

计算机图形学基础

庞云阶 王钺旋 编

吉林大学出版社

计算机图形学基础

庞云阶 王钺旋 编

吉林大学出版社

计 算 机 图 形 学 基 础

庞云阶 王钺旋 编

责任编辑：杨继奎

封面设计：甘 莉

吉林大学出版社出版

吉林省新华书店发行

(长春市解放大路85号) 东北师范大学校办印刷厂印刷

开本：787×1092毫米 1/32

1989年12月第1版

印张：7.6875

1989年12月第1次印刷

字数：170千字

印数：1—1 500册

ISBN 7—5601—0407—X/O.53

定价：1.70元

前 言

自1984年以来, 编者为吉林大学计算机科学系本科生开设了“计算机图形学基础”这门课程. 所使用的教材是以J. D. FOLEY和A. VAN DAM所著“交互式计算机图形学基础”一书为蓝本编选而成的. 经过几年来的教学实践, 对教材几经修改, 并为适应本科生一学期72学时的课程加以编排, 从而形成此书.

本书所涉及的是计算机图形学的基本内容, 包括: 几何变换、投影显示、光栅算法、三维几何图形的表示、消隐算法以及为物体图象加明暗调子等. 每章都附有习题, 其中关于程序设计的习题已经在微机上做过. 实践证明, 本书内容及习题适合于计算机本科生使用.

由于学时有限, 并且, 目前尚没有可能为本科生提供较好的实习设备, 故没有编入计算机图形学较深入的内容. 这些较深入的内容, 将成为研究生的读本, 并做为本书的续篇.

作 者

1988年12月

目 录

第一章 计算机图形学简介	(1)
§ 1 什么是计算机图形学	(1)
§ 2 图形系统的硬件	(5)
第二章 计算机绘图程序设计	(10)
§ 1 画点和画直线	(10)
§ 2 窗口和剪裁	(12)
§ 3 视区	(20)
§ 4 交互式绘图	(28)
第三章 几何变换	(49)
§ 1 二维基本几何变换	(49)
§ 2 二维混成变换	(53)
§ 3 三维基本几何变换	(58)
§ 4 绕任意轴的旋转变换	(62)
第四章 三维空间的观察过程	(74)
§ 1 透视投影	(75)
§ 2 平行投影	(85)
§ 3 从世界坐标系向观察坐标系的坐标变换	(93)
第五章 曲线和曲面	(107)
§ 1 三次参数样条曲线	(107)
§ 2 Bezier曲线	(115)
§ 3 B样条曲线	(121)
§ 4 曲面造型法简介	(134)
§ 5 曲线和曲面的显示	(142)

第六章	图形数据结构	(153)
§ 1	图形的层次结构	(155)
§ 2	平面立体的几何表示	(161)
第七章	光栅系统中的算法	(172)
§ 1	直线的扫描转换	(173)
§ 2	圆的描扫转换	(179)
§ 3	区域填充	(184)
§ 4	多边形的扫描转换	(189)
第八章	消除隐藏线和隐藏面的算法	(199)
§ 1	线面比较法消除隐藏线	(200)
§ 2	深度排序算法	(208)
§ 3	z-缓冲算法	(212)
§ 4	扫描线算法	(214)
§ 5	区域分割算法	(221)
第九章	明暗模型	(228)
§ 1	漫射照明和具体光源的照明	(228)
§ 2	多边形网的明暗处理	(232)
§ 3	阴影	(236)
§ 4	透明表面	(238)

第一章 计算机图形学简介

计算机图形学是一门正在迅速发展的新兴学科，本章介绍关于这门学科的一般情况。

§ 1 什么是计算机图形学

有句古话说：“一幅画顶得上千言万语”。确实，现实生活中丰富多彩千姿百态的各种形体，用语言文字描述是相当困难的，而用图画来表现就容易得多。以图画为表现形式的图形信息在人类的社会生活中起到非常重大的作用。随着现代科学技术的迅速发展，用计算机来处理图形信息的问题，很自然地提到日程上来。

通常认为，与图形信息的计算机处理有关的计算机科学的分支有三个，这就是图象处理 (Image Processing)，模式识别 (Pattern Recognition) 和计算机图形学 (Computer Graphics)。

计算机图象处理是指用计算机来改善图象质量的数字处理技术。可见或不可见的图象经过量化后送入计算机，由计算机按应用的需要进行图象增强，复原，分割，重建，编码，传输等处理，再把处理后的图象输出出来，这就是图象处理的过程。在太空探索中分析宇宙飞船发回的各种照片，在生物医学工程中发展起来的X射线断层摄影技术，是计算机图象处理技

术重要的应用例子。

计算机模式识别指用计算机对输入图形进行识别的技术。图形信息输入计算机后，先进行特征抽取等预处理，然后用统计判定方法或语法分析方法对图形作出识别，最后按照使用的要求给出图形的分类和描述。模式识别最有意义的应用实例，是各种字符和汉字的自动阅读装置的使用。

与图象处理和模式识别不同，计算机图形学是指用计算机产生对象图形输出的技术。这里所说的对象，可以是各种具体的实在的物体，如家俱，房屋，机械零件等，也可以是假想的事物，如天气形势，人口分布，经济增长趋势等等。能够正确地表达出一个对象性质、结构和行为的所有描述信息，称为这个对象的模型。计算机图形学产生图形的方法，主要是建立对象的模型，用计算机存贮和加工这个模型，然后从无到有地产生能正确地反映出对象的某种性质的图形输出。图1.1是图象处理，模式识别和计算机图形学相互关系的示意图。

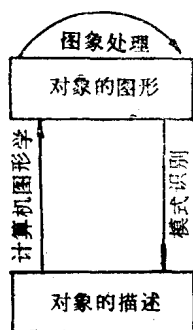


图1.1 图象处理，模式识别和计算机图形学的相互关系

与图形处理有关的计算机科学的上述三个分支是独立发展起来的。现在随着光栅显示技术的发展和解决实际问题的需要，它们已经互相渗透，其发展前景现在还很难做出准确的估计。

交互式计算机图形学 (Interactive Computer Graphics) 是指用计算机交互式地产生图形的技术。交互式绘图允许操作人员以对话方式控制和操纵图形的生成过程，图形可以

边生成,边显示,边修改,直到产生了符合使用要求的图形为止。交互式绘图可以使人的逻辑思维能力,分析能力和计算机准确快速的计算能力结合起来,从而发挥更大的威力。

计算机图形学是在本世纪60年代形成和发展起来的,在它发展的初期,因为受到硬件设备的限制,尽管人们认识到它的重要性,而由于没有合适的显示器件或价格过于昂贵,所以应用不够广泛。大规模集成电路技术以及新型廉价硬件的产生使计算机图形学得到飞速的发展。当前由于各种图形设备性能不断提高,价格不断下降,使计算机图形学的应用领域正在不断增加。

在科学技术事业中,可以使用计算机来绘制表示数值计算或数据处理结果的图形,例如各种函数的图形,统计用的直方图,百分比图等。

在制图学方面,可以利用计算机来绘制精确的地形图,天气图,海洋图,石油开发图,人口密度图等等。

计算机辅助设计(CAD—Computer Aided Design)和计算机辅助制造(CAM—Computer Aided Manufacturing)是计算机图形学的重要应用领域。CAD和CAM技术已经相当广泛地应用到电子、机械、建筑、汽车、飞机、船舶等方面的设计和制造工作中。

在计算机仿真与动画方面,可以用计算机制作动画电影来表现真实物体或模拟物体的运动或变化,例如训练飞行员可以使用一种用计算机控制的可以产生需要的动态效果的飞行模拟器。

在过程控制中,可用以显示被控对象有关环节在操作过程中的状态,使操作人员可以进行必要的调节和处理。

在办公室自动化方面，图形显示技术有助于数据及其相互关系的有效表达，因而有利于人们进行正确的决策。

计算机艺术的出现，使计算机的应用进入到艺术领域。已经利用计算机创作出具有一定水平和独特风格的艺术作品，例如各种图案画、静物画、风景画、人物画及可以上映的动画电影等等。

计算机图形学的应用还远远不止上述这些。而且，随着计算机的推广和普及，计算机图形学的应用领域还将继续扩大。

可以看出，计算机图形学的研究内容是十分丰富的。虽然有些部分的研究工作已经进行了多年，取得了不少成果，但随着图形显示技术应用领域的扩大和深入，还不断有新的研究课题涌现出来。从计算机图形学发展和应用的现状看，这门学科的主要研究内容可以概括为以下几个方面：

1. 图形的生成和表示技术。例如线段、圆弧、曲线和曲面的生成算法，区域填充算法，基本几何体的截交、相贯及展开算法，以及投影、隐线和隐面消除，浓淡处理，灰度与色彩等各种表示技术。

2. 图形的操作与处理方法。例如图形的开窗，剪裁，平移，旋转，放大，缩小等各种操作的方法及软件或硬件的实现技术。

3. 图形输出设备与输出技术的研究。

4. 图形输入设备，交互技术及用户接口技术的研究。

5. 图形信息的数据结构及存储，检索方法。例如图形信息的各种机内表示方法，组织形式，存取技术，图形数据库的管理，图形信息的通讯等。

6. 几何模型构造技术。刻画被处理对象几何性质的描述

信息就构成它的几何模型。图形生成和操作的基础就是对象的几何模型，所以要研究几何模型的构造方法及性能分析等等。

7. 动画技术。研究实现各种高速动画生成的各种软硬件方法，开发工具，动画语言等。

8. 图形软硬件的系列化，模块化和标准化的研究。

图形就它对人们的关系来说，需要的是识别它，生成它，改变它，欣赏它。计算机图形学正是人们想利用计算机来达到这些目的而产生和发展的。今天，人们在利用计算机来生成和变换图形方面已经取得了很大的成功，然而在利用计算机来识别复杂图形方面，在产生可以美化生活的各种艺术品以及计算机动画和电影方面，以及其它许多方面，还只是刚刚起步。计算机图形学的发展正在加速，其前景是无限美好的。

§ 2 图形系统的硬件

计算机图形系统中需要的硬件设备，除了象大容量外存储器，通讯设备等常规设备以外，还要有图形输出和图形输入设备。

图形输出设备可以分为图形显示器和图形硬拷贝设备两类。

图形显示器用来显示图形。通常还要求显示设备可以迅速地改变画面，从而形成动态的图形。在图形显示器中，阴极射线管(CRT—Cathode Ray Tube)图形显示器始终是最重要的显示设备。CRT有一个平坦的端面，内侧涂盖有荧光质，另一端有一个电子枪。当偏转板上施加不同电压时，便引起电子

枪轰击荧光质上不同点，它们在短时间内放射出光。改变电子束的强度以及施加在偏转板上的电压，就可以在屏上产生图形。为了放射出不同色彩的光，可以利用各种各样的荧光质，这就是彩色显示的原理。

在屏上产生图形有随机扫描和光栅扫描两种工作方式。随机扫描图形显示器利用画出一系列线段来画出图形。线段各始点及终点坐标存放在计算机存储器内，通过数字-模拟转换器来控制CRT的电子枪在屏上点亮各直线段。图1.2是随机扫描图形显示的示意图，电子枪沿箭头指出的路线点亮各线段，就显示出一个房子的轮廓。

光栅扫描图形显示是扫描屏上由点组成的栅状网格。网格上的各点可以分别点亮或熄灭。利用电子束从左到右从上到下的扫描来显示图形。图1.3是光栅扫描图形显示的示意图，图1.4是光栅扫描显示的一个房子的轮廓。

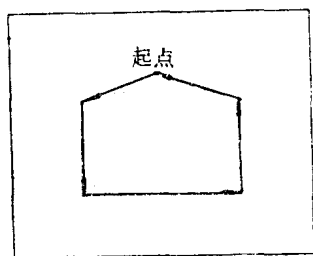


图1.2随机扫描显示的房子

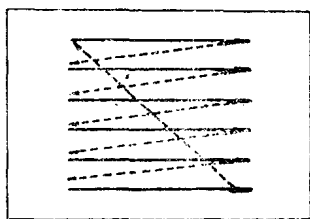


图1.3光栅扫描

在光栅扫描图形系统中，在屏幕上可以点亮或熄灭的最小单位叫做像素 (Pixel)，显示屏幕上像素的总数称为分辨率。用每行的点数和行数的乘式表示。显然，分辨率的数值直接影响到光栅扫描显示图形的质量。当前好的图形显示器的分辨率可

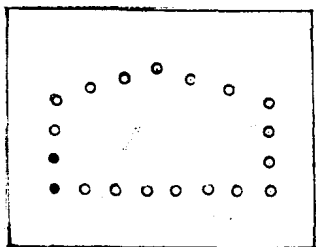


图14.光栅扫描显示的房子

范围不同，这个范围通常用 0 到 2 的某个方次之间的整数表示。例如，0 到 63，或 0 到 255。彩色图象的每一点是由红、绿、兰三种基色混合而成的。每一基色的灰度级也在 2 的某一方次之内。目前，最高的灰度级是 256，因此，每一点可以用红、绿、兰三个灰度混合成 $256 \times 256 \times 256$ 种不同的颜色。

图形输出的硬拷贝设备最常见的是打印机 (Printer) 和绘图仪 (Plotter)。

打印机是最常见的计算机输出设备，主要用来以字母和数字的形式，输出计算机工作的结果。打印机也可以用来输出图形，打印出来的图可以由可打印字符组成。某些打印机可以用点阵技术打印离散点来形成图。当配备多色色带时，有些打印机还能打印产生适宜的彩色图形。打印机可以认为是一种光栅扫描式的硬拷贝设备，打印过程是自左至右，自顶向下地进行。

绘图仪常见的是平板式的。平板式绘图仪在平铺于绘图桌表面的纸上绘图。有一个滑动架可以前后移动，绘图笔沿着滑动架移动。绘图笔可以抬起或落下。平板式绘图仪可以认为是一种随机扫描的硬拷贝设备，绘图笔可以在任意方向上做任意移

以达到 4096×3125 左右。常见的微型计算机例如 IBM-PC 图形显示有两种模式，高分辨率是 640×200 ，中分辨率是 320×200 。

显示屏上光点的亮度用灰度级表示。不同显示设备，屏幕上光点的亮度变化

动，从而在任意的次序下画出图来。

图形输入设备可以按照它们的逻辑功能分为下面的六类。

定位设备 (Locator)，用来指出屏幕画面上一个点的位置，以便在该位置进行必要的操作。

描画设备 (Stroke)，通过输入屏幕画面上一组点的位置而向应用程序指出一条路径或者一个轮廓。

检取设备 (Pick)，用于在屏幕显示出来的画面上取得一个部分供应用程序处理。

命令选择设备 (Choice)，用来从应用程序提供的一组可能选择中 (如各种命令或各种操作对象)，挑选出某一种。

数值输入设备 (Valuator)，用于输入一个数值。

字符串输入设备 (String)，用于输入一串字符。

实际的物理设备，由于其构造和性能的不同，可以具有上述一种或几种逻辑功能。例如，键盘主要用做字符串输入设备，但通常也可以输入数字而成为数值输入设备。通常都允许通过定义功能键来输入命令，所以又可以是命令选择设备。光笔是最常见的检取设备。操纵杆和鼠式定标器是定位设备，数字化仪可以是定位设备和描画设备。操纵杆、鼠式定标器和数字化仪都由于常常附带有按钮，所以都可以兼做命令选择设备。

实际的计算机图形设备种类繁多，并且还在迅速的发展之中。各种各样的图形设备，其结构和使用方法都有自己的特点，需要在使用有关设备的工作实践中，才能较好地掌握设备的性能。

图形设备对计算机图形学的发展有重要的影响。较之软件，硬件直接决定了图形学发展的道路，所以人们常以硬件的开发来划分图形学发展的阶段。

早期的计算机图形学，其赖以存在和发展的物质基础是数字绘图机与随机扫描的图形显示器。所处理的基本图形元素是线段，计算机图形学研究的问题都与之密切相关。图形设备价格昂贵，所以应用范围受到限制。随着光栅扫描显示技术的发展，这个局面被改变。光栅扫描的显示器价格低，可以与电视系统兼容，可以显示真实感很强的图形，这使计算机图形学应用领域大大扩展。而且面对做为物质基础的光栅扫描显示器，又有许多新课题被提出来，例如隐面消除，明暗和阴影处理等。显然，图形硬件的图形处理功能越强，就使主机和图形软件有可能去处理更加复杂的问题。可以说，计算机图形学的硬件研究与软件研究是相辅相成，互相促进的。

习 题

1. 什么是计算机图形学？什么是交互式计算机图形学？举出几个你所熟悉的计算机图形学的应用例子。
2. 解释下列名词：随机扫描，光栅扫描，像素，分辨率，灰度级。

第二章 计算机绘图程序设计

为了使用计算机完成绘图任务，必须有相应的图形软件。图形软件是用户使用实际图形设备的工具。图形软件系统可以具有自己特殊的图形语言，也可以是将通用计算机高级语言加以扩展来形成，扩展方法最常见的就是在原来的语言中加入实现绘图功能的子程序。

由于计算机系统及图形设备的类型、规模和功能有极大的不同，所以相应的软件系统也很不相同，但是都要具备某些基本的操作，例如抬起画笔或定出电子束的位置，落下画笔画出图形等等。本章要通过实例来介绍这些基本操作，讨论编制实现绘图任务的应用程序涉及到的一些基本问题。为了方便，介绍程序使用PASCAL程序设计语言，并且假定它已经经过扩展而包含了必要的绘图子程序，有关的绘图子程序在涉及到的时候解释。

§ 1 画点和画直线

应用图形设备绘图，需要在显示表面上移动图形设备的“笔”。例如在纸上移动绘图仪的笔，在显示屏幕上移动CRT电子束等等。每一笔划完成后，“笔”的位置停留在笔划结束时的最后位置上。人在纸上作图时，要不断选定落笔的位置。应用图形设备作图，也要控制好“笔”的位置。“笔”的位置通常在设备坐标系 (Device Coordinates) 中确定。设备坐

标系是设备本身规定的在显示表面上采用的坐标系。用户在编制绘图应用程序时，因为要考虑的图形对象多种多样，所以不希望涉及具体的设备坐标系，而希望能根据需要来选择坐标系。世界坐标系（World Coordinates），或者也叫用户坐标系（User Coordinates），就是用户根据需要的坐标系。这样，所要表现的图形对象可以在世界坐标系中确定，通过从世界坐标系到设备坐标系的一个映射，就可以在设备的显示表面上表现出来。

笔的当前位置用CP（Current Position）表示，设已有PASCAL过程move，可以确定CP。

move (x,y) 把CP定位在坐标 (x,y) 处。

画点和画直线是最基本的图形功能，设已有过程point 和 line可以实现这个功能。

point (x,y) 移动CP到 (x,y) 处并在那里画出一
点。

line (x,y) 从CP到 (x,y) 画一条直线段。

现在就可以写出画出坐标轴的过程axe。

PROCEDURE axe (x0, y0, dx, dy; real)

BEGIN

 move (x0 - dx, y0);

 line (x0 + dx, y0);

 move (y0 + dy, x0);

 line (y0 - dy, x0) .

END

现在比方说要画出坐标轴上的一条正弦函数的曲线，可以写出下面的程序段。画出的图形如图2.1所示。