

计算机实用图形学 与 *CAD* 技术

钱汉臣
编著



西南师范大学出版社

计算机实用图形学 与 CAD 技术

钱汉臣 编著

西南师范大学出版社

内容简介

本书将计算机图形学与计算机绘图、多媒体有关技术以及 CAD 技术结合在一起,突出其实践性和应用性,重点介绍光栅图形的生成和应用技术。主要内容包括图形 I/O 设备原理和接口技术、直线和圆弧生成技术、图形变换技术、字符和子图形生成技术、交互技术、填色与浓淡技术、动画技术、曲线和曲面生成技术、隐线和隐面消除技术、图形数据存贮和压缩技术以及 CAD 技术等。全书共分十二章,三个附录,并有紧密配合的习题与上机题。

本书实用性强,叙述深入浅出,可作为大专院校有关专业的本科生和专科生开设计算机图形学、计算机绘图与 CAD 技术基础、多媒体技术前导课等课程的教材,也可作为有关专业研究生的教材或教学参考书,并可供从事计算机图形应用和 CAD 工作的广大工程技术人员作参考书之用。

JS362/02

计算机实用图形学
与 CAD 技术
钱汉臣 编著

西南师范大学出版社出版、发行
(重庆 北碚)

新华书店经销

重庆建筑大学印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:26 字数:627 千
1996 年 5 月 第一版 1996 年 5 月 第 1 次印刷
印数:1—5000

ISBN 7-5621-1276-2/TP·12

定价:35.00 元

前 言

由于 CAD 技术的进一步普及和应用,由于多媒体技术的兴起,计算机图形学这门近 30 年来迅速发展起来的新学科,再次地被推上学科发展和应用的快车道。在这样的需求形势下,作者根据十多年来的教学经验积累和承担课题的应用实践,在教学讲义和课题总结的基础上,将计算机图形学中极富应用性的一面突出起来,删繁就简,推陈出新,补充和完善一些在应用中很有价值的实用方法与技术;并与计算机绘图、多媒体有关技术以及 CAD 技术结合在一起,进行系统地具体地讨论,并名之曰:“计算机实用图形学与 CAD 技术”。

“实践,理论,再实践”,“简化,繁杂,再简化”,“分支,综合,再分支”,这是科学发展的规律。作者仅是遵循这些规律,为计算机应用出版物的百花园中催生了一朵小花,在再实践、再简化和综合的科学环节上作了一个推波助澜的小兵。

书中有不少是作者在完成课题中所创造的方法和编写的新算法。有些应用问题上的成熟算法,仅选择了一、二个实用的作为代表。全部算法都用 TURBO PASCAL 语言写成,本身就是程序,仅为了简明计,对某些细节,作了一定的省略。由于 TURBO PASCAL 与 TURBO C 使用的集成编辑环境类似,因而转换成 TURBO C 亦是易事。选用 TURBO PASCAL 6.0 作为实践支撑软件,是因为它在教学中比较普及,且有一个功能强大的基本图形库(实际上就是一个基本图形软件包)。附录二列出了 TURBO PASCAL 6.0 的全部库过程和函数,附录三列出了 TURBO PASCAL 6.0 的全部错误信息,页面虽占用了些,但对上机实习有帮助,免除了学生缺乏此类工具书之苦。每章末均附有习题和上机题。

书中未列出专门章节对 GKS 作详细叙述,而在附录一中作了简介,但书中内容的叙述却参照了 GKS 的要求与规范。

本书的出版受到了许多专家、学者的鼓励与支持,特别是苏州市不少在 CAD 技术应用方面的工程技术人员的支持。对计算机图形学与 CAD 技术学有专长的倪启东博士还审阅了全书,提出了不少的宝贵意见和建议,在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,缺点与不足在所难免,欢迎广大的读者指正。

作者

1995 年 12 月 苏州

目 录

第一章 概论	(1)
1.1 图形学研究内容及应用	(1)
1.2 图形学与 CAD 技术发展历史及今后趋势	(4)
1.3 图形学中坐标系	(9)
1.4 TURBO PASCAL 图形功能	(11)
习题和上机题	(12)
第二章 图形输入、输出设备和接口技术	(13)
2.1 图形输入设备	(13)
2.2 图形输出设备	(17)
2.3 数据存贮设备	(23)
2.4 设备接口技术和图形卡	(24)
习题和上机题	(27)
第三章 直线和圆弧生成技术	(28)
3.1 直线和圆弧 DDA 法	(28)
3.2 直线和圆弧布雷森汉姆(Bresenhan)法	(34)
3.3 纵横比和去台阶技术	(42)
习题和上机题	(45)
第四章 图形变换技术	(46)
4.1 窗口与视区及其坐标变换	(46)
4.2 线段与多边形裁剪	(48)
4.3 图形几何变换	(55)
4.4 物体投影变换	(70)
习题和上机题	(86)
第五章 字符和子图形生成技术	(88)
5.1 矢量字符和点阵字符生成法	(88)
5.2 子图形形状表和简单子图形形状表赋值法	(90)
5.3 子图形显示、选择和牵引	(92)
5.4 复杂子图形形状表赋值法	(96)
习题和上机题	(100)
第六章 交互技术	(101)
6.1 交互输入技术和输入控制方式	(101)
6.2 交互控制技术	(103)
6.3 拾取技术	(108)
6.4 人机界面设计技术	(110)
习题和上机题	(118)

第七章 填色与浓淡技术	(119)
7.1 多边形区域填色	(119)
7.2 一般区域填色	(127)
7.3 线浓淡与点浓淡技术	(134)
习题和上机题	(142)
第八章 动画技术	(143)
8.1 分段操作	(143)
8.2 速度控制	(152)
8.3 运动控制	(154)
8.4 碰撞判别	(156)
习题和上机题	(158)
第九章 曲线和曲面生成技术	(159)
9.1 贝齐尔(Bezier)曲线与曲面	(159)
9.2 B样条曲线与曲面	(170)
9.3 旋转曲面	(176)
习题和上机题	(177)
第十章 隐线和隐面消除技术	(179)
10.1 求交计算	(179)
10.2 隐线消除	(183)
10.3 隐面消除	(190)
习题和上机题	(191)
第十一章 图形数据存贮和压缩技术	(192)
11.1 图形数据结构	(192)
11.2 图形数据库	(197)
11.3 CAD数据库	(199)
11.4 图形数据压缩	(202)
习题和上机题	(206)
第十二章 CAD技术及其应用	(207)
12.1 CAD型式与CAD过程	(207)
12.2 数学建模与几何造型	(215)
12.3 有限元分析与优化	(222)
12.4 CAD技术应用	(230)
习题和上机题	(238)
附录一 图形核心系统GKS简介	(239)
附录二 TURBO PASCAL 6.0库过程与函数	(243)
附录三 TURBO PASCAL 6.0错误信息	(390)
主要参考文献	(405)

第一章 概 论

计算机图形学这支绚烂的花朵,以其特有的芳香在计算机领域的百花园中,一直受到人们的青睐。近年来,由于多媒体技术的发展和运用,图形和声音已经成为继数字和文字之后,又一类能被计算机直接处理的信息媒体,对计算机图形学的有关内容及相关技术的深入研究,再一次引起了人们的浓厚兴趣。计算机图形学中的实用技术也达到了更深层次的普及和应用。

本章主要介绍计算机图形学的研究内容及其应用领域,计算机图形学和 CAD 在国内外的概况与趋势,计算机图形学中的坐标系及 TURBO PASCAL 的图形功能。

1.1 图形学研究内容及应用

1.1.1 什么是计算机图形学与计算机实用图形学

1、计算机图形学及其研究内容

1982 年国际标准化组织数据词汇处理小组给计算机图形学下的定义是:研究用计算机进行数据与图形之间相互转换的方法的技术。根据这一定义,计算机图形学至少包含两大部分:将数据和几何模型转换成图形;将图形转换成数据和几何模型。前者就是一般所指的计算机图形学的狭义定义,而后者则称为模式识别。两者是相反的过程。如信封上手写邮区编码的自动识别,工业机器人对零件品种与方位的自动识别,都属于模式识别的研究课题。

若把不同质的图形间转换,数据和几何模型间更好的处理方法的研究,也包括在上述定义之内,则前者研究的内容称为图象处理(图形偏向基本一些,图象一般理解为由基本图形组成,但有时往往不分,图形也可以称作图象),如卫星遥感中得来的模糊图象,用复原技术使之变得清晰等;后者研究的内容称计算几何,如用已知几何形体的数据去更好地建立数学模型,提高算法效率等。

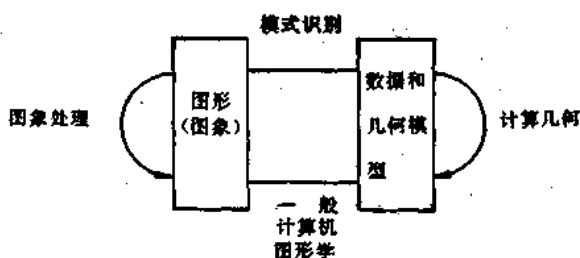


图 1.1 计算机图形学广义定义中四个学科的关系

所以,这是一个广义的定义,实际上包含了四个独立的学科。这四个学科互相渗透,互相交叉,反映了科学技术发展的一个普遍规律,其关系如图 1.1。

其实,一般计算机图形学(指狭义定义)不仅涉及到计算机科学,涉及到计算几何,还涉及到线性代数、制图学、美学、视觉心理学和光学等多种学科,它既有自己的理论体系,

又有很强的实践性,内容十分丰富。由于它是一门年轻的独立学科,其体系和内容还在向更成熟、更完美的阶段发展。本书所讨论的主要内容为一一般计算机图形学。

2、计算机实用图形学

若对计算机图形学中极富实践性和应用性的一面,进行系统地具体地讨论,删繁就简,推陈出新,补充和完善一些在应用中很有价值的实用方法与技术,则不妨称之为计算机实用图形学(或实用计算机图形学),就象许多其它实用技术学科一样。

1.1.2 计算机图形学的主要应用领域

1、计算机辅助设计和制造(Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacture, CAD/CAM)

这是计算机图形学最重要的应用领域,在机械、建筑、汽车、飞机、造船、电子等工业部门都有着广泛的应用,如机械结构和零部件的设计,土木建筑工程及其图纸的设计,汽车、飞机、轮船的外形设计,集成电路、印刷线路板的设计等。过去在这些设计工作中,用的是绘图板加丁字尺的传统设计方法,现在正迅速地被 CAD 技术所代替。使用了 CAD 技术后,不仅提高了设计效率,缩短了设计周期,改善了设计质量,降低了设计成本,而且可以为后续工序的计算机辅助制造(CAM),建立起 CAD 数据库,使 CAD/CAM 联成一气,为生产的自动化奠定基础。

CAD/CAM 是高新技术,是先进的生产力,它已经并将进一步给人类带来巨大的影响和利益。因此,国外有许多专家、学者把 CAD/CAM 列为 80 年代十大关键技术之一。CAD 技术的水平如何,已经成为衡量一个国家工业技术水平的重要标志。

2、科学研究

科学上的假说,有些可以用图形来表示,尤其是关于结构的假说,远比用文字阐述更清晰和直观。宇宙空间星际结构的假设,天体运行规律的解释,高分子物质结构的观察,都可以通过计算机图形来模拟。如 DNA 的分子结构,就可以通过分子造型系统来产生,这为分子生物学和分子结构学的研究,又提供了一个有效的手段。

科研中的计算结果,可以在显示器的屏幕上用图形表达出来,使其可视化,更能深刻揭示和理解被研究过程的本质。

3、制图

在地质测量和勘探方面,有区域测量图、石油勘探图、矿藏分布图;在大地和海洋测绘方面,有国家和省市的地理图、地形地貌图、山川河流分布图、海洋地理图;在气象预报方面,有天气图、云图;在人口统计方面,有人口分布图,人口增长比较图等,都可以用计算机图形系统来产生。

4、事务管理和办公室自动化

在事务管理中要用到许多图形,如作业进程图、产量图、库存图、销售统计图、生产计划表等。这些图表都可以由计算机图形系统产生的直方图(条形图)、饼形图、箭头图来表示。

办公室自动化(Office Automation, OA)是实现办公室工作现代化的重要途径,许多发达国家都投入一定的财力和人力,完成办公室工作手段的这一改造,并给予高度重视。

办公室自动化系统可以从联网的数据库中,取出所需要的数据,用合适的图表在屏幕上显示或在打印机、绘图仪上输出来。

5、军事指挥和训练

在过去的军事活动和作战指挥中,主要靠电话和地图及时了解情况,下达作战部署和命令。现正在发展为利用计算机网络和图形的大型显示屏,直接下达军事部署,直接显示战场的瞬息变化图,使计算机图形学在作战指挥自动化中居于很重要的地位。

在军事训练中,也广泛地应用了计算机图形学的研究成果,如飞机驾驶员训练用的飞行模拟器,可将操纵动作实时地变换成投影在球形房间内壁上的空中飞行环境和状态,并配以模拟飞机的音响效果,使驾驶员在训练驾驶舱内所见到的外部景物如同在真实的空中一样。这样的训练,既安全又方便,且节省了训练费用。

6、生产过程控制

生产过程控制是将生产过程的重要参数,传输到计算机的终端,变换成图形以显示生产的状态。生产管理的监控人员只要时刻注意显示的图形是否正常,若发现异常状态,可以立即采取相应措施来加以调整。这种生产过程的监视和控制系统,对一些重要的生产部门,如炼油厂和发电厂,显得更加重要。

7、计算机艺术和动画

计算机艺术有着广阔的应用前景,它是将计算机图形学和人工智能技术引入艺术领域的结果,如计算机书法和绘画。计算机书法实现的方法之一是对基本笔划(横、竖、撇、捺等)分别构造出控制函数,对于不同的书法风格再用变换算子修正控制函数去表现同一类型的笔划,笔锋用圆形墨点去代表的,在书写过程中控制墨点的大小和轨迹的变化规律去体现不同的笔锋。这就需要深入研究书法名家的作品,找出其特征和规律,运用书法知识,在程序中不断测试和调整,不仅要使字体结构匀称、平稳,而且要使其逼近名家的风格。计算机绘画的基本原理相似,除了找出其表现手法的基本规律用控制函数加以实现外,还要加入一些随机扰动因子,使画面生动活泼,不致使人感到呆板和雷同。

计算机电影是在计算机动画的基础上产生的。手工绘制动画片,1秒钟电影需绘制24幅画面,每幅画面的产生都要经过复杂的工序。象一部两小时的“大闹天宫”动画片,要画近十万张画面,需要几十个动画工作者辛勤劳动两年多,其创作活动的艰苦性和细致性可想而知了。若改用计算机创作,不仅劳动强度和创作成本大为降低,而且创作效率也大大地提高。当然在这一领域中,还有许多难题有待于进一步解决。

计算机商业广告也是建立在计算机动画的基础上。计算机装潢设计也可以借助于计算机图形学。它们都有着广阔的应用前景。

8、计算机辅助教学(Computer-Assisted Instruction, CAI)

CAI是教师用计算机作教学媒体,学生通过与计算机的交互作用进行学习的一种教学形式。CAI的教学软件中用到了大量的图形,这一幅幅的图形组成了模拟各种定义、原理和方法的动画,生动、形象、准确地说明和解释了这些定义、原理和方法的具体内容,如数学中的极限定义、级数收敛性原理、微分和积分方法,物理中的速度、加速度、时间和路程的有关定义和它们间的关系,计算机科学中的各种数据结构和相关算法,各种排序和查找算法的原理、特点和比较等。在CAI中这些表示定义、原理、方法所展现的动态过程,是

很难用其它教学媒体作到的。这种教学动画给学生留下了深刻印象,易理解、易记。

1.2 图形学与CAD技术发展历史及今后趋势

1.2.1 历史发展中的四个时期

计算机图形学和CAD技术的发展,离不开计算机硬软件及外围设备、图形设备的发展,是随着它们的发展而发展的。

1、准备和酝酿时期(50—60年代初)

1950年美国麻省理工学院研制出类似于示波器的“旋风1号”(Whirlwind 1)图形设备,可以显示简单图形。1952年麻省理工学院诞生了第一台数控铣床的原型。1958年美国Colcomp公司研制出滚筒式绘图仪;Gerber公司研制出平板式绘图仪。1957年起,以麻省理工学院林肯实验室为主研制的半自动防空系统SAGE(Semi Automatic Ground Environment)正式投入使用,成功地把雷达波形转换成计算机图形,第一次使用光笔选取图形。可以说,这是交互式计算机图形系统的雏形,CAD技术的开始。

2、学科确立和进入应用时期(60年代)

1962年美国麻省理工学院林肯实验室的伊凡·萨塞兰德(Ivan Sutherland)发表了题为“图板:一个人机通讯的图形系统”的博士论文,首次提出了计算机图形学、交互技术、分层存贮符号的数据结构等新思想,从而为交互式计算机图形学这一学科的确立和CAD技术的发展打下了理论基础。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上达到任意高次连续阶的理论方法,得到极大推崇,称为孔斯(Coons)曲面。孔斯和法国雷诺公司的贝齐尔(Pierre Bexier)并列称为现代计算机辅助几何设计技术的奠基人。从60年代初起,麻省理工学院还积极酝酿建立土木工程的集成化系统,称作ICES(Integrated Civil Engineering System)计划,其技术至今仍有生命力。麻省理工学院的这些卓越成就,使其成了当代CAD/CAM技术诞生的摇篮。

60年代中期,美国IBM公司推出了随机扫描显示器,它具有较高的分辨率和对比度,动态性能好,交互作用响应速度快,但因需要一个刷新缓冲存贮器和一个较高速度的处理器,所以价格昂贵。60年代末美国Tektronix公司推出了存贮管式显示器,它不需要刷新缓冲存贮器,因为它显示一幅图形,能保持1小时左右而无闪烁。由于节省了刷新缓冲存贮器,因而成本降低,售价也低,得到了广泛的应用。但它不能局部地修改显示画面,不适合交互方式工作。

在60年代中期的同时,美国通用汽车公司、贝尔公司电话实验室和洛克希德飞机公司以及英国剑桥大学也接着对计算机图形学和CAD技术进行了大规模的研究。市场上出现了许多商品化了的CAD设备。60年代末,美国安装的CAD系统已达200多套,可供数百人使用。CAD/CAM这一技术概念,于1968年在美国国防与工业会议上也被正式采纳。

3、蓬勃发展 and 广泛应用时期(70年代)

70年代由于集成电路的研制成功,大大地推动了计算机硬件的发展。廉价的固体电

路随机存贮器的出现,为大容量的图形显示缓冲存贮器提供了可能。70年代中期光栅图形显示器研制成功,这是应用电视的光栅技术而研制成功的图形显示器。这种显示器需要存放组成图形的最小元素(称为像素)的大容量存贮器,集成电路的发展,满足了这一要求,且性能不断提高。

在70年代,三维计算机图形学有了重要的发展和应用,如隐藏线和隐藏面得到更深入的研究,明暗技术受到重视,在图形真实感等方面出了不少的研究成果。在70年代,计算机图形软件标准化的研究已成为国际范围内的重要活动。1974年美国成立了图形学标准规划委员会(GSPC),在1977年和1979年期间,GSPC提出了第一版和第二版的二、三维图形学标准版本,这就是CORE(Core System),即核心系统,1975年西德标准化局(DIN)的下属图形委员会着手起草图形标准,于1977年公布了GKS(Graphical Kernel System),即图形核心系统的草案初稿,1978年国际标准化局的图形学工作小组对CORE和GKS作了比较,决定选择GKS作为国际标准的一个基础方案,作进一步的充实与修改。GKS虽只有二维图形功能,但由于它采用了工作站、虚拟显示文件和虚拟设备接口等重要概念,得到了许多专家、学者的高度重视。

在取得上述辉煌成果的同时,计算机图形学和CAD技术也得到了广泛的应用。市场上出现了图形输入板等多种形式的图形输入设备,出现了面向中小企业的CAD/CAM系统。70年代末,单美国安装的CAD工作站就超过12000台,使用人数超过2.5万。

4. 突飞猛进和成熟化、标准化时期(80年代)

80年代是大规模集成电路技术突飞猛进的发展时间,也是计算机图形学和CAD技术突飞猛进发展、推广和应用的年代。光栅图形显示器在70年代出现时,大多用 512×512 的分辨率。因分辨率不高,显示线条的效果不好,有明显的锯齿形,而且要作向量到点阵的相互转换,交互响应速度受到一定影响,但其色彩层次十分丰富。红绿蓝三原色各占8个二进位(共24个二进位),每种颜色有 $2^8=256$ 种层次,最终可组合成 2^{24} 种色彩或亮度(即灰度)等级,所需的图形缓冲存贮器量是很大的。由于80年代大规模集成电路技术的发展和专用图形处理芯片的出现,廉价的大容量随机存贮器被引入光栅图形显示器,使其性能价格比大大提高。由于80年代个人计算机和图形工作站的迅猛发展,主机和图形显示器融为一体,光栅扫描型显示技术更加成熟化。光栅图形显示器的质量越来越好,价格越来越低,终于得到了普遍应用,成了当前图形显示器的主流。

1983年国际标准化组织的有关成员国投票通过了GKS。1985年8月15日国际标准化组织正式公布了作为计算机图形学国际标准的GKS文件。据统计,来自约16个国家的100多名专家参与了文件的制定过程(包括评审),共耗资500个人年的工作量。其主要内容简介见附录一。作为第一个图形学国际标准,它的意义非常重要,主要表现在:为开发图形支撑软件提供了具体的规范;对今后图形设备的研制有指导意义;为计算机图形学的教育和国际学术交流提供了统一的规范术语和概念;在GKS支撑软件基础上开发的应用软件具有良好的可移植性等。1989年又颁布了国际标准GKS-3D,即三维图核心系统,它是在二维GKS基础上,吸收CORE等标准的某些三维功能而形成的。同年,三维图形学的美国国家标准PHIGS(Programmers Hierarchical Interactive Graphics System),即程序员的层次式交互图形系统也成为国际标准,这是具有层次结构的二、三维图形系

统。它定义了与 GKS—3D 相同的图形输入、输出及状态询问。它与 GKS—3D 的主要区别是：前者图形数据组织的基本单元是结构，按层次组织；后者图形数据组织的基本单元是图段。此外，还有 CGM(Computer Graphics Metafile)，即计算机的图形元文件。这是一种保存图形信息的手段，也是在各种程序之间或各种计算机之间进行图形交换的一种方法。CGI(Computer Graphics Interface)，即计算机图形接口。这是关于计算机图形设备接口的标准。以上五个标准统称为第一代计算机图形学国际标准。

在 80 年代，计算机图形软件功能开始部分地用硬件实现，如 1980 年克拉克(J. H. Clark)的几何机器用集成块能完成比例、旋转、平移等几何变换功能。80 年代初在 CAD 领域开始使用立体造型软件。个人计算机由 16 位发展到 32 位，CAD 工作站推出了使用 32 位超级微机的 workstation。CAD 数据库和 CAD/CAM 一体化数据库受到重视和应用。计算机图形学的一大批成熟的科研成果和技术被商品化，图形系统和 CAD 工作站的销售量与日俱增。在美国 1981 年实际安装的 CAD 系统就有 5000 套，1983 年超过 12000 套，1988 年发展到 63000 套。CAD/CAM 技术从大中企业向小企业扩展；从发达国家向发展中国家扩展；从用于产品设计到用于工程设计。

我国计算机图形学与 CAD 的研究和应用始于国际上发展的第三时期，即 70 年代初期。当时只有机电、航空航天、船舶等少数几个工业部门和少数高等学校开始研究计算几何的数学理论、工程图的绘制方法、布局和布线算法等，主要应用领域只限于船体放样、飞机设计和集成电路版图设计等。在很长一段时间内进展不大，应用不广。自改革开放十余年来，特别是“七五”以来，计算机图形学与 CAD 的研究和应用有了较好的发展。这表现在：

1、CAD 技术已推广应用到机电、航空航天、建筑、船舶、轻工、纺织等众多工业部门。目前，我国大型设计院中计算工作的 90% 以上，方案设计的 50% 以上，绘图工作的 25% 以上均已用 CAD 系统来完成。工作效率提高了 3~10 倍，基建投资节约了 2%。

2、CAD 应用软件、图形支撑软件的研究和开发取得成果，有的已达到国际水平。如集成电路三级 CAD 系统开发与实用化，使我国成为继美国、日本、西欧共同体之后能进行大型集成电路 CAD 系统开发的少数国家之一。一些实用化 CAD 软件已在工业生产中发挥作用。

3、硬件的开发和制造能力有所提高。如我国自行研究的图形设备——显示终端和彩色监视器已形成系列化产品，形成批量生产能力，不但占领了国内市场，并开始出口。我国已能研制成套工艺用于制造 $1\sim 1.5\mu\text{m}$ CMOS 集成电路，已研制成 1MB 的汉字只读存储器。

4、已建立了若干个国家重点研究开发基地，如浙江大学 CAD 与计算机图形学国家重点实验室，中国科学院开放 CAD 实验室，沈阳计算技术研究所 CAD/CAM 开放实验室，华中理工大学模具设计与制造国家重点实验室，西北工大 CAD/CAM 实验室以及南京大学有关实验室等。

但是，目前还存在不少问题，如专业人才缺乏，还没有建立起我国自己的 CAD 产业，大部分 CAD 软件和图形软件还没有达到实用化、集成化和商品化。然而，我们相信，随着对“科学技术是第一生产力”的认识逐渐成为我国人民的共识，与其他产业和新兴学科领

域一样,当前存在的这种落后状态终将被彻底改变。

1.2.2 今后发展趋势

计算机图形学领域的发展趋势是:

1. 图形支撑软件标准化将进一步发展

在交互式图形软件编写中,不仅要考虑图形元素的参数不一,数据结构多样,且要考虑到多种输入操作方式,有字符键、功能键、鼠标器、图形输入板、操纵杆、专用旋钮等。不同厂商生产的图形设备有不同的硬件功能,都各自提供与高级语言的接口,这就使得在它上面开发的应用程序包互不兼容,影响了通用性,也影响了图形软件本身的可移植性。为了解决这一问题,也为了简化应用程序的编写,国外从70年代起就开始改进图形软件包的设计,将过去的“各自为政”,改为“统一归口”,即对应用程序采用标准化的接口,编写的图形软件包,对不同类型的显示设备或绘图设备,分别采用专门的驱动程序(如图1.2)。前面介绍的第一代图形学国际标准就是在这方面所取得的成就。

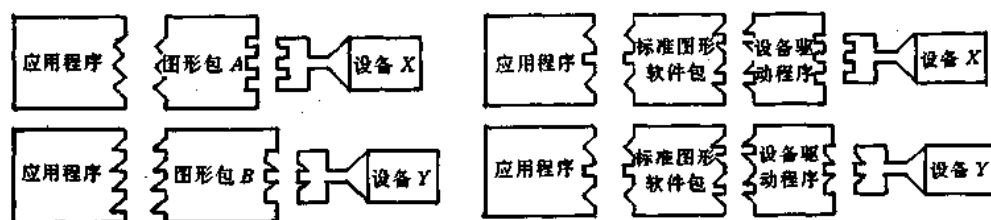


图 1.2 “各自为政”与“统一归口”

进入90年代之后,图形支撑软件标准化研究继续在发展,在90年代初公布的STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data)标准,即1.0版的产品模型数据交换标准,将成为国际标准。近年来在CAD系统中窗口系统的应用日益广泛。这种窗口的概念不是在本书第四章中所提到的窗口概念,而是指用户应用窗口系统在显示器屏幕上开辟的多个矩形区域。这些区域可以是互相重叠的,也可以是不重叠的。每个窗口对应于一个应用程序,或作为应用程序的一个子窗口。如果窗口系统建立在多进程的操作系统上,则它还允许窗口之间实现并发和通讯。这样的窗口系统充分利用了显示设备,扩充了单台显示器的功能。不仅提供了统一的用户界面,各种应用程序(包括操作系统本身)均可用菜单通过鼠标器或键盘与用户对话;而且基于多进程的窗口系统还可在同一台显示器上同时运行多个程序,给用户带来了极大的便利。因此不少软件公司和研究机构纷纷推出各种窗口软件,如Macintosh, MS—Windows, SUN—Windows, X—Window System等。窗口系统的标准化活动正在进行中。X—Window标准原是美国标准,现已成为国际标准草案,不久将成为正式国际标准。此外,PHIGS+标准涉及新一代高性能工作站功能,原也是美国标准,现已成为国际标准的草案文本。

国际标准化组织对公布的国际标准在执行若干年后均组织有关专家进行修订。修订

过程或一个新国际标准的制订过程,一般要经过五个阶段:提案阶段,工作草案阶段,委员会草案阶段,国际标准草案阶段,国际标准阶段。GKS 公布至今已有十年的时间,这段时间内图形硬件、图形处理算法、网络通讯的发展尤为迅速。如何通过网络实现一般数据和图形数据的快速传送等技术正有待于在新的国际标准中得到反映。GKS 标准的修订已进入委员会草案阶段。

2、提高图形处理算法的可靠性、效率和速度将进一步受到重视

特别是在三维图形学中,如隐藏线消除、明暗图生成、体素拼合、真实感彩色图象生成等问题中的算法速度,还都较慢,有待于提高。为进一步完善立体造型技术,提高造型可靠性,造型过程中大量的面与面的求交运算,由于计算精度问题而带来的误差,有时会造成立体的拓扑关系不满足欧拉公式,使布尔运算难以进行或产生错误结果,需要很好地加以解决。为了提高真实感图象的生成速度,不仅三维线框图的实时旋转和缩放,已经在很多显示器中用硬件实现;而且在此基础上,三维彩色立体图形的实时旋转和缩放,已经能利用专用硬件得到实现。但人们还希望得到更高的实时动态模拟能力,办法之一是采用多处理器,用几十个甚至几百个处理器对高分辨率光栅图形的象素点进行并行计算,其图象的生成速度可大为提高。

3、有重要应用价值的专用图形算法研究将进一步成为热门

如纹理映射技术和自然景物模拟技术就成为近年来的热门研究课题。前者研究的是如何去真实表现物体表面的纹路细节,如花纹、木纹、大理石纹等;后者则是研究怎样才能维妙维肖地来模拟云、水、火、风等飘忽不定的东西以及雄伟、粗糙、起伏的山峰与岩面。这种模拟在航天、建筑、交通、气象以及军事上有十分重要的意义,当然,也可把前者看作是后者一个子课题。纹理映射的一般方法是将事先定义好的花纹图案(或对已有图片的采样结果)由纹理空间映射到图象空间去。花纹图案既可由数学函数定义,也可由数字化仪或扫描仪采样后建立的形状表(二维数组)来定义。为了在表面上生成凹凸纹理,可在表面的每一点法线方向附加一个新的随机向量进行扰动。由于这一向量较小,不会影响原有表面的大致形状,但在物体表面产生明显的粗糙视觉效果。自然景物具有随机的形状,很难用常规方法来造型和表示,通常采用分维技术,通过一种递归模式,引入随机变量,实现对这类景物的造型。即初始输入只用一些稀疏的数据定义景物外观,通过递归造型,景物的外观由粗糙逐渐变得细致,其细节可以随机地无限增加下去。碎面表面(Fractal Surface)算法就是这种方法的典型代表。在模拟动态景物如云、火、水等方面,粒子系统(Particle System)方法取得了极大的成功。它的基本思想是用许多简单的微小粒子作为基本元素来表示一个不规则的模糊物体。这些粒子都赋予一定的“生命”,它们在系统中都经历“出生”、“运动和生长”及“死亡”三个阶段,构成了一幅动态进化的画面。近年来,用计算机图形在表现布料、衣物、海浪、森林等方面卓有成效,已经达到真假难辨的地步。

4、集图形、文字、数字和声音于一体的多媒体技术的重要发展,将进一步推动某些专题作深入研究

如图形信息数据化、图形数据压缩技术,视频(动画)技术等,已取得了许多重要成果,并已投入应用。

在 CAD 技术方面的发展趋势是:集成化、网络化、智能化、多媒体技术化。

CAD 技术的集成化主要体现在由过去的单一功能变成为 CAD/CAM/CAPE(计算机辅助生产工程)一体化功能,进而能支持产品发展的整个生命周期,把产品的计划、构思、设计、仿真、制造、组装、测试以及文档的产生和管理等各个环节,集成在一个统一的系统中。

网络化是指工作站之间实现联网,成为分布式、开放式的工作环境,实现信息和资源在更广的范围内共享。

智能化的 CAD 系统,将把由知识库和推理机组成的专家系统引入 CAD 系统,使自动设计程度在 CAD 应用中大大提高。

多媒体技术将在 CAD 中得到广泛应用,工程中的大量图纸可以直接输入机内存贮,产品可以进行三维旋转和缩放的交互设计,可以进行建筑物外形设计,可以直接观察灯光效果,并配以音响进行比较等。设计是在全电子图纸方式下进行的。

1.3 图形学中坐标系

1.3.1 三级坐标系

图形的输入和输出都是在一定的坐标系下进行的。为了提高图形处理的效率和便于用户理解,输入输出的不同阶段需要采用不同的坐标系。计算机图形学中的坐标系基本上有三级:

1、世界坐标系(World Coordinate System, WC)

用户原始应用的坐标系,有直角坐标系、极坐标系、对数坐标系、球坐标系、圆柱坐标系等,称为用户坐标系。其中直角坐标系(笛卡尔坐标系)是图形学中最常用的最基本的坐标系,可以是二维,也可以是三维,又称为世界(或宇宙)坐标系。世界坐标系分为左手坐标系和右手坐标系两种。坐标轴不受原始图形输入输出有效幅度的限制,其取值范围可以是整个实数域。各坐标轴的单位长度可以相等,也可以不等;不过一般均取相等的单位长度。如图 1.3。

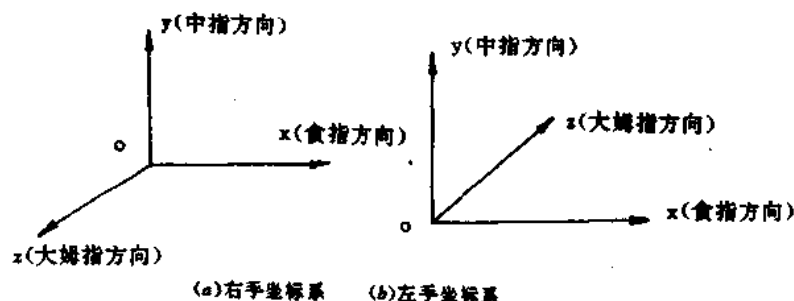


图 1.3 世界坐标系(直角坐标系)

世界坐标系是与输入设备无关的坐标系。由于绝大多数图形基本软件都采用世界坐标系,若采用非直角坐标的用户坐标系,则在启动基本软件之前,应先将其变换成直角坐标系。如 GKS 采用的就是世界坐标系,在 GKS 基础上开发的应用程序,可以使用其它类型的用户坐标系统(如极坐标系),但在进入 GKS 前应通过变换先进入世界坐标系。

2. 规格化设备坐标系 (Normalized Device Coordinate System, NDC)

这也是与输入输出设备无关的坐标系,是左手直角坐标系。为了提高图形应用程序的可移植性,约定坐标轴的取值范围是从 0.0 到 1.0。所以用户图形在 WC 中的坐标可经过转换变成 NDC 中的坐标。当然, NDC 可以是二维的,也可以是三维的。坐标轴单位长度可以是相等的或不等的,一般均取相等的为好。

3. 设备坐标系 (Device Coordinate System, DC)

这是与具体输入输出设备有关的坐标系,有二维的(如显示器屏幕, $Z=0$)也有三维的(如绘图仪)。由光栅图形显示器屏幕上的象素点组成的象素坐标系,就是 DC 中的一种。其坐标轴的取值范围由显示器的分辨率决定,为整数域。按设备坐标系的坐标画图形,应能在对应的具体设备上输出该图形。

1.3.2 从 WC 到 NDC 再到 DC 的坐标变换

为了说明坐标变换,不妨以二维为例($Z=0$),如图 1.4 所示。

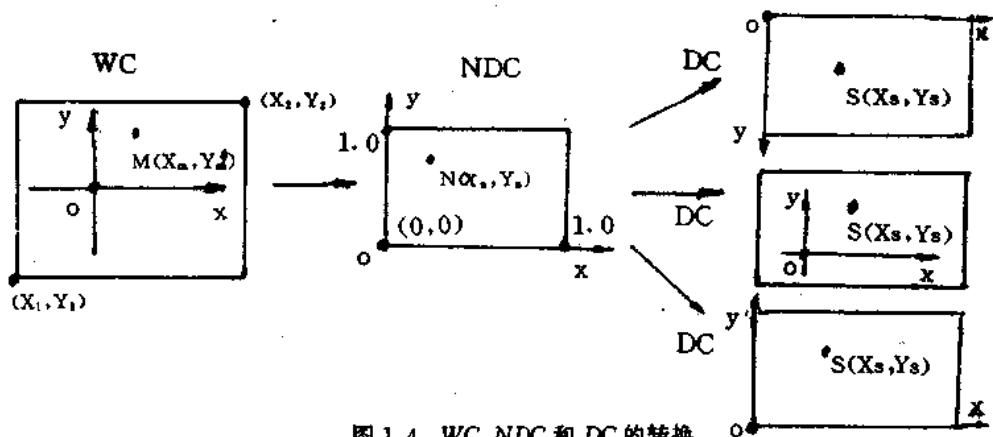


图 1.4 WC、NDC 和 DC 的转换

1. 从 WC 到 NDC 的坐标转换

在 WC 中的用户图形一般都是有限的,设在一矩形范围内,矩形的左下角和右上角的坐标分别为 (X_1, Y_1) 、 (X_2, Y_2) ,则用户图形区的最大范围为 $(X_2 - X_1) \times (Y_2 - Y_1)$ 。设 $W = \max(X_2 - X_1, Y_2 - Y_1)$

则 WC 中一点 $M(X_m, Y_m)$ 到 NDC 中的一点 $N(X_n, Y_n)$ 的坐标变换公式为

$$\left. \begin{aligned} X_n &= (X_m - X_1) / W \\ Y_n &= (Y_m - Y_1) / W \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

2. NDC 到 DC 的坐标变换

因为 DC 是与具体的设备有关的,所以随具体设备的不同而不同。现以显示器屏幕的象素坐标系为例,来说明从 NDC 到 DC 的坐标变换。设某图形显示器的分辨率为 $U \times V$,则它的象素坐标系整数值范围为 $(U-1) \times (V-1)$,如图 1.5 所示。NDC 中一点 $N(X_n, Y_n)$ 到 DC 中的一点 $S(X_s, Y_s)$ 坐标变换公式为

$$\left. \begin{aligned} X_s &= \text{ROUND}((U-1) * X_n) \\ Y_s &= (V-1) - \text{ROUND}((V-1) * Y_n) \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

ROUND 是实现取整。

1.4 TURBO PASCAL 图形功能

1.4.1 图形软件类型

可供开发图形应用程序的图形支撑软件大体上有三类：

(1) 用现有的某种高级语言写成的子程序包。

用户编写应用程序时，只要按高级语言的规定调用所需的子程序生成图形就是。这类系统很多，国际标准 GKS 文本，就是子程序包的形式。这种程序包能实现图形输出设备的各种基本绘图及显示功能，能实现交互设计及处理。这类图形软件系统，基本上是一些用高级语言写成的子程序，凡配有该高级语言的计算机均能运行，因此具有便于移植、推广的优点。但执行速度较慢，效率较低。

(2) 具有图形功能的高级语言。

多数高级语言都具有图形功能，尤其是 C 语言和 PASCAL 语言的图形功能都很强。如果某种高级语言没有图形功能，要使其扩充后具有图形生成功能，则要求对原语言编译系统必须很熟悉，实现起来工作量大。这种图形软件，不可移植，但系统比较简练、紧凑，执行速度快。

(3) 专用的图形生成语言。

这是一种为某设备提供的用于开发该设备的专用图形语言。如果要求简单，可采取在多功能子程序包的基础上，加上命令语言生成。如果需要为某设备配置综合功能强的图形生成语言，且要求执行速度快，则应配置完整的编译系统。这种功能强的图形生成语言研制时所需的工作量大，移植性差。但比上述简单命令语言功能强得多，比子程序包执行速度要快得多。

1.4.2 TURBO PASCAL 的图形功能

为了更好地配合上机实践，考虑到 PASCAL 语言在教学中很普及，本书选择了 TURBO PASCAL 语言作为描述算法和实践的工具。

TURBO PASCAL 从 4.0 版起，大大地增强了图形功能。它以标准单元(子程序库)的形式提供了大量的过程和函数。标准单元有 System、Dos、Overlay、Crt、Printer、Graph、Turbo3 和 Graph3 八个，其中 Graph 单元是一个快速而强大的图形子程序库，为使用者充分利用 PC 机图形功能提供了一个强有力的工具。它实现了独立于设备的图形处理程序，支持 CGA、EGA、Hercules、AT&400、MCGA、3270PC、VGA 及 8514 图形卡，是一个很好的基本图形软件。附录二提供了所有标准单元的过程与函数，这对上机实习有帮助。

现举一例子，说明 Graph 单元的应用。

例：试编写用不同颜色在屏幕上画若干个同心圆的程序。

```
PROGRAM a;  
USES GRAPH;
```

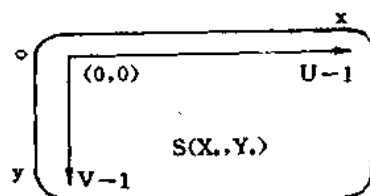


图 1.5 分辨率为
 $U \times V$ 的象素坐标系