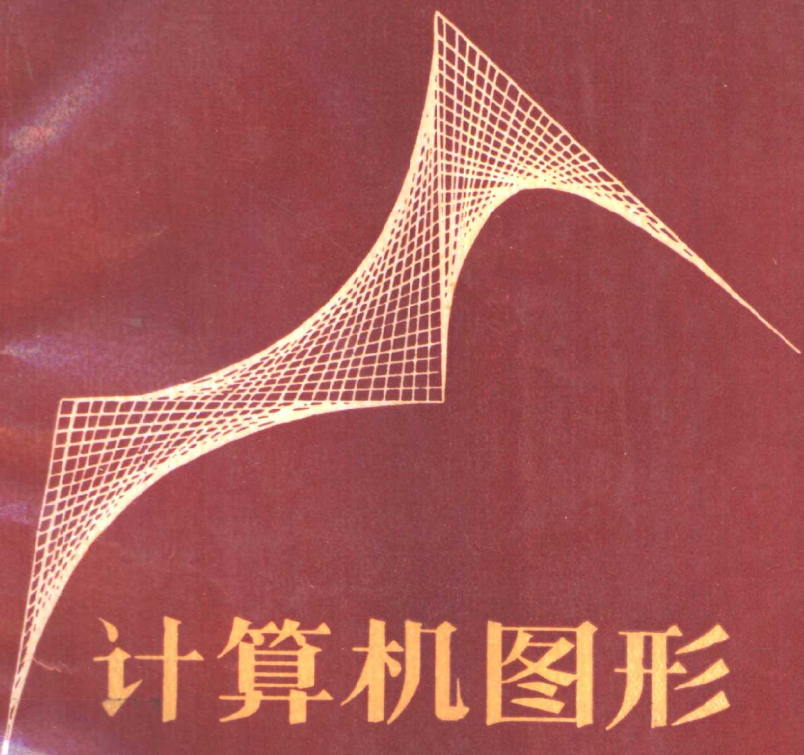


211

COMPUTER GRAPHICS  
PROCESSING TECHNIQUE



# 计算机图形 处理技术

王 宋 生 主 编  
西安交通大学出版社

# 计算机图形处理技术

王来生 主编

西安交通大学出版社

## 内 容 简 介

本书系统地介绍了计算机图形处理的基本原理、基本方法和技巧，并通过实例深入浅出地加以阐述。书中所列程序均用 FORTRAN 语言编写。

全书共分14章，主要内容有交互式计算机图形系统简介，与图形处理有关的解析几何学知识，曲线、曲面的表示方法，裁剪技术，消隐技术，光线跟踪法，物体的三维表示，立体图形的阴影表示及应用实例等。

本书可作为高等院校有关专业的本科生及研究生的教材，亦可供从事计算机图形处理或CAD工作的科技人员参考。

## 计算机图形处理技术

刘永生 主编

刘永生 任编辑

西安交通大学出版社

(西安市咸宁路28号)

西安7226厂印装

陕西省新华书店发行 各地新华书店经售

开本787×1092 1/32 印张7.75 插页3 字数：160千字

1988年5月第1版 1988年6月第1次印刷

印数：1—4000册

ISBN7-5806-0045-5/TP·8

定价：1.60元

## 前 言

计算机图形处理是用电子计算机对有关的图形进行各种技术处理的总称。近年来，随着高分辨率图形显示设备的普及，计算机图形处理已成为举世瞩目的一个新兴学科，并为电子计算机的应用开拓了一个新的领域。为了在国内进一步推广计算机图形处理技术的应用，并满足广大科技工作者的需求，我们特地编写了这本书。

计算机图形处理技术的应用范围非常广泛。它可用于机械、建筑、飞机制造、汽车制造及船舶制造等行业的计算机辅助设计（CAD）中，从而大大提高设计质量、缩短设计周期；它也可用于勘测和探矿，这样就可将从前以描述为主的地貌学或用人工绘制的矿藏图用三维图形表示出来，从而可借助于电子计算机从事地貌学的研究和矿藏的开采；在数学、物理学等研究领域，计算机图形处理技术更有其独特之处，它可将一些函数的状态、电磁场、温度场、压力场等用图形的方式直观地表示出来，从而为数学、物理学等领域的研究工作提供新的手段。

本书是在供计算机图形处理专业方向的研究生专用教材的基础上编写成的。书中不仅介绍了计算机图形处理所涉及到的基础知识，而且精选了近年来国内外图形处理方面的先进方法和技术，其中包括笔者的部分科研成果。选材时考虑了系统性、完整性和先进性。同时，在叙述上尽可能做到深

4BE 15/07

入浅出，循序渐进，并通过剖析应用实例的方法，将理论与实践融为一体，从而为有关工程技术人员的自学和参考提供了方便。

本书由王来生主编，参加编写工作的还有陈天滋、宋顺林等。

本书承蒙卢振荣教授审稿，并提出了许多宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免会有不当之处，恳望读者批评指正。

编 者

1986年5月

# 目 录

<b>第一章 交互式计算机图形系统概述</b> .....	(1)
§ 1.1 计算机图形显示技术的发展概况.....	(1)
§ 1.2 交互式计算机图形显示系统的应用.....	(3)
§ 1.3 光栅扫描图形显示器.....	(7)
§ 1.4 交互式计算机图形显示系统的组成.....	(12)
<b>第二章 图形处理和解析几何学</b> .....	(16)
§ 2.1 空间直角坐标系.....	(16)
§ 2.2 用坐标进行向量运算.....	(17)
§ 2.3 方向数和方向余弦.....	(19)
§ 2.4 直线的方程.....	(20)
§ 2.5 平面.....	(21)
§ 2.6 直线与平面的相互关系.....	(22)
<b>第三章 特殊曲面</b> .....	(24)
§ 3.1 曲面和方程.....	(24)
§ 3.2 球面.....	(25)
§ 3.3 曲线产生曲面.....	(26)
§ 3.4 旋转曲面.....	(28)
§ 3.5 空间曲线的参数方程.....	(32)
§ 3.6 曲面的参数方程.....	(33)
§ 3.7 二次曲面方程的标准形式.....	(33)
§ 3.8 一般二次曲面方程.....	(35)

<b>第四章</b>	<b>曲线和曲面的拟合</b> .....	(36)
§ 4.1	曲线拟合.....	(36)
§ 4.2	曲面拟合.....	(45)
<b>第五章</b>	<b>图形的坐标变换</b> .....	(51)
§ 5.1	图形变换的基本概念.....	(51)
§ 5.2	二维图形的坐标变换.....	(52)
§ 5.3	三维图形的坐标变换.....	(56)
<b>第六章</b>	<b>投影变换</b> .....	(60)
§ 6.1	投影和投影图.....	(60)
§ 6.2	投影和投影图的计算.....	(61)
<b>第七章</b>	<b>裁剪处理</b> .....	(69)
§ 7.1	二维裁剪.....	(69)
§ 7.2	三维裁剪.....	(74)
<b>第八章</b>	<b>消隐的技术基础</b> .....	(78)
§ 8.1	重叠测试.....	(78)
§ 8.2	多边形面的表面法线方向的计算.....	(79)
§ 8.3	平面式的决定及变换.....	(80)
§ 8.4	点和平面的相互关系.....	(82)
§ 8.5	直线与平面的相互关系.....	(83)
§ 8.6	两直线的相互关系.....	(84)
§ 8.7	包含测试.....	(86)
§ 8.8	深度测试 (depth test) .....	(86)
§ 8.9	优先度测试 (Priority test) .....	(87)
<b>第九章</b>	<b>消隐的处理方法</b> .....	(90)
§ 9.1	消去隐线、隐面的两类方法.....	(90)
§ 9.2	处理坐标系.....	(91)

§ 9.3	深度缓冲器算法	(93)
§ 9.4	多面体简单消隐法	(94)
§ 9.5	扫描线相关算法	(96)
§ 9.6	Warnock算法	(100)
§ 9.7	优先级算法	(103)
§ 9.8	算法的选择	(109)
<b>第十章</b>	<b>光线跟踪法及其理论基础</b>	<b>(111)</b>
§ 10.1	光觉与色觉	(111)
§ 10.2	光的反射	(115)
§ 10.3	光线跟踪法及其简化方法	(119)
<b>第十一章</b>	<b>旋转体图形的表示</b>	<b>(121)</b>
§ 11.1	输入数据的形式	(121)
§ 11.2	表示方式的基本原理	(122)
§ 11.3	隐线消去	(123)
§ 11.4	作图顺序	(129)
§ 11.5	内部构成线的表示	(130)
§ 11.6	表示图例	(130)
<b>第十二章</b>	<b>一般物体的三维表示</b>	<b>(133)</b>
§ 12.1	数据构造	(133)
§ 12.2	格子点的分类	(134)
§ 12.3	切断点的判断	(135)
§ 12.4	隐点判断	(135)
§ 12.5	物体的合成表示	(137)
§ 12.6	线画表示流程图	(141)
§ 12.7	表示图例	(142)
<b>第十三章</b>	<b>立体图形的阴影表示方法</b>	<b>(148)</b>



§ 13.1 三维旋转图形的表示.....	(148)
§ 13.2 GD 上的表示.....	(150)
§ 13.3 椭圆体的旋转表示.....	(152)
§ 13.4 旋转体表示.....	(153)
§ 13.5 流程图.....	(156)
<b>第十四章 应用例</b> .....	<b>(158)</b>
§ 14.1 直线图形的绘制.....	(158)
§ 14.2 平面图形的绘制.....	(165)
§ 14.3 等高线和立体等高线的表示.....	(172)
§ 14.4 三维彩色图形的表示.....	(203)
<b>参考文献</b> .....	<b>(237)</b>
<b>附图</b>	

# 第一章 交互式计算机图形系统概述

在计算机技术领域，图形显示是一个重要课题。由于计算机图形显示产生的图形，在外观上和动态上与其它形式的计算机输出极为不同，所以它一直是计算机技术在视觉观察方面最引人注目的分支之一。计算机图形显示也是人与计算机交换信息极为有效的手段。它具有速度快、功能强、使用方便及没有噪音等许多优点。人的眼睛从显示的图形上接受信息，要比扫视数字表格快得多。中国有句古语“一图胜千言”。这是因为一幅好的图画能容纳大量的信息，并且更容易为人们所理解和记忆。

但是，由于以前计算机图形显示工艺成本高，以至未被广泛采用。现在工艺成本已迅速下降，所以开始应用计算机图形显示技术的人日益增多，应用范围也不断扩大，广泛的应用推动了计算机图形学的研究，在工程上也涌现出不少优秀的计算机图形系统。

## § 1.1 计算机图形显示技术的发展概况

计算机图形显示技术是借助于计算机和图形显示器来建立和处理图形的一种技术。自从阴极射线管（CRT）发明以后，显示技术就迅速发展起来，CRT好象一支神奇的画笔，能够画出各种人们原来看不见的电讯号波形（示波器）；能

够重现客观世界的形象（电视机），现在人们又能采用它按照自己的意志来描绘所需要的图形。

计算机图形显示技术的发展是计算机科学发展的必然结果。自从 20 世纪四十年代，世界上发明了第一台电子计算机后，计算机便以惊人的速度发展更新。随着计算机功能的增强、信息处理速度的提高，计算机输出的速度和输出的数据量也相应地增加。人们从输出数据中读取、检索、判断、选择，甚至作出决策等人工作业的负担加重。这势必促使人们去寻求新的输出形式，而计算机图形显示正是一种理想的输出方式。

计算机图形技术是经过多年探索、研究才取得如此快的发展的。1950年，第一台和麻省理工学院 Whirlwind I 型计算机联用的显示器产生了简单的画面；这台显示器利用了类似电视机用的那种阴极射线管（CRT）。在这以前，已故的 F·Williams 把 CRT 用作信息存贮器件，其后这种方法以存贮式 CRT 的形式组成价格低廉的交互式图形终端。

最早的实时控制计算机显示系统用于北美防空系统 SAGE (Semi-Automatic Ground Environment System)，而最早用于计算机辅助设计（简称为 CAD: Computer Aided Design）的系统是美国麻省理工学院 SKETCHPAD 系统（1962年）。

在计算机绘图理论研究方面，公认的第一篇论文是美国的 I.E.Sutherland 于 1963 年发表的《SKETCHPAD: 人-机图形通信系统》。这是一篇关于由计算机产生图形的人机对话系统的文章，他向读者证实了交互式图形显示是一个有生命力的、有前途的和振奋人心的研究领域。从此，这方面

的研究工作十分活跃，一些工业发达国家研制了具有实用价值的图形系统。例如，1965年美国洛克希德公司组成了专门小组花费了100人年的工作量，于1972年完成了一个应用于飞机设计的交互式图形处理程序系统，称之为CADAM。六十年代后期 Coons 的总结性论文的披露，促进了计算机图形学的发展。他的理论在英国得到了迅速的反响，不久即投入了应用。

过去人们都是利用大型计算机来进行图形设计，将昂贵的专用图形设备连接到价格已很昂贵的大型计算机上，这只能适用于少数高级公司、研究所和大学等单位。进入七十年代后，随着硬件质量的提高和成本的下降，小型计算机及新型显示装置的陆续问世，推动着数控绘图发展到设计制图自动化的高度。近年来，随着微机工业的发展，微机的功能越来越强，价格越来越便宜，一般单位甚至个人都买得起，因此大量用户都愿意使用微机进行图形设计。微机图形设计的最大优点是图形绘制易于实现，只要具备少量的程序设计专门技术，用户就可按照自己的意愿产生所需要的图形。近年来，微机的图形显示系统取得的进展是惊人的。分析家们认为，随着微电子技术的发展，微机图形软件将由硬件来实现，即将程序固化到只读存储器芯片上，从而极大地提高了图形功能的执行速度，使微机图形系统在市场上具有更大的竞争能力。

## § 1.2 交互式计算机图形显示系统的应用

随着计算机技术的发展和显示器件工艺水平的提高及成

本下降，计算机图形显示愈来愈受到用户的欢迎，应用范围日益扩大。毫无疑问，这一技术将因人们对其应用价值的认识加深而继续得到普及和发展。

现在我们来了解一下交互式计算机图形系统已经或者可能应用到哪些领域中去。

### 1. 过程监控

各种实时过程，如火箭的运行，某种物理化学反应（一定有某些参数控制着这些过程的进行），它们常常可以用一定的曲线（或曲线簇）来表示过程进行的情况。利用交互式计算机图形显示系统，可以扫描出表示过程进行的曲线（如火箭的轨道），并实时地显示出来。如果不符合要求，可以通过反馈（即改变控制参数的值）控制过程的进行。这要比观察各种仪表来控制过程的进行要方便有效得多。

### 2. 情报资料的检索、处理

在各种存储大量情报、资料、信息的部门（如图书馆、银行、气象局、医院、档案室等），利用交互式计算机图形显示系统，可以迅速而形象地获得所需信息。例如，把各种地图及有关资料存入计算机内，指挥员就可以迅速检索所需的图形资料；在医疗上，除了可快速查询各种病理档案外，还可以根据有病器官坐标建立立体图形，并使之旋转、放大，以便进行诊断；气象资料可以以各种曲线显示出来，并表示出随时间改变的情况。

### 3. 计算机制图

机械制图、工程制图，历来是产品、工程设计中工作量大、效率低的重要环节。在产品设计中，图纸设计一般占整个设计工作的70%左右，设计人员的很多宝贵时间花费在非

创造性的工作中。因此,采用计算机制图,提高设计工作的自动化水平,是把人们从繁琐重复的劳动中解放出来的有效途径。把各种常用的图形事先存入计算机图形数据库,就可以随时供用户调用,并能方便地使图形实现平移、放大、缩小、复制、拼合、由计算机控制数控绘图机进行绘图,从而大大提高工作效率。

一个没有交互功能的计算机图形系统仍然只是比较低级的系统。如果利用交互式计算机图形显示系统,则可以不用事先编出整个图形的程序,直接在显示屏上按需要构成图形,如不适当可立即修改,直至满意后才在绘图机上绘出图形,这样可以大大提高效率。如果采用大屏幕显示,可以直接摄录,取消绘图这一环节,这必将给传统的制图带来一次革命。

#### 4. 计算机辅助设计 (CAD)

CAD 是研究计算机在工程设计方面综合应用的科学,它是当代技术革命新浪潮的重要内容之一。CAD 技术综合了计算机软件、硬件的最新成就,特别是图形技术、数据库技术、智能模拟技术等重大成果而形成了一种强有力的工程设计工具。总之,CAD 是一个十分广泛的领域,下面列举几个主要方面的应用。

计算机辅助几何设计。在汽车、飞机、轮船等设计中,外形设计是十分重要的,它既涉及到性能方面的要求,又涉及到美学方面的要求。全部由人工设计是一项效率很低的工作。就传统的汽车外形设计来说,仅雕塑汽车油泥模型就要三次;油泥模型的比例分别为 1:10、1:5、1:1。如果利用交互式计算机图形显示系统进行设计,计算机可根据输入数据和数学模型进行初步设计,在屏幕上显示,设计者再在屏幕

上修改，经过计算机处理后，再显示新的外形。这样反复修改、处理、显示，直至满意为止。这可以大大地提高工作效率，缩短设计周期。

计算机辅助结构设计。在农机、汽车、水泵等的框架设计及房屋、桥梁的结构设计中，一般都要进行大量的计算，并且输入输出的数据量也很大，这些数据即使有错误也很难发现和检查。如果利用交互式计算机图形显示系统，显示出各种结构的形状和力学性能等，加以比较、修改、优化，这就大大地减轻了人工负担、提高了效率。

计算机辅助线路设计。这方面的例子有印刷电路布线设计、各种管道的布置设计、城市交通线路设计等。象在计算机中采用的比较复杂的典型集成电路，一个工程技术人员要用几个星期才能画成；如要进行重大修改时，则还要用同样多的时间；如采用交互式计算机图形显示系统，工程技术人员可以在短得多的时间内画出电路，然后还可以用计算机辅助校核他的设计，并在几分钟内可以修改设计。电子设备的成本降低，主要归功于集成电路的设计是在交互式系统上进行的。

5. 在理论研究中，交互式图形系统也有广泛的应用。如分子结构模型的立体显示，受控热核反应的状态显示等等。

总之，凡用到图形的场合，就可以有计算机图形系统的用武之地；凡需要人工干预的，交互性就能派上用场。当然在具体应用过程中，还需要多方面的配合才能相得益彰，其中包括测量仪器、数学模型及各个方面的专业知识等等。

展望未来，随着计算机技术的进一步发展和普及，计算机图形显示的应用范围一定会进一步扩大，甚至进入人们的日常生活，诸如电影、电视、雕塑等艺术图形将越来越多地使

用计算机图形显示系统。

### § 1.3 光栅扫描图形显示器

图形显示器是交互式计算机图形系统中的重要设备。根据其扫描方式的不同，可分为随机扫描显示器和光栅扫描显示器。因为光栅扫描显示器具有较高的图形逼真性，开辟了飞行仿真、动画技术、三维立体显示等许多新的图形显示应用领域，而且它在许多基本方面具有与随机扫描显示器不同的特点，因此本节对光栅扫描图形显示器作一简单的介绍。

人们对光栅扫描显示器的兴趣可以追溯到六十年代中期。当时通用的图形显示设备是随机扫描的刷新式CRT显示器，但是这种显示器具有两个严重的缺点：一是显示复杂图形时出现严重闪烁现象；二是不能产生立体实物的逼真图象。光栅扫描显示器较成功地解决了这两个问题。随着应用范围的不断扩大，价格不断下降，它越来越受到用户的欢迎，特别是在三维复杂彩色图形显示方面处于不可替代的地位。预计在不久的将来，光栅扫描显示器将超过随机扫描显示器成为显示器市场的主流。

所谓光栅扫描指的是CRT中电子束的偏转方式，即在电子束作自左向右的水平运动的同时，作自上而下的运动，在萤光屏上形成一幅平行光栅。在电子束扫描过程中，它的强度被调制，不同强度的电子束在萤光屏上形成不同灰度等级的光点，从而构成要显示的图形或图象。对彩色显像管来讲，分别调制红(R)、绿(G)、兰(B)三原色电子束，就能显示彩色图形或图象。



从上述光栅扫描显示图形原理可以看出，这里构成图形或图象的最基本元素是点，萤光屏上的电子束扫描所形成的光栅就是一个二维的光点阵列，每一个光点称为图象元素，简称为象素 (pixel)。

二维象素阵列的大小称为光栅扫描图形显示器的分辨率。也就是说分辨率是由扫描线数与每条扫描线所含的象素个数决定的。选择扫描线数时通常要考虑采用标准的视频线数，最通用的有每帧 525、625、813、875、1023 线。这些数值是刷新周期时间除以画每条扫描线的时间得到的，它们并不表示实际可见的扫描线。垂直回扫时间，即电子束从屏底返回到顶部重新开始下一帧所需的时间，要占用刷新周期的 10%，在此期间不能显示扫描线。因此在 525 线的显示屏幕上只能显示出 480 条可见的扫描线。而每条扫描线所包含的象素按纵横比（高度与宽度之比）3:4 决定。假设扫描线数为 480 时，每条扫描线约有 640 个象素，这种光栅扫描图形显示器的分辨率为  $640 \times 480$ 。第一个数字表示每一条水平扫描线所包含的象素个数，第二个数字表示每一帧图形或图象所包含的水平扫描线的数目，因此每帧包含了 307,200 个象素。

和所有的 CRT 显示器一样，光栅扫描显示器屏幕上所显示的图形需要不断地刷新。这是由萤光粉的衰减特性所决定的。图形的刷新频率有 25 赫和 50 赫两种。采用 25 赫刷新频率意味着采用隔行扫描技术，而 50 赫刷新频率意味着采用逐行扫描技术，只有高性能显示器才采用 50 赫刷新频率，当然也可以采用 25 赫到 50 赫之间的频率作为刷新频率，但这些都是非标准的。