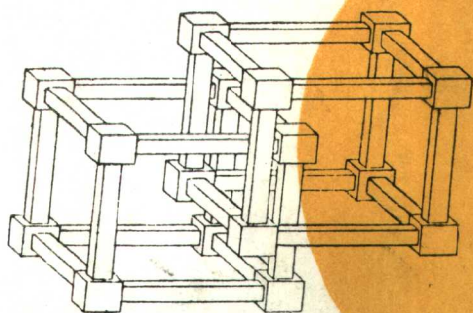


计算机绘图

许隆文 主编



机械工业出版社



计 算 机 绘 图

许隆文 主编



机 械 工 业 出 版 社

本书系统地介绍与计算机图学有关的图形生成原理、算法、数据结构以及程序设计方法。全书包括绪论；计算机图形处理系统；图形输出设备的工作原理及基本图形的生成；图形的矩阵变换；绘图程序设计；数据结构；隐藏线和隐藏面的处理；曲线与曲面；交互式计算机绘图；开窗和裁剪；浓淡及阴影；几何造型；空间距离与空间规划以及计算机辅助设计简介等十四章。

本书可作为工科各专业学生和研究生教材，也可供从事计算机绘图及辅助设计的工作者参考。

计算机绘图

许隆文 主编

责任编辑：陈建行 版式设计：胡金英
封面设计：王 伦 责任校对：熊天荣

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业许可出字第 117 号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经营

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ · 印张 $16^{3/4}$ · 插页 1 · 字数 447 千字

1989年5月北京第一版·1989年5月北京第一次印刷

印数 0,001—4,600 · 定价：12.60 元

*

ISBN 7-111-00608-9/TP·43

前 言

计算机绘图（计算机图学，Computer Graphics）是一门新兴学科，从它出现到现在已有二十多年的历史。由于它的应用几乎遍及各个领域，因而日益受到人们的重视，内容也日益充实。近年来获得迅速发展。

本书主要讨论与计算机绘图有关的算法、数据结构和程序设计方法。

学习本书应具有一定的数学基础和一定的程序设计基础。对于大学生重点讲授前七章和十四章，对于研究生重点讲授其余六章。

本书是在作者原先编写的《计算机绘图》讲义的基础上，经过多次教学实践以及多年研究工作，并参考了国内外有关资料后编写的。为了便于学习，有关的主要算法均附有 FORTRAN 语言实现的程序或流程图。本书第一、十一、十四章由石光源同志执笔，第三、六、七、十章由陆润民同志执笔，第二、四、五章由杨惠英同志执笔，第八、九、十二、十三章由许隆文同志执笔。许隆文同志是本书主编。舒明玉同志审阅了全书，提出了许多宝贵意见，在此表示谢意。

由于作者学术水平有限，书中难免有许多欠妥之处，希望广大读者批评指正。

目 录

第一章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 计算机图学的发展概况	2
1.3 计算机图学的应用领域	4
1.4 计算机绘图在我国的发展	6
第二章 计算机图形处理系统	10
2.1 计算机图形处理系统的组成	10
2.2 常用的图形输入输出设备	13
2.2.1 自动绘图机	13
2.2.2 图形显示设备	28
2.2.3 常见的图形输入设备与装置	33
2.3 自动绘图系统软件	41
2.3.1 绘图软件的组成与分类	41
2.3.2 几种典型的绘图软件系统	43
第三章 图形输出设备的工作原理及基本图形的生成	72
3.1 概述	72
3.2 自动绘图机的工作原理	74
3.3 直线的生成	76
3.3.1 逐点比较法生成直线	76
3.3.2 正负法生成直线	80
3.3.3 数值微分法生成直线	84
3.4 圆的生成	85
3.4.1 逐点比较法生成圆弧	85
3.4.2 正负法生成圆弧	92
3.4.3 DDA 法生成圆弧	95
3.5 字符的生成	100
3.5.1 点阵法	100

3.5.2	子图形法.....	102
3.5.3	编码法.....	102
第四章	图形的矩阵变换	106
4.1	概述.....	106
4.2	二维图形的矩阵变换和齐次坐标.....	107
4.2.1	二维基本变换和齐次坐标.....	107
4.2.2	二维基本变换的级联.....	120
4.3	三维图形的矩阵变换.....	125
4.3.1	三维基本变换.....	125
4.3.2	三维基本变换的级联.....	139
4.3.3	三维正投影变换.....	142
4.3.4	轴测投影变换.....	146
4.3.5	透视投影变换.....	160
第五章	绘图程序设计	177
5.1	概述.....	177
5.1.1	手工编程.....	177
5.1.2	计算机辅助编程.....	179
5.1.3	绘图软件设计中的若干问题.....	180
5.2	基本软件的程序设计.....	181
5.2.1	子程序的设计.....	181
5.2.2	圆弧子程序的设计.....	185
5.3	功能软件的程序设计.....	197
5.3.1	画正多边形子程序 POLY.....	197
5.3.2	画椭圆与椭圆弧子程序.....	200
5.3.3	几何交切子程序.....	205
5.4	应用软件的程序设计.....	212
5.4.1	机械工程图的特点及绘制方法.....	213
5.4.2	轴类零件图应用程序的设计.....	214
5.4.3	画剖面线子程序的设计.....	223
第六章	数据结构	234
6.1	概述.....	234
6.2	线性列表结构.....	235

6.2.1 线性表	235
6.2.2 数组	238
6.2.3 栈、队结构	239
6.3 链表结构	240
6.3.1 单向链表	241
6.3.2 循环链表	245
6.3.3 双重链表	246
6.4 链表的应用举例——多边形充填算法	247
6.4.1 问题的提出	247
6.4.2 多边形充填算法	248
6.5 树形结构	252
6.5.1 基本概念	252
6.5.2 二叉树	253
6.5.3 二叉树的应用——二叉排序树	257
6.6 排序及查找	259
6.6.1 排序的基本概念	259
6.6.2 排序的方法	260
6.6.3 查找	264
第七章 隐藏线和隐藏面的处理	266
7.1 概述	266
7.2 常用的几何计算方法	267
7.2.1 最小最大试验	268
7.2.2 包含性检验	269
7.2.3 求平面的法矢和平面的方程	272
7.2.4 空间两线段在投影面上投影的交	274
7.2.5 深度检验	275
7.3 平面立体消隐中常用的数据结构	276
7.3.1 三表结构	277
7.3.2 层次结构	278
7.4 平面立体的消隐算法	279
7.4.1 平面立体各表面外法线与可见性的关系	279
7.4.2 凸多面体隐藏线的消除	280
7.4.3 任意平面立体隐藏线的消除	281

7.4.4	隐藏量的分析方法	292
7.5	曲面的消隐算法	293
7.5.1	离散法	293
7.5.2	扫描网格法	295
7.6	隐藏面的消除	298
7.6.1	深度缓冲器算法	298
7.6.2	扫描线算法	300
7.6.3	面积相关算法	302
第八章	曲线与曲面	305
8.1	多项式插值	305
8.2	三次样条曲线与三次参数样条曲线	312
8.2.1	三次样条曲线	313
8.2.2	三次参数样条曲线	319
8.2.3	两种样条曲线的混合函数	322
8.3	贝塞尔曲线	325
8.3.1	贝塞尔曲线的数学表达式及其性质	325
8.3.2	贝塞尔曲线的几何作图法	330
8.3.3	三次贝塞尔样条曲线	331
8.4	B样条曲线	332
8.4.1	B样条曲线的数学表达式	333
8.4.2	二次和三次B样条曲线	334
8.4.3	三次参数曲线段的三种等价表达式	345
8.5	孔斯曲面	345
8.5.1	混合函数的性质	346
8.5.2	双三次曲面	347
8.6	贝塞尔曲面和B样条曲面	352
8.6.1	贝塞尔曲面	352
8.6.2	B样条曲面	355
8.7	等值线图	356
8.7.1	概述	356
8.7.2	离散点网格化	357
8.7.3	矩形域等值线的绘制	361

第九章 交互式计算机绘图	367
9.1 概述	367
9.2 交互式显示处理器	369
9.2.1 简单刷新式画线显示器	369
9.2.2 随机扫描存储管显示器	370
9.2.3 光栅扫描图形显示器	371
9.3 交互式绘图的基本知识	373
9.3.1 图形显示的输入技术	373
9.3.2 事件的处理	377
9.3.3 显示文件	383
9.3.4 分段的显示档案	384
9.4 交互式图形程序系统设计	385
9.4.1 简化输出模型	385
9.4.2 移植问题	386
9.4.3 系统模块化	387
9.4.4 方便的用户接口	388
9.5 交互式图形软件系统介绍	395
9.5.1 PLOT 10 IGL	395
9.5.2 GIS-1 交互式绘图程序系统	399
第十章 开窗和裁剪	412
10.1 坐标系及坐标变换	412
10.1.1 常用的坐标系	412
10.1.2 视向变换	413
10.1.3 窗口——视图区变换	416
10.1.4 透视变换	419
10.2 二维裁剪	421
10.2.1 Cohen-Sutherland算法	422
10.2.2 直线的矢量裁剪法	423
10.2.3 直线的中点分割裁剪算法	426
10.2.4 平面多边形的裁剪算法	427
10.3 三维裁剪	430
10.3.1 三维裁剪的基本概念	430

10.3.2	三维裁剪过程	430
10.3.3	用户坐标系下的三维裁剪	432
10.3.4	裁剪坐标系下的三维裁剪	434
第十一章 浓淡及阴影		438
11.1	概述	438
11.2	漫射照明	439
11.3	直接照明与镜面反射	439
11.4	透明性	441
11.5	浓淡模型的应用	443
11.6	阴影	448
第十二章 几何造型		450
12.1	概述	450
12.1.1	人-机二侧面与几何信息的完整性	450
12.1.2	线模型、面模型及体模型	454
12.1.3	体素与集合运算	457
12.2	多面体模型及其数据结构	460
12.2.1	几何信息与拓朴信息	461
12.2.2	点、线、面的树状结构与翼边结构	462
12.2.3	多面体存在条件和欧拉公式	463
12.2.4	数据结构的实例	465
12.3	表示形体的几种常见模式	467
12.3.1	对表示模式的要求	467
12.3.2	常用的表示模式	468
12.4	介绍两个几何造型系统	475
12.4.1	TIPS-1 系统	475
12.4.2	PADL 系统	483
第十三章 空间距离与空间规划		494
13.1	两形体之间的最短距离与方向	494
13.1.1	两个任意平面立体之间的最短距离及其方向	494
13.1.2	圆柱、圆锥、平面立体之间的最短距离及其方向	499
13.2	空间规划	504
13.2.1	寻找路径的问题	504

13.2.2 寻找位置问题	509
第十四章 计算机辅助设计简介	511
14.1 概述	511
14.2 计算机辅助设计系统	512
14.3 计算机辅助设计的过程	513
14.3.1 非人-机交互型设计系统	515
14.3.2 人-机交互型设计系统	518
参考文献	522
附录	524
附录一 GIS 作图菜单	524
附录二 GIS 2D 键盘交互命令表	插一
附录三 GIS 3D 专用语言及子程序包使用说明一览表	插二

第一章 绪 论

1.1 概 述

图样是表达和交流技术思想的工具，在科研和生产中应用已有长久的历史。长期以来绘图工作基本上是以手工形式来进行的，因此存在生产效率低、绘图准确度差、劳动强度大等缺点。人们很久以来一直在寻求代替手工绘图的方法，在电子计算机出现并得到广泛应用以后，这种愿望才变为现实。

制图的过程就是把组成空间物体的几何要素（点、线、面）静态的或动态的表示在平面上。把空间物体的形状转换为平面上的图形是以画法几何、解析几何及数学分析为依据，按一定的数学规律来进行的。也就是说，任何几何数据都可以用图来表示，反之，图形也可以用数字来描述。最简单的例子就是点，点可以用它的坐标值 x 、 y 、 z 来描述其空间位置并绘出其投影图和立体图。反之，根据点的投影图和立体图也可得出其坐标值，见图 1-1。由于有了图和数的联系，所以人们可以用计算机和图形处理设备所构成的计算机绘图系统来实现计算机绘图。

正如生产上绘图在设计 and 制造过程中占有重要地位一样，计

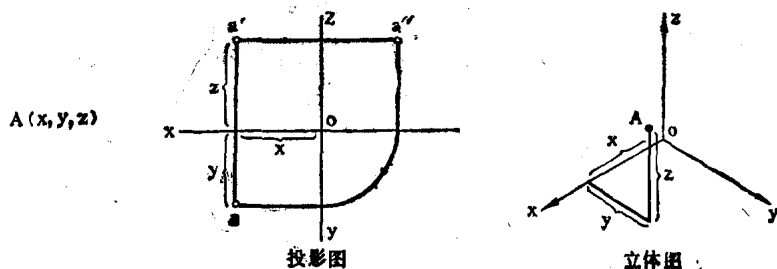


图1-1 点的数学式和图形

计算机绘图是计算机辅助设计 (Computer Aided Design 简称 CAD) 和计算机辅助制造 (Computer Aided Manufacturing) 的重要组成部分, 并且随着 CAD 和 CAM 日益广泛的应用而形成一门新的学科——计算机图学 (Computer Graphics 简称 CG)。它主要研究所表示对象的构成技术以及图形的生成和变换技术。

计算机绘图在目前可分为两类:

1) 被动式绘图 (Passive Graphics) 由人输给计算机全部绘图信息以后, 计算机控制自动绘图机输出图形; 在绘图过程中人无法进行干预。

2) 交互式绘图 (Interactive Graphics) 在绘图过程中, 图形显示在屏幕上。人可以利用键盘、光笔、台板等输入设备输入各种命令或图形数据, 以实现图形的删、增、改, 取得满意的结果后, 再进行绘图或直接复制。

1.2 计算机图学的发展概况

计算机绘图的研究开始于五十年代, 58 年美国 GERBER 公司首先试制了第一台平台式数控绘图机。然后 CALCOMP 公司于 60 年制成第一台滚筒式绘图机。从此电子计算机除了能输出数字、文字之外, 还能直接输出图形, 使被研究的对象形象地表现出来, 从而可以统观全局, 一目了然。自动绘图机诞生以后, 发展极为迅速, 各个行业广泛应用并不断提出新的要求, 目前, 它正向高精度、高速度、多功能、大型、微型、智能化等方向发展。

在五十年代, 开始为计算机配置显示图形的阴极射线管显示器, 但还不具备人机交互的功能。后来, 美国麻省理工学院的 Ivan. Sutherland 博士提出了 SKETCHPAD 系统。这一系统可以用光笔和键盘在图形显示器上实现定位、选择、画图等交互功能。计算机可以跟踪光笔, 从当前的点到指定的点之间画出直线, 或在给定圆心和半径后可自动画圆等; 还可以使一幅完整的图形通过分层调用若干子图素来构成。这些基本概念和技术是交

交互式绘图的基础。

交互式图形技术的出现促进了计算机辅助设计和辅助制造技术的发展，并在各个领域得到日益广泛的应用，这又反过来促进计算机图学的进一步发展。这首先表现在计算机图形输出和输入技术的发展上。在输出技术中，早期发展的显示器，由于价格昂贵，成为影响交互式图形技术普及的主要障碍。为解决这一问题，六十年代后期出现了存储管式存储器 (DVST)。它具有分辨率高、图形稳定、价格较低的优点，但不具备显示动态图形的功能，也不能进行有选择的删除。用它可以对一些简单的图形实现交互处理，因此对进一步普及交互式图形技术起了很大作用。七十年代中期，由于廉价固体电路的出现，使光栅扫描图形显示器发展起来，它可以使图形生成技术和现代电视技术相结合，因而更易于推广和应用。

图形输入设备是实现交互式图形设计所不可缺少的硬件，它向计算机输入各种命令或图形数据。利用它可以在屏幕上定位，或对已有图形进行选择、拾取，从而实现图形的增删和改动。目前常用的输入设备有带有命令控制键和特殊功能键的键盘、输入板 (Tablet)、操纵杆 (Joystick)、跟踪球 (Tracking Ball)、鼠形器 (Mouse) 等。鼠形器由于使用方便灵活，正得到愈来愈广泛的应用。图形数字化仪 (Digitizer) 则是一种图形数据采集装置，它可以将图纸上的点或线变为数字坐标输入到计算机内。

目前计算机图形设备 (通称硬件 Hardware) 还需要相应的图形生成的算法和程序 (通称软件 Software) 来配合。随着硬件系统的发展，图形软件也随着有很大的发展。它将进一步向通用化、高级化及与设备无关的方向发展，并且进一步商品化。

计算机绘图的发展体现在以下几个方面：

- 1) 被动式绘图正逐渐被交互式绘图所代替。
- 2) 计算机绘图成为计算机辅助设计的重要手段。

3) 应用领域越来越广，计算机绘图所占比重越来越大。现在美国、日本等先进国家各生产部门用计算机绘制的图纸已大约

占全部图纸数量的一半，今后计算机绘图的比重还将增大。

4) 与 CAD、CAM 紧密的结合在一起形成一个计算机辅助工程 (Computer Aided Engeneering 简称 CAE)。

5) 在立体图形方面，传统的线条图将被仿真图形 (Realize Image) 所代替，即显示出物体的色采、明暗、阴影、透明度等，使图象逼真。

1.3 计算机图学的应用领域

随着科学技术的发展和生产实际的需要，计算机图学的应用范围日益广泛，作用愈来愈显著。目前主要的应用领域有以下几方面。

1) 工业上的辅助设计和制图 如在土木、建筑、机械制造、汽车制造、造船、航空、电气、电子等方面的设计制图；各种计算图表、管路图、布线图、设备图、构件图、印刷线路板、集成电路等。图 1-2 至图 1-4 分别为计算机绘制的汽车车身图、机械零件图和房屋透视图。

2) 业务管理部门的管理图 如统计用的直方图、线条图、圆饼图、工作进程图、管理仓库或生产的各种图表等。这些图可以形象地表明数据的关系及其趋势，以增强对复杂现象的了解并有助于迅速作出决策。

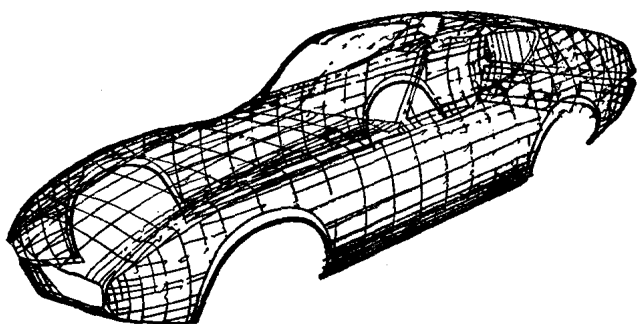


图1-2 汽车车身图

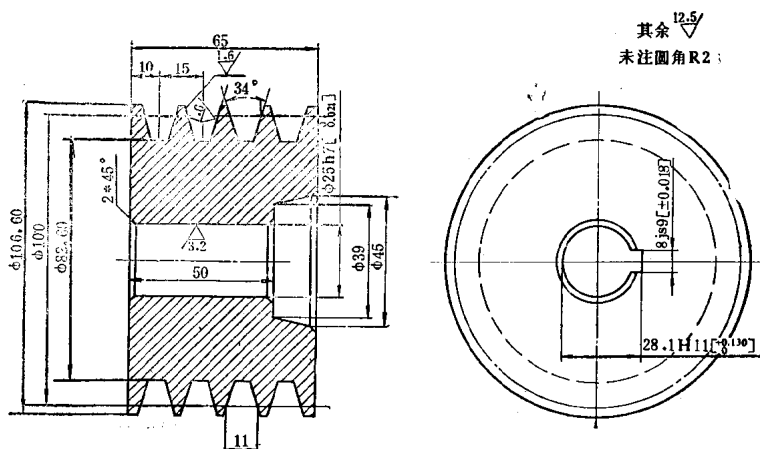


图1-3 皮带轮零件图



图1-4 房屋透视图

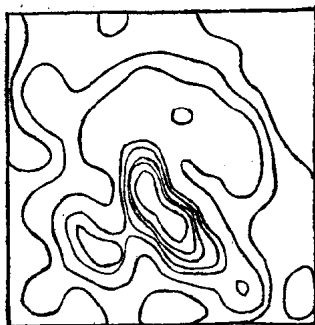


图1-5 地形图

3) 测量图形 如地理图、地形图、地质图、矿藏勘探图、海洋地理图、航海图、气象图、人口图、资源图等。图1-5为计算机绘制的地形图。

4) 生物、医学、药学方面的图形 如分子结构图、心电图、人体系统图、结晶解析图、药效分析图等。

5) 模拟及动画 由计算机产生物体随时间、温度、速度等因素变化的模拟图形。这种图可以用来研究液流、核反应、化学反应、受热情况、受力应变情况等变化过程。例如模拟人体运动

的图象,可以找出最佳状态及时间,以帮助训练运动员提高成绩。利用交互技术产生动画片,可以提高动画片的质量和生成效率,降低成本。这种技术在国外已广泛用于制作广告。这种技术还可应用于各种模拟器的背景变化,如飞行模拟器、汽车驾驶模拟器、船舶驾驶进港模拟器等。这些模拟器能使受训者产生面临各种环境的同样感觉,从而能节省燃料、保证安全、避免机件损耗,降低训练费用,缩短培训时间。

6) 美术设计 如绘制各种花纹图案、甚至国画、书法等。图 1-6 为计算机绘制的人像。

7) 过程控制 如炼油厂、化工厂、电力网、铁路等部门可以用图形显示设备显示关键部位或运行过程的情况,操作者可以对不正常的情况作出调整。如机场的飞行控制人员可在屏幕上获得飞机标志及状态信息,以指挥飞机起降。

8) 计算机辅助教学 计算机图形生成技术可以使教学内容形象、直观、生动地表现出来,从而提高学生的兴趣和教学效果。

9) 办公室自动化 使用计算机及图形终端来生成和交换信息可以大大提高办公效率,减少差错。

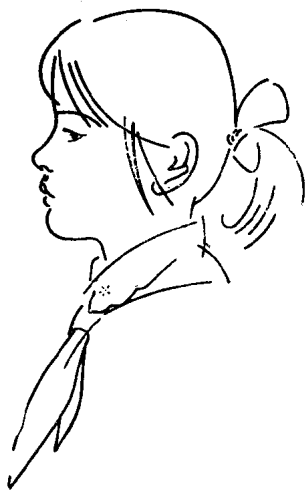


图1-6 人像

1.4 计算机绘图在我国的发展

我国从 67 年开始计算机控制的自动绘图机的研制工作,先后在上海和内蒙制成了 LZ 5 和 MSB-1 型 $x-y$ 绘图仪。在 70 年制成第一台高精度平台式绘图机和 751 型黑白图形显示器。随后,陆续研制出了多种型号的平台式、滚筒式绘图机。76 年制成具有先进水平的 HTJ-1855 大型精密绘图机和 752 彩色图形显示器,77 年又制成了平面电机型绘图机。除此之外,近十多年来各