类	166
9.3 实体造型系统简介	171
习题	176
第 10 章 C 语言图形编程	177
10.1 图形模式的初始化	177
10.2 图形运行程序的建立	179
10.3 图形函数	182
10.4 Windows 的图形设备接口及 Windows 绘图	194
习题	204
参考文献	205

绪 论

计算机图形学是近 50 年来发展迅速、应用广泛的新兴学科,是计算机科学、信息与计算科学中最活跃的分支之一。如何在计算机中表示图形、利用计算机进行图形的计算以及处理和显示的相关原理与算法,构成了其主要研究内容。

计算机图形学的研究始于 20 世纪 50 年代,当时只是为了在绘图仪和阴极射线管(CRT)屏幕上输出图形,60 年代是计算机图形学得到确立并蓬勃发展的时期,70 年代则是这方面技术进入实用化的阶段。不过,直到 80 年代初,和别的学科相比,计算机图形学还是一个很小的学科领域,主要原因是计算机图形设备昂贵、功能简单、基于图形的应用软件缺乏,随着光栅图形显示器的出现,计算机图形系统才得到了很大的发展和广泛的应用。进入 90 年代,计算机图形学的功能除了随着计算机图形设备的发展而提高外,其软件技术、系统更加成熟,并朝着标准化、集成化和智能化的方向发展。事实上,图形学的应用从某种意义上标志着计算机软硬件的发展水平。计算机图形学之所以能在它短短的 30 多年历史中获得飞速发展,其根本原因是图形为传递信息的最主要媒体之一。人们要利用计算机进行工作,必须有计算机之间传递信息的手段——人机界面。人机界面从早期的读卡机及控制板上的开关、指示灯发展到键盘和字符中断,再发展到基于键盘、鼠标、光笔等输入设备和光栅显示器的图形用户界面,而最终必然过渡到能带给用户身临其境感觉的三维用户界面——虚拟环境(虚拟现实)。人机界面的发展过程正好对应着计算机技术从初级到高级的发展过程。计算机图形学来源于生活、科学、工程技术、艺术、音乐、舞蹈、电影制作等,反过来,它又大大促进了这些领域的发展。

1.1 计算机图形学的研究内容

如何在计算机中表示图形,以及如何利用计算机进行图形的生成、处理和显示的相关原理与算法,构成了计算机图形学的主要研究内容。图形通常由点、线、面、体等几何元素和灰度、色彩、线型、线宽等非几何属性组成。从处理技术上来看,图形主要分为两类:一类是由线条组成的图形,如工程图、等高线地图、曲面的线框图等;另一类是类似于照片的明暗图(Shading),也就是通常所说的真实感图形。

可以说,计算机图形学的一个重要研究内容就是要利用计算机产生令人赏心悦目的真实感图形。为此,必须建立图形所描述的场景的几何表示,再用某种光照模型,计算在假想的光源、纹理、材质属性下的光照明效果。所以计算机图形学与另一门学科——计算机辅助几何设计有着密切的关系。事实上,图形学也可以把表示几何场景的曲线、曲面造型技术和实体造型技术作为其重要的研究内容。同时,真实感图形计算的结果是以数字图像的方式提供的,计算

机图形学也就和图像处理有着密切的关系。图形与图像两个概念间的区别越来越模糊,但我们认为还是有区别的:图像纯指计算机内以位图(Bitmap)形式存在的灰度信息,而图形含有几何属性,或者说更强调场景的几何表示,是由场景的几何模型和景物的物理属性共同组成的。

计算机图形学的研究内容非常广泛,如图形硬件、图形标准、图形交互技术、光栅图形生成算法、曲线曲面造型、实体造型、真实感图形计算与显示算法,以及科学计算可视化、计算机动画、自然景物仿真、虚拟现实等。作为一本面向计算机专业本科生和非计算机专业研究生的图形学教材,本书着重讨论与光栅图形生成、曲线曲面造型和真实感图形生成相关的原理与算法。

1.2 计算机图形学的发展简史

1950年,第一台图形显示器作为美国麻省理工学院(MIT)旋风I号(Whirlwind I)计算机的附件诞生了。该显示器用一个类似于示波器的阴极射线管(CRT)来显示一些简单的图形。1958年美国Calcomp公司把联机的数字记录仪发展成滚筒式绘图仪,GerBer公司把数控机床发展成为平板式绘图仪。在整个20世纪50年代,只有电子管计算机,用机器语言编程,主要应用于科学计算,为这些计算机配置的图形设备仅具有输出功能。计算机图形学处于准备和酝酿时期,并称之为“被动式”图形学。到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,类似的技术在设计和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,MIT林肯实验室的Ivan E. Sutherland发表了一篇题为“Sketchpad:一个人机交互通信的图形系统”的博士论文,他在论文中首次使用了计算机图形学“Computer Graphics”这个术语,证明了交互计算机图形学是一个可行的、有用的研究领域,从而确定了计算机图形学作为一个崭新的科学分支的独立地位。他在论文中所提出的一些基本概念和技术,如交互技术、分层存储符号的数据结构等至今还在广为应用。1964年MIT的教授Steven A. Coons提出了被后人称为超限插值的新思想,通过插值四条任意的边界曲线来构造曲面。同在60年代早期,法国雷诺汽车公司的工程师Pierre Bézier发展了一套被后人称为Bézier曲线、曲面的理论,成功地用于几何外形设计,并开发了用于汽车外形设计的UNISURF系统。Coons方法和Bézier方法是CAGD最早的开创性工作。值得一提的是,计算机图形学的最高奖是以Coons的名字命名的,而获得第一届(1983)和第二届(1985)Steven A. Coons奖的,恰好是Ivan E. Sutherland和Pierre Bézier,这也算是计算机图形学发展史上的一段佳话。

70年代是计算机图形学发展过程中一个重要的历史时期。由于光栅显示器的产生,在60年代就已萌芽的光栅图形学算法,迅速发展起来,区域填充、裁剪、消隐等基本图形概念及其相应算法纷纷诞生,图形学进入了第一个兴盛的时期,并开始出现实用的CAD图形系统。又因为通用、与设备无关的图形软件的发展,图形软件功能的标准化问题被提了出来。1974年,美国国家标准化局(ANSI)在ACM SIGGRAPH的一个“与机器无关的图形技术”的工作会议上,提出了制定有关标准的基本规则。此后ACM专门成立了一个图形标准化委员会,开始制定有关标准。该委员会于1977年、1979年先后制定和修改了“核心图形系统”(Core Graphics System)。ISO随后又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)、计算机图形核心系统GKS(Graphics Ker-

nel system)、面向程序员的层次交互图形标准 PHIGS(Programmer's Hierarchical Interactive Graphics Standard)等。这些标准的制定,为计算机图形学的推广、应用、资源信息共享,起到了重要作用。

70 年代,计算机图形学另外两个重要进展是真实感图形学和实体造型技术的产生。1970 年 Bouknight 提出了第一个光反射模型,1971 年 Gourand 提出“漫反射模型+插值”的思想,被称为 Gourand 明暗处理。1975 年 Phong 提出了著名的简单光照模型——Phong 模型。这些可以算是真实感图形学最早的开创性工作。另外,从 1973 年开始,相继出现了英国剑桥大学 CAD 小组的 Build 系统、美国罗彻斯特大学的 PADL-1 系统等实体造型系统。

1980 年 Whitted 提出了一个光透视模型——Whitted 模型,并第一次给出光线跟踪算法的范例,实现 Whitted 模型;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,用辐射度方法成功地模拟了理想漫反射表面间的多重漫反射效果。光线跟踪算法和辐射度算法的提出,标志着真实感图形的显示算法已逐渐成熟。从 80 年代中期以来,超大规模集成电路的发展,为图形学的飞速发展奠定了物质基础。计算机的运算能力的提高,图形处理速度的加快,使得图形学的各个研究方向得到充分发展,图形学已广泛应用于动画、科学计算可视化、CAD/CAM、影视娱乐等各个领域。

ACM SIGGRAPH 会议是计算机图形学最权威的国际会议,每年在美国召开,参加会议的人在 50000 人左右。世界上没有第二个领域每年召开如此规模巨大的专业会议,SIGGRAPH 会议极大地促进了图形学的发展。SIGGRAPH 会议是由 Brown 大学教授 Andries van Dam (Andy) 和 IBM 公司 Sam Matsa 在 60 年代中期发起的,全称是“the Special Interest Group on Computer Graphics and Interactive Techniques”。1974 年,在 Colorado 大学召开了第一届 SIGGRAPH 年会,并取得了巨大的成功,当时大约有 600 位来自世界各地的专家参加了会议。到了 1997 年,参加会议的人数已经增加到 48700。因为每年只录取大约 50 篇论文,在 Computer Graphics 杂志上发表,因此论文的学术水平较高,基本上代表了图形学的主流方向。

1.3 计算机图形学应用

1.3.1 计算机辅助设计与制造

CAD/CAM 是计算机图形学在工业界最广泛、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、化工厂等的布局以及电子线路、电子器件等。有时,着眼于产生工程和产品相应结构的精确图形,然而更常用的是对所设计的系统、产品和工程的相关图形进行人-机交互设计和修改,经过反复的迭代设计,便可利用结果数据输出零件表、材料单、加工流程和工艺卡,或者数据加工代码。在电子工业中,计算机图形学应用于集成电路、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,而且可以在较短的时间内完成,并把结果直接进行后续工艺加工处理。在飞机工业中,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,其中包括飞机外形、内部零部件的安装和检验。

随着计算机网络技术的发展,在网络环境下进行异地异构系统的协同设计,已经成为

CAD 领域最热门的课题之一。现代产品设计已不再是一个设计领域内孤立的技术问题,而是综合了产品各个相关领域、相关过程、相关技术资源和相关组织形式的系统化工程。它要求设计团队在合理的组织结构下,采用群体工作方式来协调和综合设计者的专长,并且从设计一开始就考虑产品生命周期的全部因素,从而达到快速响应市场需求的目的,协同设计的出现使企业生产的时空观发生了根本的变化。异地设计、异地制造、异地装配成为可能,从而为企业在市场竞争中赢得了宝贵的时间。

三维几何造型系统具有许多优点,例如,可以进行装配件的干涉检查,可以用于有限元分析、仿真、数控加工等后续操作,它基本上代表了 CAD 技术的发展方向。CAD 领域另一个非常重要的研究领域就是基于工程图纸的三维形体重建。三维形体重建就是从二维信息中提取三维信息,通过对这些信息进行分类、综合等一系列处理,在三维空间中重新构造出二维信息所对应的三维形体,恢复形体的点、线、面及其拓扑关系。二维图纸设计在工程界中仍占有主导地位,工程上有大量旧的透视图和投影图片可以利用、借鉴,许多新的设计可凭借原有的设计基础进行修改即可完成,所以,三维形体重建在工程中有重要的意义。不过,目前的三维形体重建算法主要是针对多面体和对主轴方向有严格限制的二次曲面体的。任意曲面体的三维形体重建,至今仍是一个未解决的世界难题。

1.3.2 可视化

科学技术的迅猛发展,数据量的与日俱增使得人们对数据的分析和处理变得越来越困难,人们难以从数据海洋中得到最有用的数据,找到数据的变化规律,提取数据最本质的特征。但是,如果能将这些数据用图形表示出来,常常会使问题迎刃而解。1986 年,美国科学基金会(NSF)专门召开了一次研讨会,会上提出了“科学计算可视化(Visualization in Scientific Computing,简称为 VISC)”。第二年,美国计算机成像专业委员会向 NSF 提交了“科学计算可视化的研究报告”后,VISC 就迅速发展起来了。

目前科学计算可视化广泛应用于医学、流体力学、有限元分析、气象分析当中。尤其在医学领域,可视化有着广阔的发展前景。机械人和医学专家配合做远程手术是目前医学上很热门的课题,而这些技术的实现的基础则是可视化。可视化技术将医用 CT 扫描的数据转化为三维图像,并通过一定的技术生成在人体内漫游的图像,使得医生能够看到并准确地判别病人体内的患处,然后通过碰撞检测一类的技术实现手术效果的反馈,帮助医生成功地完成手术。从目前的研究状况来看,这项技术还远未成熟,离实用还有一定的距离。主要原因是生成人体内漫游图像的三维体绘制技术还没有达到实时的程度,而且现在大多数体绘制技术是基于平行投影的,而漫游则需要真实感更强的透视投影技术,然而体绘制的透视投影技术到现在为止还没有很好地解决。另外在漫游当中还要根据 CT 图像区分出不同的体内组织,这项技术叫 Segmentation。目前的 Segmentation 主要是靠人机交互来完成,远未达到自动实时的水平。

1.3.3 绘制勘探、测量的图形

处理勘探和测量所得的数据,可以绘制成地理图、地形图、矿藏分布图、气象图。还可以绘制在微观中的电场、电荷分布图等。

1.3.4 办公自动化

可以用来绘制数学的或经济的各类信息二、三维图表。如统计用的直方图、扇形图,以及

各类进程管理图表等。这些图可以用简明的方式提供形象化的数据和变化趋势,以增加对复杂现象的了解,并协助作出决策。

1.3.5 图形实时绘制与自然景物仿真

在计算机中重现真实世界场景的过程叫做真实感绘制。真实感绘制的主要任务是要模拟真实物体的物理属性,即物体的形状、光学性质、表面的纹理和粗糙程度,以及物体间的相对位置、遮挡关系等等。其中,光照和表面属性是最难模拟的。为了模拟光照,已有各种各样的光照模型。从简单到复杂排列分别是:简单光照模型、局部光照模型和整体光照模型。从绘制方法上看有模拟光的实际传播过程的光线跟踪法,也有模拟能量交换的辐射度方法。除了在计算机中实现逼真物理模型外,真实感绘制技术的另一个研究重点是加速算法,力求能在最短时间内绘制出最真实的场景。例如求交算法的加速、光线跟踪的加速等等,像包围体树、自适应八叉树都是著名的加速算法。实时的真实感绘制已经成为当前真实感绘制的研究热点,而当前真实感图形实时绘制的两个热点问题则是物体网格模型的面片简化和基于图像的绘制(IBR Image Based Rendering)。网格模型的面片简化,就是指对网格面片表示的模型,在一定的误差范围内,删除部分点、边、面,从而简化所绘制场景的复杂程度,加快图形绘制速度。IBR完全摒弃传统的先建模,然后确定光源的绘制方法,它直接从一系列已知的图像中生成未知视角的图像。这种方法省去了建立场景的几何模型和光照模型的过程,也不用进行如光线跟踪等极费时的计算。该方法尤其适用于野外极其复杂场景的生成和漫游。

另外,真实感绘制已经从最初绘制简单的室内场景发展到现在模拟野外自然景物,比如绘制山、水、云、树、火等等。人们提出了多种方法来绘制这些自然景物,比如绘制火和草的粒子系统(Particle System),基于生理模型的绘制植物的方法,绘制云的细胞自动机方法等,也出现了一些自然景物仿真绘制的综合平台。

1.3.6 计算机动画与系统模拟

动画片、广告的制作;模拟各种反应过程,如化学反应、核反应;碰撞、地震等过程模拟;以及各种各样的运动和训练模拟等,都可以用计算机图形技术生成和进行系统模拟。这样做,不仅安全,还可以取得极大的经济效益。

随着计算机图形学和计算机硬件的不断发展,人们已经不满足于仅仅生成高质量的静态场景,于是计算机动画就应运而生。事实上计算机动画也只是生成一幅幅静态的图像,但是,每一幅都是对前一幅做一小部分修改(如何修改便是计算机动画的研究内容),这样,当这些画面连续播放时,整个场景就动起来了。

早期的计算机动画灵感来源于传统的卡通片,在生成几幅被称作“关键帧”的画面后,由计算机对两幅关键帧进行插值生成若干“中间帧”,连续播放时两个关键帧就被有机地结合起来了。计算机动画内容丰富多彩,生成动画的方法也多种多样,比如基于特征的图像变形(见图1.1)、二维形状混合、轴变形方法、三维自由形体变形(FFD, Free-Form Deformation)等。

近年来人们普遍将注意力转向基于物理模型的计算机动画生成方法。这是一种崭新的方法,该方法大量运用弹性力学和流体力学的方程进行计算,力求使动画过程体现出最适合真实世界的运动规律。然而要真正达到真实运动是很难的,比如人的行走或跑步是全身的各个关节协调的结果,要实现很自然的人走路动画,计算方程非常复杂、计算量极大,基于物理模型的计算机动画还有许多内容需要进一步研究。

20 世纪 90 年代是计算机动画应用辉煌的十年。Disney 公司每年都要出一部制作精美的卡通动画片,好莱坞的大片屡屡大量运用计算机生成各种各样精彩绝伦的动画特技效果,广告设计、电脑游戏也频频运用计算机动画。计算机动画也因这些商业应用的大力推动而有了极大的发展。

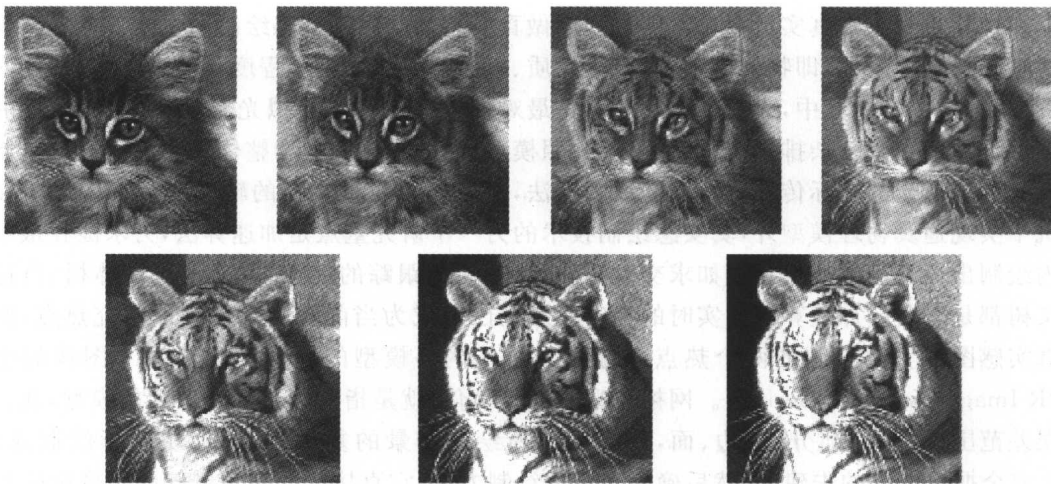


图 1.1 基于特征的图像变形(猫变虎)

1.3.7 计算机辅助教学

由于计算机图形技术能生成丰富的图形,可用于辅助教学,使教学过程变得形象、直观和生动,有助于提高学生的学习兴趣和注意力,增强教学效果。

1.3.8 用户界面

用户界面是人们使用计算机的第一观感。一个友好的图形化的用户界面能够大大提高软件的易用性,在 DOS 时代,计算机的易用性很差,编写一个图形化的界面要费去大量的劳动,过去软件中有 60% 的程序是用来处理与用户接口有关的问题和功能的。进入 20 世纪 80 年代后,随着 Window 标准的面世,苹果公司图形化操作系统的推出,特别是微软公司 Windows 操作系统的普及,标志着图形学已经全面融入计算机的方方面面。如今在任何一台普通计算机上都可以看到图形学在用户接口方面的应用。操作系统和应用软件中的图形、动画比比皆是,程序直观易用。很多软件几乎可以不看任何说明书,而根据它的图形或动画界面的指示进行操作。

目前几个大的软件公司都在研究下一代用户界面,开发面向主流应用的自然、高效、多通道的用户界面。研究多通道语义模型、多通道整合算法及其软件结构和界面范式是当前用户界面和接口方面研究的主流方向,而图形学在其中起主导作用。

1.3.9 计算机艺术

现在的美术人员,尤其是商业艺术人员都热衷于用计算机软件从事艺术创作。可用于美术创作的软件很多,如二维平面的画笔程序(如 CorelDraw, Photoshop, PaintShop),专门的图表绘制软件(如 Visio),三维建模和渲染软件包(如 3DMAX, Maya)以及一些专门生成动画的软件(如 Alias, Softimage)等,可以说是数不胜数。这些软件不仅提供多种风格的画笔画刷,而且提供多种多样的纹理贴图,甚至能对图像进行雾化/变形等操作。很多功能是一个传统的

艺术家无法实现甚至不可想象的。

当然,传统艺术的一些效果也是上述软件所不能达到的,比如钢笔素描的效果,中国毛笔书法的效果,而且在传统绘画中有许多个人风格化的效果也是上述软件所无法企及的。然而图形学工作者们是不甘失败的,就在真实感图形学如火如荼发展的同时,模拟艺术效果的非真实感绘制(NPR Non-Photorealistic Rendering)也在逐渐发展。钢笔素描是非真实感绘制的一个重要内容,目前仍然是一个非常活跃的研究领域。钢笔素描产生于中世纪,从19世纪开始成为一门艺术,然而用计算机模拟钢笔绘画却是20世纪90年代的事情了。由于钢笔素描与传统的图形学绘制方法差别很大,所以研究起来难度也颇大,但是很多学者已经在这方面做了卓有成效的工作,比如华盛顿大学的 Georges Winkenblach, Michael P. Salisbury, 德国 Magdeburg 大学的 Oliver Deussen 等人都在 Siggraph 会议上发表了高水平的论文。



图 1.2 Georges Winkenblach 绘制的壶和碗
(Siggraph'96)

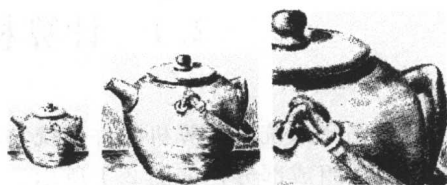


图 1.3 Salisbury 绘制的茶壶
(Siggraph'97)



图 1.4 Salisbury 绘制的熊
(Siggraph'97)

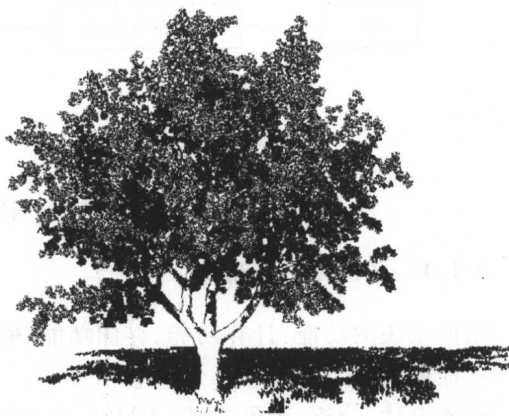


图 1.5 Oliver Deussen 绘制的素描树
(Siggraph'2000)

习 题

1. 简述计算机图形学发展历史。
2. 简述计算机图形学的研究内容。
3. 简述计算机图形学的应用。
4. 详细简述 CAD/CAM 的应用特点。

计算机图形系统

计算机图形系统在工程设计中具有十分重要的地位。这一方面是因为各个领域的设计工作,其最后的结果一般都要以图的形式来表达;更主要的是因为,一些先进的图形技术是工程分析和设计的重要手段。

2.1 计算机图形系统的组成

计算机图形系统由计算机硬件系统和软件系统两部分组成。严格说来,使用系统的人也是这个系统的组成部分。如图 2.1 所示。

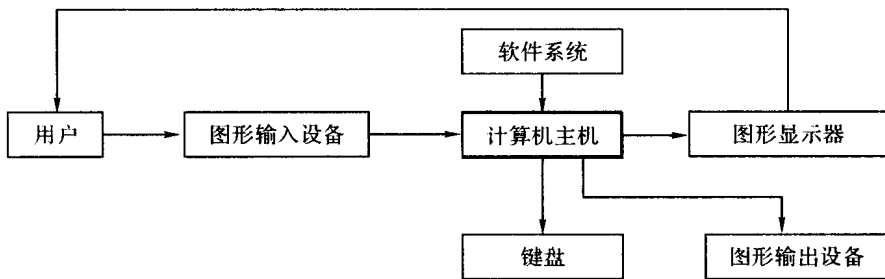


图 2.1 计算机图形系统

2.1.1 图形系统的功能

图形系统的功能:计算功能、存储功能、输入功能、输出功能、对话功能。

1. 计算功能

形体设计、分析,图形描述,基本几何元素(点、线、面等)的表示、求交运算、分类、几何变换,光、色模型的建立和计算,干涉检测等。

2. 存储功能

存放图形数据、几何元素之间的拓扑关系,几何信息和属性信息,并可对有关的信息进行实时的检索、修改、增加和删除。

3. 输入功能

输入有关进行图形设计的命令和参数等。

4. 输出功能

对于设计的中间结果、最终结果或档案,可以以文字、图形或图像等形式输出。

5. 对话功能

进行选择、拾取和修改,对操作步骤的追踪和提示,显示出错信息等。

2.2 图形设备

高质量的计算机图形离不开高性能的计算机图形硬件设备。一个图形系统通常由图形处理器、图形输出设备和输入设备构成。这一节我们将逐个探讨这些图形硬件设备。

2.2.1 图形输出设备

图形输出包括图形的显示和图形的绘制,图形显示指的是在屏幕上输出图形,图形绘制通常指把图形画在纸上,也称硬拷贝,打印机和绘图仪是两种最常用的硬拷贝设备。我们不介绍打印机和绘图仪,而将重点放在图形显示设备上。

现在的图形显示设备绝大多数是基于阴极射线管(CRT Cathode-Ray Tube)的显示器。历史上 CRT 显示器经历了多个发展阶段,出现过各种不同类型的 CRT 监视器,如:存储管式显示器,随机扫描显示器(又称矢量显示器),但是这些显示器的缺点是很明显的,图形表现能力也很弱。70 年代开始出现的刷新式光栅扫描显示器是图形显示技术走向成熟的一个标志,尤其是彩色光栅扫描显示器的出现更将人们带到一个多彩的世界。

1. 彩色 CRT 显示器

图 2.2 给出了 CRT 的工作原理。高速的电子束由电子枪发出,经过聚焦系统、加速系统和磁偏转系统就会到达荧光屏的特定位置。荧光物质在高速电子的轰击下会发生电子跃迁,即电子吸收能量后从低能态变为高能态。由于高能态很不稳定,在很短的时间内荧光物质的电子会从高能态重新回到低能态,这时将发出荧光,屏幕上的那一点就会亮了。显然从这发光原理可以看出这样的光不会持续很久,因为很快所有的电子都将回到低能态,不会再有光发出。所以要持续显示一幅稳定的画面,必须不断地发射电子束。

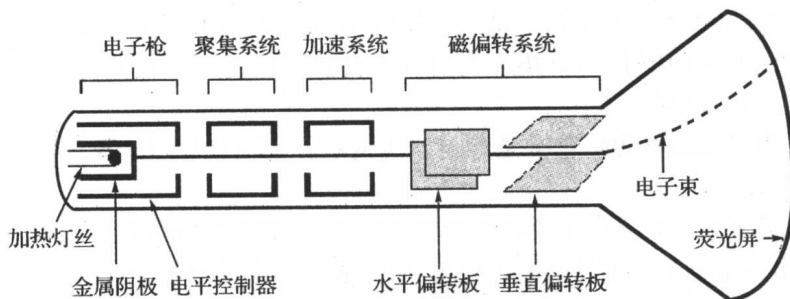


图 2.2 CRT 显示器简易结构图

那么电子束是如何发出的,又是如何控制它的强弱的呢?由图 2.2,我们可以看出,电子枪由一个加热器、一个金属阴极和一个电平控制器组成。当加热器加到一定高温时,金属阴极上的电子就会摆脱势垒的束缚,迸射出去。而电平控制器是用来控制电子束的强弱的,当加上正电压时,电子束就会大量通过,将会在屏幕上形成较亮的点,当控制电平加上负电压时,依据所加电压的大小,电子束被部分或全部阻截,通过的电子很少,屏幕上的点也就比较暗。

显然,电子枪发射出来的电子是分散的,这样的电子束是不可能精确定位的,所以发射出来的电子束必须通过聚焦。聚焦系统是一个电透镜,能使众多的电子聚集于一点。

聚集后的电子束通过一个加速阳极达到轰击激发荧光屏应有的速度。最后由磁偏转系统来达到指定位置。很明显,如果电子束要到达屏幕的边缘时,偏转角度就会增大。到达屏幕最边缘的偏转角度被称为最大偏转角。屏幕造得越大,要求的最大偏转角度就越大。但是磁偏转的最大角度是有限的,为了达到大屏幕的要求,只能将管子加长。所以我们平时看到的CRT显示器屏幕越大,整个显像管就越长。

要保持荧光屏上有稳定的图像就必须不断地发射电子束。刷新一次指电子束从上到下将荧光屏扫描一次,其扫描过程如图 2.3 所示。只有刷新频率高到一定值后,图像才能稳定显示。大约达到每秒 60 帧即 60Hz 时,人眼才能感觉到屏幕不闪烁,要使人眼觉得舒服,一般必须有 85Hz 以上的刷新频率。

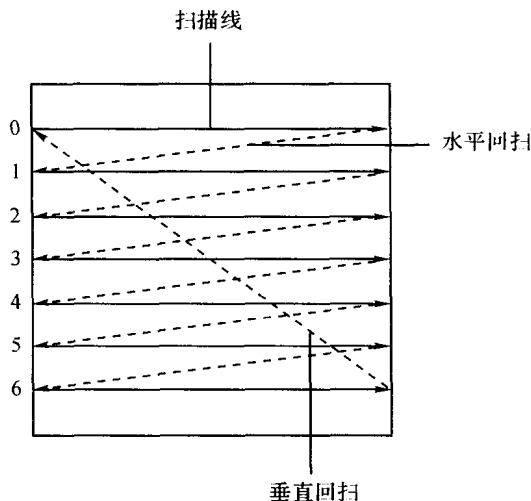


图 2.3 电子束扫描过程示意图

有些扫描速度较慢的显示器,为了能得到好的显示效果,采用一种叫隔行扫描的技术。首先从第 0 行开始,每隔一行扫描,将偶数行都扫描完毕垂直回扫后,电子束从第 1 行开始扫描所有奇数行。这样的技术相当于将扫描频率加倍,比如逐行扫描 30Hz 人们会觉得闪烁,但是同样的扫描频率,如果用隔行扫描技术人们就不会觉得闪烁。当然这样的技术和真正逐行 60Hz 的效果还是有差距的。

那么彩色 CRT 显示器的彩色又是如何产生的呢?下面就让我们来看看彩色 CRT 显示器显示彩色的原理。

彩色 CRT 显示器的荧光屏上涂有三种荧光物质,它们分别能发红、绿、蓝三种颜色的光。而电子枪也发出三束电子来激发这三种物质,中间通过一个控制栅格来决定三束电子到达的位置。根据屏幕上荧光点的排列不同,控制栅格也就不一样。普通的监视器一般用三角形的排列方式,这种显像管被称为阴罩式显像管。它的工作原理如图 2.4 所示。

三束电子经过阴罩的选择,分别到达三个荧光点的位置。通过控制三个电子束的强弱就能控制屏幕上点的颜色。如将红、绿两个电子枪关了,屏幕上就只显示蓝色了。如果每一个电子枪都有 256 级(8 位)的强度控制,那么这个显像管所能产生的颜色就是我们平时所说的 24 位真彩色了。

由于阴罩式显示器的固有缺点,如荧光屏是球面的,几何失真大,而且三角形的荧光点排列造成即使点很密很细也不会特别清晰。所以最近几年阴栅式显示器逐渐流行起来。其工作原理如图 2.5 所示。

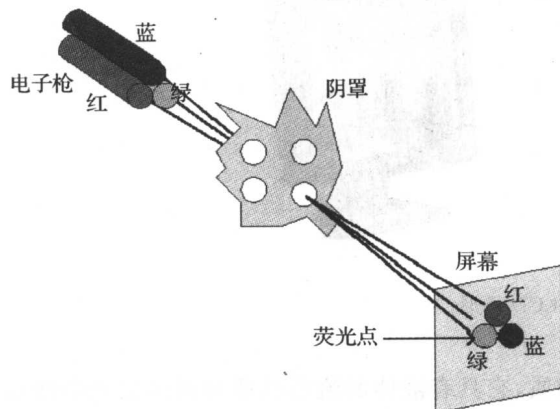


图 2.4 阴罩式彩色 CRT 显色原理示意图

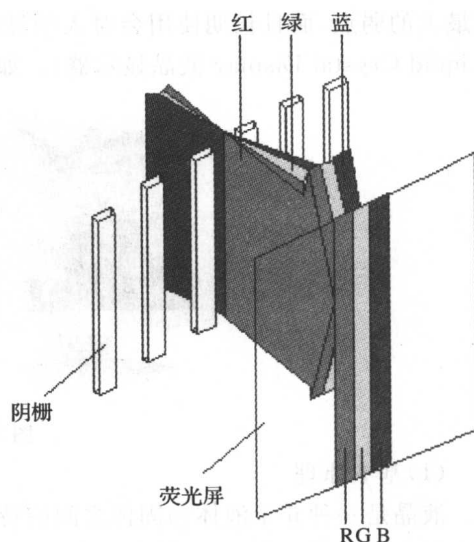


图 2.5 阴栅式显示器工作原理示意图

事实上从原理来说两者的区别只是光线的选择方式和荧光点的排列不同而已,但是两者的显示效果的差异是很明显的,阴栅式显像管亮度更高,色彩也更鲜艳。常用的阴栅式显像管有日本索尼公司的特丽珑管(Trinitron)和三菱公司的钻石珑管(Diamondtron),两者稍有不同。采用阴栅式显像管的显示器有柱面显示器和平面显示器,柱面显示器的表面在水平方向仍然略微凸起,但是在垂直方向上却是笔直的,呈圆柱状,故称之为“柱面管”。柱面管由于在垂直方向上平坦,因此与球面管相比几何失真更小,而且能将屏幕上方的光线反射到下方而不是直射入人眼中,因而大大减弱了眩光。平面显示器是最近两年刚刚推出的产品,荧光屏为完全平面,大大提高了图形的显示质量。由于玻璃的折射,屏幕会产生内凹的现象,但是通过一定的补偿技术,就能产生真正平面的感觉。由于平面显示器的高清晰度、低失真以及对人眼的低伤害,已经越来越得到人们的喜爱。

图 2.6 表示了一个阴栅式与阴罩式的荧光屏的点排列,其中距离 d 就是人们平常所说的点距。

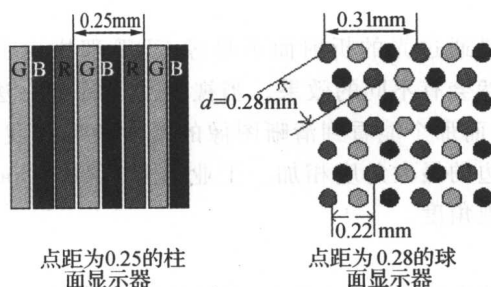


图 2.6 柱面、球面点距定义示意图

2. LCD 显示器

CRT 显示器历经发展,目前技术已经越来越成熟,显示质量也越来越好,大屏幕也逐渐成为主流,但 CRT 固有的物理结构限制了它向更广的显示领域发展。正如我们前面所说的屏幕的加大必然导致显像管的加长,显示器的体积必然要加大,在使用时就会受到空间的限制。另外,由于 CRT 显示器是利用电子枪发射电子束来产生图像,产生辐射与电磁波干扰便成为

其最大的弱点,而且长期使用会对人的健康产生不良影响。在这种情况下,人们推出了 LCD (Liquid Crystal Display 液晶显示器)。如图 2.7 所示。

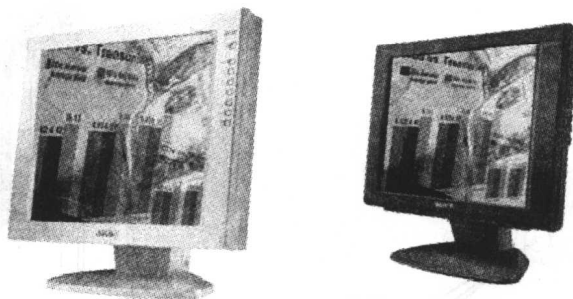


图 2.7 LCD 外形

(1) 基本原理

液晶是一种介于液体和固体之间的特殊物质,它具有液体的流态性质和固体的光学性质。当液晶受到电压的影响时,就会改变它的物理性质而发生形变,此时通过它的光的折射角度就会发生变化,而产生色彩。

液晶屏幕后面有一个背光,这个光源先穿过第一层偏光板,再来到液晶体上,而当光线透过液晶体时,就会产生光线的色泽改变,从液晶体射出来的光线,还得必须经过一块彩色滤光片以及第二块偏光板。由于两块偏光板的偏振方向成 90° ,再加上电压的变化和一些其他的装置,液晶显示器就能显示我们想要的颜色了。

液晶显示有主动式和被动式两种,其实这两种的成像原理大同小异,只是背光源和偏光板的设计和方向有所不同。主动式液晶显示器又使用了 FET 场效晶体管以及共用电极,这样可以让液晶体在下一次的电压改变前一直保持电位状态。这样主动式液晶显示器就不会产生在被动式液晶显示器中常见的鬼影或是画面延迟的残像等。现在最流行的主动式液晶屏幕是 TFT (Thin Film Transistor 薄膜晶体管),被动式液晶屏幕有 STN (Super TN 超扭曲向列 LCD) 和 DSTN (Double Layer Super TN 双层超扭曲向列 LCD) 等。

(2) 基本技术指标

① 可视角度

由于液晶的成像原理是通过光的折射而不是像 CRT 那样由荧光点直接发光,所以在不同的角度看液晶显示屏必然会有不同的效果。当视线与屏幕中心法向成一定角度时,人们就不能清晰地看到屏幕图像,而那个能看到清晰图像的最大角度被我们称为可视角度。一般所说的可视角度是指左右两边的最大角度相加。工业上有 CR10 (Contrast Ratio)、CR5 两种标准来判断液晶显示器的可视角度。

② 点距和分辨率

液晶屏幕的点距就是两个液晶颗粒(光点)之间的距离,一般 $0.28 \sim 0.32\text{mm}$ 就能得到较好的显示效果。

分辨率在液晶显示器中的含义并不和 CRT 中的完全一样。通常所说的液晶显示器的分辨率是指其真实分辨率,比如 1024×768 的含义就是指该液晶显示器含有 1024×768 个液晶颗粒。只有在真实分辨率下液晶显示器才能得到最佳的显示效果。其他较低的分辨率只能通过缩放仿真来显示,效果并不好。而 CRT 显示器如果在 1024×768 的分辨率下能清晰显示的话,那么其他如 800×600 、 640×480 都能很好地显示。