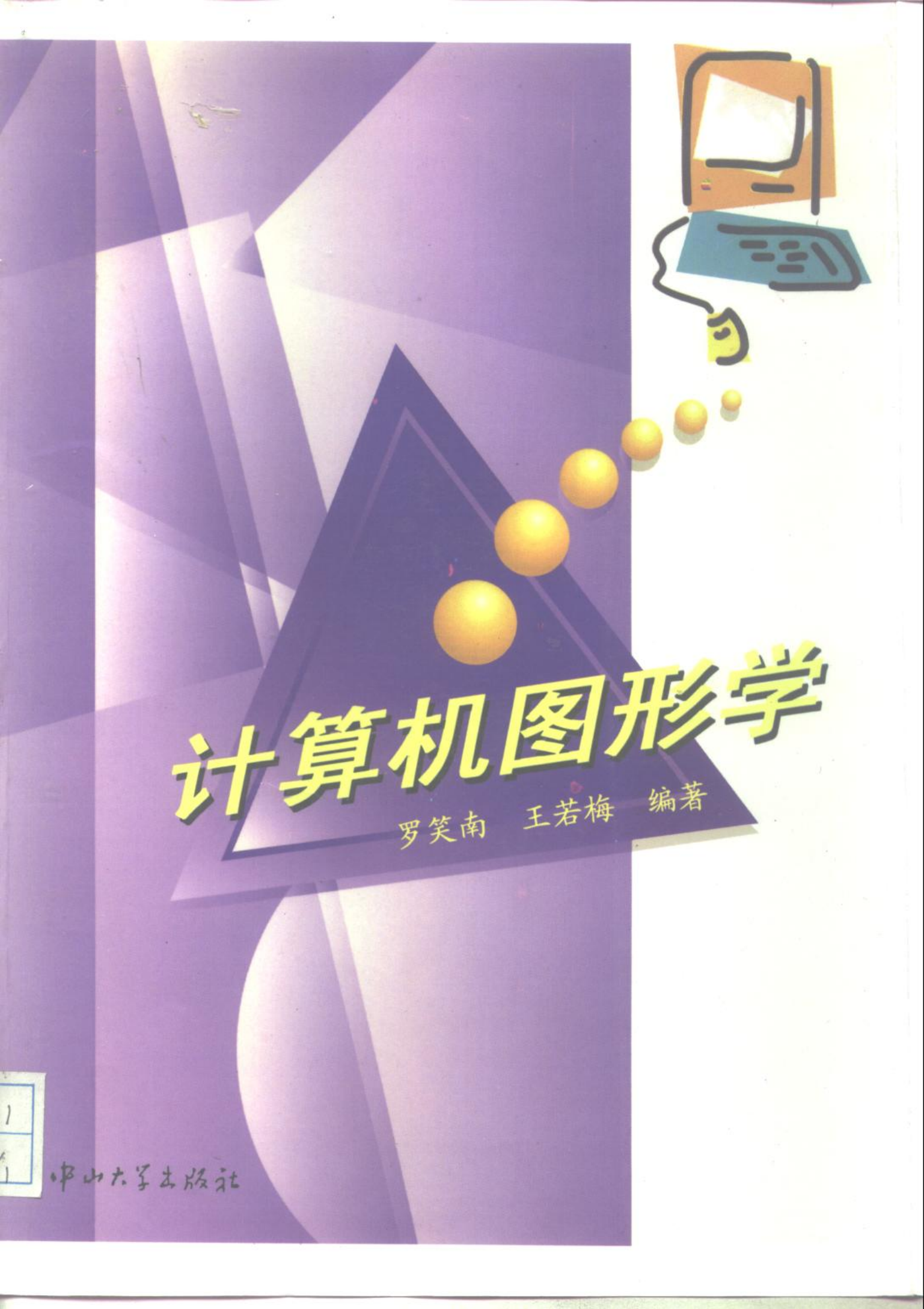




计算机图形学

罗笑南 王若梅 编著

中山大学出版社

979.01
LXN/1

计算机图形学

罗笑南 王若梅 编著

中山大学出版社

039902

版权所有 翻印必究

计算机图形学

图书在版编目 (CIP) 数据

计算机图形学/罗笑南, 王若梅编著. —广州: 中山大学出版社, 1996. 10

ISBN 7-306-01220-7

I. 计…

II. ① 罗… ② 王…

III. ① 计算机 ② 图形系统 ③ 基本算法

IV.

JSS09/28

中山大学出版社出版发行

(广州市新港西路 135 号)

中山大学印刷厂印刷 广东省新华书店经销

787×1092 毫米 16 开本 20.125 印张 46.06 万字

1996 年 10 月第 1 版 1996 年 10 月第 1 次印刷

印数: 1-3000 册 定价: 25.00 元

内 容 提 要

本书系统地介绍了计算机图形学的基本算法和计算机图形系统的基本结构，特别是对于直线和直线图形、多边形填充、二次曲线、裁剪、自由曲线曲面、图形变换、图形消隐、图形计算、图形数据结构的基本思想和主要算法作了较为详细的介绍，给出了算法的类 C 描述，其中许多算法是当前计算机图形领域最先进的成果，并且在计算机的实际应用中被广泛采用。

本书内容适中，简明扼要，概念清楚，含有大量例题，每章后面配有习题，帮助读者学习和巩固已学过的知识。

本书可作为高等院校本科生、研究生和大专生学习计算机图形学课程的教材，也可以为从事计算机应用的工程技术人员参考使用。

前 言

随着计算机技术的飞速发展和计算机应用的不断普及,有关计算机图形学的理论和方法也越来越多地被实际应用,更多的人员需要掌握计算机图形学的基本知识。现在,作为商品的图形软件和硬件能够方便地生成各种线画图形和自然景物的真实感图象,计算机图形学的应用已深入到商业、医疗、广告以及娱乐行业中。

计算机图形学是近年来迅速发展,广泛应用的新兴学科,它主要研究用计算机进行图形输入、输出、表示和运算的基本原理,本书共分10章,第1章介绍了计算机图形学的有关概念和常用的输入/输出设备;第2章介绍了生成直线的基本方法和特殊直线的处理方法;第3章介绍了多边形的概念和多边形上的填充算法;第4章对于圆弧的生成算法作了详细介绍,并且介绍了二次参数曲线的表达式;第5章介绍了关于裁剪的基本方法;第6章重点介绍了自由曲线和曲面的基本概念,讨论了生成曲线和曲面的有效方法和技巧;第7章介绍了图形变换的基本方法;第8章介绍了基本的图形计算和图形的数据结构;第9章讨论了真实图形的消隐与显示;最后在第10章讨论了图形系统的总体设计。全书力求内容简洁,通俗易懂,详细介绍了算法的基本思想后给出了完整的算法描述。

为便于学习,书中还有大量的习题,希望学生通过学习本课程,掌握计算机图形学的基本原理和基本方法。

本书的作者长期从事计算机图形方面的研究,书中许多概念和方法是实际应用中的成果。书中第1章至第5章,第9章至第10章由王若梅编写,第6章至第8章由罗笑南编写。本书的编写与出版,得到了中山大学出版社和中山大学计算机系的大力支持和李玉杏老师的热情帮助,在此谨向他们表示衷心的感谢。

本书的出版,作者十分希望能得到广大读者的认可;希望与广大读者和讲授此课程的老教师们共同切磋。如有不当之处,恳请大家斧正。

目 录

第1章 绪论	(1)
1.1 计算机图形学的概念	(1)
1.2 计算机图形学的发展	(2)
1.3 计算机图形学的应用	(4)
1.4 常用的图形输入/输出设备	(5)
1.4.1 输入设备	(6)
1.4.2 输出设备	(8)
1.5 计算机图形系统	(13)
习题	(14)
第2章 直线和直线图形	(15)
2.1 直线以及直线的绘制	(15)
2.2 生成直线的几种常用算法	(16)
2.2.1 逐点比较法	(16)
2.2.2 数值微分法	(22)
2.2.3 Bresenham 算法	(24)
2.3 线宽和线型	(29)
习题	(33)
第3章 多边形	(35)
3.1 多边形的概念	(35)
3.1.1 凸多边形与凹多边形	(35)
3.1.2 多边形的描述	(35)
3.2 多边形的填充	(36)
3.2.1 点是否在内部的检验	(36)
3.2.2 连贯性原理	(38)
3.3 多边形填充算法	(40)
3.3.1 扫描线算法	(40)
3.3.2 边填充算法	(45)
3.3.3 种子填充算法	(48)
3.4 反走样基础	(53)
3.4.1 提高分辨率	(54)

3. 4. 2 简单的区域反走样算法	(54)
3. 4. 3 卷积积分与反走样算法	(55)
3. 4. 4 半色调技术	(56)
习题	(57)
第4章 二次曲线	(58)
4. 1 圆弧的逐点插补法	(58)
4. 1. 1 逐点插补法基本思想	(58)
4. 1. 2 判别函数	(59)
4. 1. 3 象限判别	(61)
4. 1. 4 如何判别终点	(61)
4. 2 圆弧的正负法	(66)
4. 3 圆弧的 Bresenham 算法	(69)
4. 4 椭圆的生成算法	(73)
4. 5 二次曲线的参数拟合法	(75)
4. 5. 1 二次曲线的一般参数方程	(76)
4. 5. 2 二次曲线的分类	(77)
4. 6 圆弧线宽的处理	(82)
习题	(83)
第5章 裁剪	(84)
5. 1 窗口视图变换	(84)
5. 2 二维裁剪	(85)
5. 3 Sutherland - Cohen 分割线算法	(87)
5. 4 中点分割算法	(91)
5. 5 一般凸多边形窗口的二维线裁剪	(95)
5. 6 多边形裁剪	(97)
5. 7 凹区域裁剪——Weiler - Atherton 算法	(105)
5. 8 字符裁剪	(108)
习题	(108)
第6章 自由曲线与曲面设计	(110)
6. 1 Bézier 曲线	(110)
6. 1. 1 Bézier 曲线的定义与性质	(110)
6. 1. 2 二、三次 Bézier 曲线	(113)
6. 1. 3 n 次 Bézier 曲线应用及变型	(124)
6. 2 拟合、插值与样条概念	(130)
6. 2. 1 数据拟合与最小二乘法	(131)
6. 2. 2 多项式插值及参数化	(137)

6. 2. 3 样条函数概念	(144)
6. 3 二、三次参数样条曲线	(156)
6. 3. 1 参数连续和几何连续概念	(156)
6. 3. 2 二次参数样条曲线	(159)
6. 3. 3 三次参数样条曲线	(166)
6. 4 B 样条曲线	(181)
6. 4. 1 定义与性质	(181)
6. 4. 2 二次和三次 B 样条曲线及其应用	(183)
6. 4. 3 非均匀 B 样条曲线	(192)
6. 4. 4 参数曲线段的一般递推式	(193)
6. 5 Bézier 曲面及其拼接	(195)
6. 5. 1 矩形域上的 Bézier 曲面	(195)
6. 5. 2 三角形域上的 Bézier 曲面	(198)
6. 5. 3 Bézier 曲面拼接应用	(201)
6. 6 Coons 曲面	(204)
6. 6. 1 双三次 Coons 曲面	(204)
6. 6. 2 布尔和形式的 Coons 曲面	(206)
6. 7 B 样条曲面	(207)
6. 7. 1 B 样条曲面一般形式	(207)
6. 7. 2 三种双三次参数曲面片等价表示	(209)
习题	(211)
第 7 章 图形变换	(214)
7. 1 图形变换中的数学方法	(214)
7. 2 二维图形的几何变换	(214)
7. 2. 1 平移变换	(215)
7. 2. 2 比例变换	(215)
7. 2. 3 旋转变换	(216)
7. 2. 4 对称变换	(218)
7. 2. 5 基本图形元素变换	(219)
7. 3 三维图形的几何变换	(223)
7. 4 投影变换	(229)
7. 4. 1 平行投影	(230)
7. 4. 2 透视投影	(234)
7. 4. 3 透视投影技巧	(237)
习题	(239)
第 8 章 图形计算与图形的数据结构	(241)
8. 1 交点的计算方法	(241)

8. 1. 1	二直线段的交点	(241)
8. 1. 2	直线段与曲线段的交点	(242)
8. 1. 3	曲线与曲线的交点	(245)
8. 1. 4	直线与平面的交点	(246)
8. 1. 5	直线与曲面的交点	(246)
8. 2	交线的计算方法	(247)
8. 2. 1	平面与曲面的交线	(247)
8. 2. 2	曲面与曲面的交线	(248)
8. 3	包含与重叠	(250)
8. 4	凸包的计算	(255)
8. 5	轮廓线	(257)
8. 6	等值线	(258)
8. 6. 1	等值线与网格的边相交的条件	(259)
8. 6. 2	等值线的起点、终点及分枝	(259)
8. 7	图形的表示法	(260)
8. 7. 1	数学表示的若干方法	(260)
8. 7. 2	其它表示方法	(262)
8. 8	图形的数据结构	(263)
8. 9	图形数据库	(267)
	习题	(268)
第 9 章	图形消隐	(270)
9. 1	图形消隐处理的基本原理	(270)
9. 2	凸多面体的消隐处理	(270)
9. 2. 1	凸多面体消隐处理	(271)
9. 2. 2	Roberts 方法	(272)
9. 3	一般平面立体的消隐处理	(274)
9. 3. 1	平面立体的数据结构	(274)
9. 3. 2	平面立体的消隐过程	(275)
9. 4	光栅图形消隐	(277)
9. 4. 1	深度存储算法	(277)
9. 4. 2	扫描线算法	(277)
9. 4. 3	区间连贯性算法	(278)
9. 4. 4	Warnock 方法	(279)
9. 5	曲面的消隐	(281)
9. 5. 1	曲面立体的消隐	(281)
9. 5. 2	高程线算法	(282)
9. 5. 3	参数曲面的消隐	(283)
9. 5. 4	外形线消隐	(283)

9. 6 绘制.....	(284)
9. 6. 1 简单的光照模型.....	(284)
9. 6. 2 透明.....	(288)
9. 6. 3 阴影.....	(289)
9. 6. 4 三维仿真显示.....	(290)
习题.....	(291)
第 10 章 图形系统的总体设计	(292)
10. 1 图形系统设计原则	(292)
10. 2 图形系统设计的基本问题	(292)
10. 3 图形系统软硬件配置	(295)
10. 4 图形要素及图形运算	(296)
10. 5 人机交互功能	(298)
10. 5. 1 用户接口的设计.....	(301)
10. 5. 2 基本交互任务组合.....	(302)
10. 5. 3 用户接口软件.....	(305)
习题.....	(308)
参考文献.....	(309)

第1章 绪 论

计算机技术的飞速发展,使得计算机的应用日益普及和深入。随着计算机硬件技术、网络技术以及多媒体技术的发展,计算机图形学领域的理论与方法已被越来越多的从事计算机应用的人员所重视。

这一章中,我们将讨论计算机图形学的基本概念、计算机图形学的发展和应用以及图形系统常用的输入/输出设备。

1.1 计算机图形学的概念

计算机图形学是研究怎样用计算机生成、处理和显示图形的学科。

在实际应用中,人们往往需要根据所获得的有关物体的数据和几何模型,在计算机中将这个物体显示出来并且进行存储,然后在计算机中对这个物体的模型进行修改、完善以及有关的操作。在这个处理过程中涉及到计算机中图形的表示、表现图形所需要的预处理、经处理后的图形表示以及人一机交互的图形处理。整个过程中的具体技术问题就是计算机图形学领域中所研究的问题。计算机图形学的理论和方法就是(提供给人们以求)解决这些问题的理论依据以及相关的技术途径。

为了生成图形,需要有原始数据或数学模型,例如工程技术人员的构思数据、地形地貌的判读数据、机械零件的方案模型以及企业经营的统计数据等。这些数字化的数据经过计算机处理后变成生动直观的图形,输出供人们使用。

在应用中还有另外一个术语叫做图象。它是将客观世界中原来存在的物体映象处理成新的数字化图象,与之相应的技术就是图象处理。其应用如卫星测试中的气象卫星云图处理、人体的CT扫描技术、工业中的射线探伤等。在这一具体技术中的关键问题是如何去噪声,如何进行数据压缩以便于传输和存储。

与图象处理密切相关的另一门技术是模式识别。它所研究的问题是如何对所输入的图象进行分析和识别,找出其中蕴含的内在联系或抽象模型。其应用如邮政分检设备扫描信封上手写邮政编码的识别、工业机器人识别传输带上零件的品种和方位以及军事领域中关于地图信息中地形地貌和地物的识别等。

这三门学科相互联系又互相区别,计算机图形学着重讨论怎样将数据和几何模型变成图形,图象处理重点在于图象的压缩存储以及去噪问题,而模式识别则讨论怎样从图象中提取数据和模型。这些关系可如图1-1说明。

图中还有一门专门研究几何模型和数据处理的学科,这就是计算几何。它着重讨论的是几何形体的计算机表示、分析和综合,研究如何方便灵活、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,等等。

这些学科相互渗透、相互沟通，构成了计算机图形、图象以及模式识别等学科的整体体系。

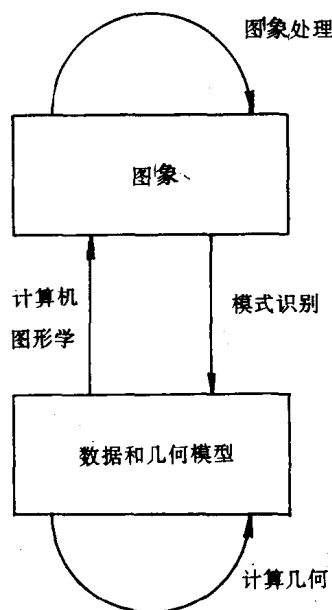


图 1-1 相关学科的关系

1. 2 计算机图形学的发展

计算机图形的应用要追溯到 50 年代初。当时作为美国麻省理工学院 (MIT) 旋风 1 号 (Whirlwind I) 计算机的附件—图形显示器诞生了。它是用一个类似于示波器所用的阴极射线管 (CRT) 来显示一些简单的图形。当时的计算机多由电子管组成，用机器语言编程，主要应用于科学计算，所以，这些图形设备仅作为输出使用。当第二次世界大战一结束，美国国防部就开始筹划如何预防远程轰炸机携带核弹突袭美国本土问题，决定建立一个实时信息控制系统，监视北美整个空域和地域，使空军总部的指挥员能清晰地看到空中目标和地面机场的动态情景，及时准确地指挥作战，这就是 MIT 的林肯实验室在“旋风”计算机上开发的美国战术防空系统 SAGE (Semi Automatic Ground Environment)。具体的部署是研制计算机通信网和在全国布置 100 多个图形显示站，利用十九英寸 (482.6mm) 阴极射线管显示各个军分区的地理边界、雷达搜索目标的位置和航迹、拦截点位置以及计算机生成的其它信息，指挥员可以用光笔在屏幕上指出被确定的目标。这一尝试对交互图形显示技术的发展无疑起了巨大的带头作用。

计算机图形 (Computer Graphics) 这个术语是在 1962 年美国麻省理工学院林肯实验室的 Ivan E. Sutherland 发表的一篇题为“Sketchpad: 一个人—机通信的图形系统”的博士论文中首次使用。他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，从而确立了计算机图形学作为一个崭新的学科分支的独立地位。

从 50 年代初到 60 年代中, 麻省理工学院积极从事计算机辅助设计与制造技术的开拓性研究。1952 年在它的伺服机构实验室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了飞机工厂, 同时诞生了大型精密数控绘图机。

1964 年, 孔斯 (S. Coons) 提出了用小块曲面片组合表示自由型曲面, 使曲面片边界上达到任意高阶连续的理论方法, 称为孔斯曲面。此方法受到了工业界和学术界的极大重视。法国雷诺公司的贝塞尔 (P. Bézier) 也提出了 Bézier 曲线和曲面, 他们被称为计算机辅助几何设计的奠基人。

到了 70 年代, 计算机图形技术的应用进入了实用化的阶段, 交互式图形系统在许多国家得到应用; 许多新的更加完备的图形系统不断被研制出来。除了在军事上和工业上的应用之外, 计算机图形学还进入教育、科研以及事务管理等领域。由于图形设备昂贵、功能简单以及缺乏相应的软件支持, 直到 80 年代, 计算机图形学还只是一个较小的学科领域。

作为计算机图形学中关键的设备—图形显示器, 也随着计算机技术的发展不断完善。60 年代中期使用的是随机扫描的存储器, 它具有较高的分辨率、较高的对比度以及良好的动态性能。但为了避免图形闪烁, 通常需要以每秒 30 次左右的频率不断刷新屏幕上的图形, 因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的数据和指令, 还要有一个高速处理器。到了 70 年代中期, 随着价廉的固体电路随机存储器的出现, 可以采用基于电视技术的光栅图形显示器, 在这种显示器中, 被显示的图形都按像素被一一存放在刷新缓冲存储器中, 按光栅扫描方式以每秒 30 次的频率对存储器进行读写以实现图形刷新而避免闪烁。正是由于光栅图形显示器的出现, 使得计算机图形生成技术和电视技术相衔接, 图形处理和图象处理相渗透, 从而使得计算机生成的图形逼真、形象, 也推广了计算机图形技术的使用。同时, 作为交互式图形技术中的另一关键设备—图形输入设备也得到了发展。

随着计算机系统、图形输入/输出设备的发展, 计算机软件也不断更新和完善, 目前已发展了多种支持计算机图形技术的软件系统。如用某种计算机语言写成的子程序包, 如 GKS, PHIGS, GL 等, 用户使用时只需按相应计算机语言的规定调用所需的子程序即可生成各种图形, 这种图形软件基本上是用计算机语言写成的子程序集。在这类程序包基础上开发的图形程序便于移植和推广, 但相对来说执行速度慢、效率低。再有就是在某种计算机语言基础上进行扩充, 使其具有图形生成和处理功能。目前使用的如 Turbo C, Turbo PASCAL 等均带有相应的图形函数库, 可以直接使用图形函数生成各种图形。用这类语言编写的图形软件简洁、紧凑, 执行速度快。此外就是专用的图形系统, 这种专用的图形系统具有很强的功能, 执行速度以及效率都高, 但是系统开发的工作量大, 且移植性较差。

随着图形系统的发展, 提出了一个图形软件功能标准化的问题。在 1974 年美国国家标准化局 (ANSI) 举行的 ACM SIGGRAPH, 一个“与机器无关的图形技术”的工作会议上, 就提出了制定有关标准的基本原则, 此后, 美国计算机协会成立了一个图形标准化委员会, 开始制定和审批有关的标准。1977 年该委员会提出了称为“核心图形系统” (Core Graphics System) 的规范, 1979 年又公布了修改后的第二版, 增加了包括

光栅图形显示技术在内的许多功能。随后,由 ISO 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 Kernel System),程序员层次交互式图形系统 PHIGS (Programmer's Hierarchical Interactive Graphics System) 等,有些是面向设备的驱动程序包,有些是面向用户的图形生成及管理程序包,其主要出发点是实现程序的可移植性。当然要使图形软件与设备及系统软件绝对无关是十分困难的,所做的也只是对源程序作适当的修改即可在不同的图形系统中使用。

我国开展计算机图形技术的研究和应用开始于 60 年代。近年来,随着改革开放以及我国方针政策的落实,科学技术得到发展应用,计算机图形学的理论和技术迅速发展,很快取得了可喜的成果。在硬件方面,我国陆续研制出多种系列和型号的绘图机、数字化仪和图形显示器,其技术指标居国际先进水平,已批量投入市场;具有高分辨率的光栅图形显示器的个人计算机、全色的图形图像处理卡、国际上广泛使用的 Sun SPARC 系列工作站、HP 9000/700, 800 系列工作站等在我国也有定点工厂生产,鼠标等交互设备也已在国内生产。

与计算机图形学有关的软件的开发和应用也迅速发展。在国家重点攻关项目、863 高新技术和国家自然科学基金项目中有许多关于计算机图形软件的研究题目。其中二维交互绘图系统、三维几何造型系统等已受到国内外重视,在图形生成、线段及多边形裁剪、计算机辅助几何设计、光线跟踪和辐射算法产生图形等技术方面也取得了可喜的成果。今天,在电子、机械、航空航天、建筑、造船、轻纺、影视等方面的计算机图形技术的应用,已取得了明显的社会效益和经济效益。

计算机图形学的理论和技术在不断发展,仍有许多问题还有待我们去研究解决。

1.3 计算机图形学的应用

计算机图形学技术在近 20 年内得到了广泛的应用,目前主要应用领域有:

1. 计算机辅助设计、制造 (CAD/CAM)

这是计算机图形学最重要的一个应用领域。它包括机械、电子、建筑、航空航天等方面。在机械加工制造中,它取代了传统的绘图板加丁字尺的传统设计方法,可以迅速完成绘图以及总体方案的优化和细节工作;在电子工业中,利用计算机图形学技术完成集成电路、印刷电路板、电子线路及网络分析,对于复杂的大规模或超大规模集成电路版图根本不可能由人工完成设计和绘制,而用计算机图形系统不仅能完成设计及绘制,而且时间短,准确可行;在航空航天领域,用计算机图形系统来对飞机的整体进行设计和模拟,包括外型设计、内部零件安装以及机翼受力分析等,更是完成了人工在短时间所完成不了的工作。此外,在纺织工业中计算机辅助设计的应用也十分广泛,如利用计算机进行服装 CAD 设计,可以准确地完成服装放码、排版、款式设计以及量身定做等功能;又如计算机织物印染 CAD 系统,完成织物花色设计、分色、制板功能,起到人工完成所达不到的效果。

2. 地形地貌和自然资源图

利用计算机图形系统代替以往的表册、照片、图纸等用以记录地区重力测试数据、高山和平原地形、河流与湖泊水系、道路桥梁、城镇及农村、农田林地植被、国界地区边界等文字和照片信息，而是利用上述数据绘制出反映实际状况的平面地形图、三维地貌图，直观、生动地反映内在联系和规律，以便进行宏观决策。

3. 科学技术及事务管理

利用图形系统绘制数学、物理或经济信息中的二、三维图。常见的有直方图、扇形图、工作进程图以及各种统计管理图表等，这些都是用简明直观的方式直接提供形象化的数据以及变化趋势而取代呆板枯燥的文字信息，受到使用者的欢迎。

4. 过程控制及系统环境模拟

在石油化工、金属冶炼等过程控制中，人们通过计算机图形技术生成生产控制过程动态画面，使得管理人员可以从图上直接获得反映生产状况的图像和数据，从而实现对设备和生产有效的监视和控制；在机场的飞行监测与调度管理中，利用计算机图形技术绘制机场地形地貌图以及飞行航迹图，从而有效、快速、准确地调度，调整空中交通。

5. 计算机辅助教学

它利用图形信息形象、直观和生动的特点应用于教学系统中，使学习过程充满趣味，提高学习效果，随着网络技术与计算机的普及，计算机辅助教学将深入到家庭和幼儿教育。

6. 电子印刷及办公自动化

图文并茂的电子排版系统代替了传统的手工铅字排版，极大提高了工作效率，随着多媒体技术的发展，可视电话、电视会议以及文字图表等编辑拷贝正迅速普及到家庭与办公室，人们可以利用远程通信及多媒体技术实现异地沟通，及时获取信息，改变传统的工作生活方式，获得更高的效率。

7. 艺术模拟

广泛地用于艺术品的制造，如图案、花纹、工艺品外形设计及传统的油画、书法等；还在电影电视、广告制作中得以应用，增加了画面的真实与特技。以往的手工绘制动画片是一种极细致和艰巨的创作，每放映一秒钟的电影需要拍摄 24 张画面，而每一张画面都要经过一系列的复杂工序，利用计算机进行动画设计可以很容易地完成原画与中间画的制作，计算机动画已是计算机图形学的一个重要分支。

8. 科学计算的可视化

科学计算的可视化通过对空间数据场构造中间几何图像或绘制二、三维图像、直接用图形反映科学计算的结果，有助于科技人员的理解与检查，如有限元分析、分子原型构造以及地震、大气科学等领域。

1. 4 常用的图形输入/输出设备

图形系统的设备可分为图形输入设备和图形输出设备，下面简单介绍一下每种设备的功能及特点。

1. 4. 1 输入设备

输入设备从功能上可分为六种：

- (1) 输入一个点的坐标即定位，对应的典型设备如叉丝、指姆轮；
- (2) 输入一系列点的坐标即笔划，对应的典型设备如图形输入板；
- (3) 输入一个整数或实数即数值，对应的典型设备有数字键盘；
- (4) 根据一个非负整数得到某一种选择，对应的设备如功能键、光笔；
- (5) 通过一种拾取状态来识别一个显示着的图形，对应的典型设备有触摸屏；
- (6) 输入一串字符，对应的设备如字符键盘。为了便于了解，下面介绍几种常用的输入设备。

1. 键盘

这种输入设备同一般控制台打字机的键盘相似，除了配有 ASCII 编码键外，还设有一些命令控制键和功能键，用来完成图形操作的某一特定功能，如指定光笔工作方式，指定几何图形变换方式以及选择菜单等。

2. 坐标数字化仪

这是一种用游标来拾取图形坐标，实现将用户图形数据输入到计算机中的一种设备，可以分为机械式、超声波式和全电子式等类型。

(1) 机械式坐标数字化仪。这种坐标数字化仪是用机械导轨传动、光栅编码计数的，其结构图如图 1-2。

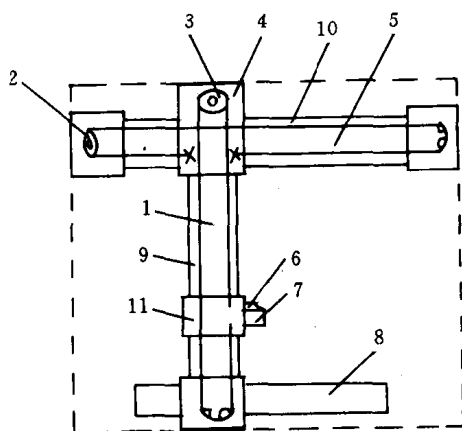


图 1-2 机械数字化仪

其工作原理：推动 Y 向导轨①实现 X 向运动，推动 Y 向小车②实现 Y 向运动，标示器⑦上的十字线贴紧画面，十字线中心对准要读入坐标的位置，启动按键⑥，该处的坐标值即可输入到计算机中，这是由于标示器沿 Y 向移动时，通过钢丝绳⑨带动 Y 光栅读数头③上的绳轮转动，并使主光栅轮转动，产生 Y 向光电信号输出，当沿 X 方向移动时，钢丝绳⑩带动 X 光栅读数头④的绳轮转动，使 X 向的光栅产生 X 向的光电信号；光电信号相当于标示器以面板上某一点为起始点移动到当前位置所产生的脉冲数，

从而得到这两点相对距离的坐标数。

(2) 超声波式坐标数字化仪。这种数字化仪 X、Y 方向各装有一个长形超声波传感器，拾取坐标点的笔尖上装有超声波发生器，当笔尖一旦接触到板上一点时，超声波脉冲经板面传到传感器，记下超声波传到 X、Y 各边的最小时间，从而换算出两点间的距离。

(3) 全电子式坐标数字化仪。这是目前使用最多的一种，它采用的是电磁感应的工作原理。在一块布满金属网格的绝缘平面上放置一个可移动的定位设备，当有电流通过时，该设备上的电感线圈产生磁场，从而使其正下方的金属网格上产生相应的感应电流，根据产生电流的金属网格的位置来判断设备当前所处的几何位置，这个位置信息以坐标的形式传送到计算机中，实现了数字化坐标的获取。其示意图如图 1-3。

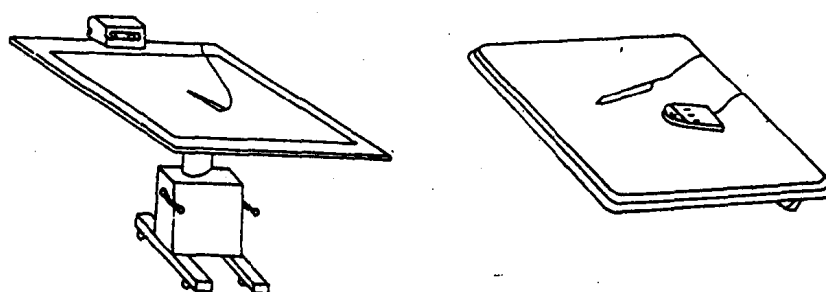


图 1-3 全电子式坐标数字化仪

3. 光笔

光笔形如圆珠笔，笔尖处开有一圆孔，使荧光屏上的光能通过它进入笔内，光笔头部有一组透镜，将收集到的光聚集在光导纤维的一个端面上，光导纤维再把光引到光笔的另一端的光倍增管，将光信号转换为电信号，经整形后输出一个合适的逻辑电平以中断信号送给计算机和显示器控制部件。如下图 1-4 所示。

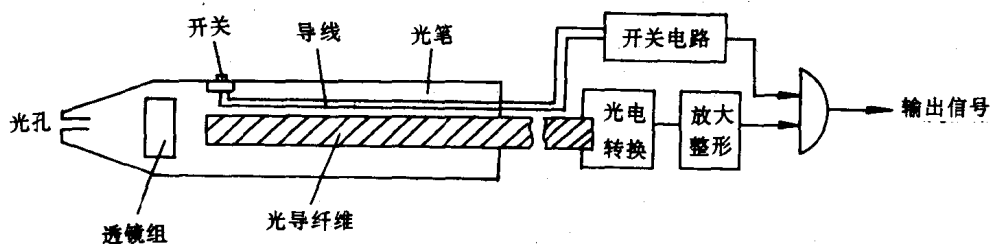


图 1-4 光笔结构

4. 触摸屏

这是一种定位设备，它是对物体触摸产生反应的屏幕。当人的手指或其它物体触到屏幕时，计算机根据触摸的位置接收到触摸信号并按软件要求进行相应处理。

触摸屏可分为电阻式触摸屏、电容式触摸屏、红外线式触摸屏以及声表面波触摸