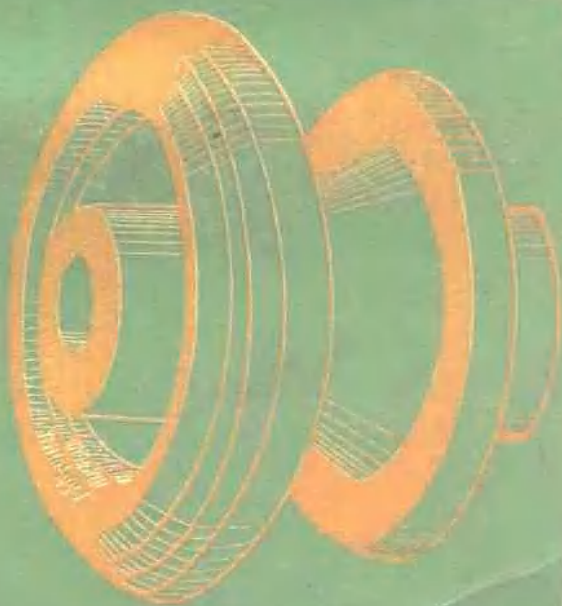


计算机图形显示 和 图象处理的算法

[美] T. 帕夫利迪斯 著



科学出版社

计算机图形显示 和图象处理的算法

〔美〕T. 帕夫利迪斯 著

吴成柯 译

樊昌信 校



科学出版社

1987

内 容 简 介

本书是系统讨论计算机图形显示、图象处理和图象识别的一本专著。全书共分十七章，主要内容有灰度图象的处理；图象分割；二值图象的处理，包括轮廓跟踪、轮廓填充和细化；曲线和曲面的拟合；以及三维的图形显示等。书中作者将图形显示、图象处理和图象的模式识别这三个领域结合起来进行深入的理论分析，然后给出了大量实用的算法。每章末还附有参考文献和习题。本书曾是作者在美国普林斯顿大学使用多年的教材。

本书可供从事计算机图形显示、CAD/CAM、图象处理、模式识别和工业自动化等领域工作的工程技术人员以及大专院校有关专业的师生参考。

35453/61
Theo Pavlidis

ALGORITHMS FOR GRAPHICS AND IMAGE PROCESSING

Computer Science Press, Inc., 1982

计算机图形显示和图象处理的算法

〔美〕T. 帕夫利迪斯 著

姜洪河 译

樊昌信 校

责任编辑：鞠丽娜

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1987年7月第一版 开本：850×1168 1/32

1987年7月第一次印刷 印张：13 1/8

印数：0001—7,200 字数：339,000

统一书号：15031·824

本社书号：4952·15—8

定价：3.70元

译 者 的 话

计算机图形显示、图象处理和图象的模式识别是利用计算机处理图象信息的三个领域。计算机图形显示研究由图象的描述产生图象,而图象的模式识别则研究由图象获得对它的描述,显然,它们之间是一对互逆的问题。这三个领域不仅有密切的联系,而且有很多共同的研究内容。基于三维物体模型的景物分析就是一个将这三个领域紧密结合的课题。由于高分辨率光栅显示器的不断发展,正在加速着这三个领域的结合。本书是第一本适应这一趋势而介绍这三个领域基本概念的教科书。它是作者在美国普林斯顿大学任教时用过的教材。

全书共分十七章。第一章为绪论;第二至四章讨论灰度图象的处理;第五章介绍计算机层析摄影中所用的重建技术;第六章讨论数据结构;第七至九章讨论对二值图象的处理,包括轮廓跟踪、填充和细化;第十至十三章讨论曲线和曲面拟合;第十四至十七章讨论图形的显示。本书在理论分析的基础上,给出了大量实用的算法。每章末还附有参考文献和习题。

西北电讯工程学院樊昌信教授对全书的译稿进行了校订。在翻译过程中还得到了吴立德和李叔梁两位副教授的帮助。在此对他们表示衷心的感谢。

在翻译过程中对原著中的某些错误已作了订正。

由于译者水平有限,书中难免会有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

译者

1985年12月于西北电讯工程学院

前 言

近十年来的技术发展使计算机图形显示和用计算机来进行图象处理变得十分普及。图象的模式识别也取得了重大进展。显然，在这三个研究领域，有些问题是相互重叠的。图形显示对涉及图象处理或图象模式识别工作的任何人来说都有关系，而为了解决计算机图形显示中的许多问题，又需要利用图象处理中所使用的方法。这三个领域中所用的数据结构是类似的。看来应有一门公共的学问作为这三个领域的基础，它就是用计算机进行图象信息处理。

由于这是一些崭新的领域，因而，要想安排一门课程或写一本书来包括其基本概念是相当困难的。一些计算机图形显示方面的论著集中讨论当前感兴趣的硬件和方法，而图象处理方面的论著往往强调应用和经典的信号处理方法。然而技术上的迅速发展使得这些著作失去了它的适用性。例如，光纤的发展已经降低了带宽压缩的重要性。类似地，光栅图形显示设备的降价使计算机图形显示领域中的重点发生了很大的变化。作为一门入门性的课程，应把重点放在那些长期适用的内容上。图象信息处理中所用的数学工具看来具有这种长期有用的性质，因此，我将重点放在这些内容上。有些题目除要用到分析工具外，还必须附加一些试探性的方法或感性的知识，基于上面同样的理由，我不将其作为重点。例如，尽管我对形状分析有很浓厚的兴趣，而且一直是我的主要研究领域，然而，书中仅仅用了两节来讨论它。反之，细化算法具有很明确的目标，并且对很多模式识别方案来说均可适用，因此，对它讨论得较为详细。我希望读者不要产生细化是形状分析的核心这样一种印象。与此类似，这里对数学工具的强调并不意味着掌握了它就足以设计出好的图象信息系统，还必须熟悉计算机

工程,人的视觉原理,并了解一些视觉艺术。

本书的大部分材料已于1978年和1980年在普林斯顿大学我所讲授的课程中用过两次。听众主要是学习计算机科学的四年级和三年级学生。另外,一些二年级学生和研究生以及学习数理科学和工程科学的学生也听了这门课。总的来说,他们具有扎实的计算机基础,并且都是熟练的程序员。因此,没有对他们介绍简单的计算机科学的概念。为了使了解当前的技术发展水平,这门课程还补充有实验、客座演讲以及实习。在这本书里,我力图使特殊的应用和试探法减至最少。

开设这样一门课程的教师所遇到的一个特殊问题是图象信息处理涉及到广泛的数学和计算基础知识。微积分、初等统计学、初等图论、几何学、信号处理、数据结构、算法分析以及程序设计都是所需要的基础。可惜,过早划分专业使学生很难获得这样的基础。这不仅给讲授这门课程造成困难,而且对在该领域中取得研究进展也造成一个实际的障碍。例如,图象分割要求兼有统计信号处理、数据结构和算法方面的专业知识。当前的教学计划很少为学生提供机会以获得这些知识。

本书的安排如下:第一章是绪论,叙述图象数据的形式。大致上按照灰度(第一类)、二值或二进制(第二类)、曲线(第三类)以及点或多边形(第四类)将其区分为四种形式。第二章到第四章讨论灰度图象并着重讨论变换和统计技术。第五章介绍在计算机层析摄影中所用的重建技术。为了理解讨论第一类图象的这四章内容,需要先修一门信号处理的初级课程,而本书的其余部分与这一基础无关。第六章讨论图象数据的数据结构,而第七至九章所讨论的主题是处理二值图象以及诸如轮廓跟踪、轮廓填充和细化等问题。这三章给出的所有算法实质上是图的遍历算法。这里,假定读者熟悉图的术语。第十至十三章讨论曲线和曲面拟合。虽然在形式上它们仅与简单微积分的知识有关,但具备深一些的数学基础是有益的。第十四至十七章讨论图形显示的产生,所用的基本方法是线性代数的方法,在这几章中主要讨论第四类图象。

书中某些章的内容比一门基本课程所需要的内容要多，特别是在第八，九，十，十一和十五章中更是如此。在这几章中写进了一些附加的基本算法，这些算法对这方面的专门人材是有用的。对一个学期的课程来说，在讲授轮廓填充、细化或多边形剪裁时，最好分别各围绕着一种算法来讨论，但也可以只选择其中最简单的算法如 8.4, 9.4 和 15.2。对这样的课程，只讨论贝齐尔 (Bezier) 多项式、样条和均匀结点分布的样条，也许已是足够的了(对曲线拟合最起码的介绍按次序仅包括 10.1, 10.2, 11.1 至 11.3, 11.6 和 11.7 以及 10.8 各节)。

如果要讲授的课程范围比本书所包括的范围窄得多，可以把某些章全部删去。侧重于计算机图形显示的课程可以只包括第一，六至八，十，十一以及十三至十七章。侧重于图象处理的课程可以只包括第一至七章以及第九章。第四，九以及十二章与图象的模式识别关系很密切。

本书的写作从 1977 年下半年开始，历经三年半的时间才完成，并且是在普林斯顿大学、伯克利的加利福尼亚大学以及自 1980 年 6 月以后在新泽西州默里山的贝尔电话实验室这三个地方写成的。第一份手稿是 1980 年初完成的，并作为普林斯顿大学春季学期的课本。内容扩充后的修订本是于 1981 年冬天完成的。

我荣幸地得到了很多人的帮助，他们很热情地抽出时间来仔细阅读手稿的各次版本。Doug McIlroy 对手稿的技术内容和形式都提出了很多意见。他的建议包括对很多命题和定理所作的简洁的证明。Carolyn M. Bjorklund, Lorinda L. Cherry, Chris Van Wyk 以及吴立德对全书提出了很多建设性的意见。曲线拟合部分是根据 Carl de Boor 的建议改进的。Larry Shepp 给我提供了关于重建技术部分的意见。曾给我以帮助的人还有：Larry S. Davis, Kenneth Fasman, Stein Grinaker, R. Hilbert, Christopher Larson 以及 Murray Loew, 他们发现了手稿中的错误并提出了一些有益的建议。编辑 Carolyn Ormes 不仅在语言方面，而且在数学公式方面指出了我的错误，使我感到意外的高兴。

图 3.8 的矩阵是由 P. C. Chen 计算的。第一至五章例子中所用的大部分图象是 John F. Jarvis 给我的，他还向我提供实验室的设备以获得计算机显示器的硬拷贝。这里还要感谢 Stanley S. Siegelman 博士向我提供图 5.1 的原稿，Ken Knowlton 提供图 6.8 的原稿，Turner Whitted 提供图 17.1 的原稿以及 David M. Weimer 提供图 17.2 的原稿。

手稿和最终的教科书是用普林斯顿大学和贝尔实验室的 UNIX¹⁾操作系统的各种软件来准备的。本书对错误的检查是利用 Lorinda L. Cherry 的程序 *spell*, *diction* 和 *style* 进行的。最后的版本是利用格式程序 *tbl*, *eqn* 和 *troff* 产生的。图 10.8, 11.4, 11.9, 12.1, 12.7, 12.8 以及封面是用 Brian W. Kernighan 的 *pic* 语言产生的（封面图案上的光滑曲线是用 11.7 节所讨论的那种 B-样条来形成的）。图 15.1 和 17.7 是用 Chris Van Wyk 的 *ideal* 语言产生的。图 10.1 是由通用绘图子程序在照相排字机上运行而得到的。

最后要感谢我的妻子 Marion 和孩子 Paul, Karen 和 Harry 在我沉湎于写这本书时所表现的忍耐和理解。他们的帮助往往更直接一些，Marion 将原先以普通写法写成的教科书的大部分用 UNIX 送进计算机，Paul 指出了艺术家所用的遮荫规则（13.10 节）。

T. 帕夫利迪斯

1981 年 9 月 30 日

1) UNIX 是贝尔实验室的一种注册商标。

目 录

第一章 绪论	1
1.1 计算机图形显示、图象处理和模式识别	1
1.2 图象数据的形式	4
1.2.1 第一类: 全灰度图象和彩色图象	4
1.2.2 第二类: 二值或“少色”图象	4
1.2.3 第三类: 连续的曲线和直线	5
1.2.4 第四类: 点或多边形	6
1.3 图象的输入	7
1.4 显示设备	9
1.5 矢量图形显示	11
1.6 光栅图形显示	12
1.7 通用的基本图形显示指令	15
1.8 矢量图形显示和光栅图形显示的比较	17
1.9 图象的编辑程序	17
1.10 图象的变换	19
1.11 算法符号	21
1.12 关于复杂度的几句话	23
1.13 文献注释	24
习题	25
第二章 灰度图象的数字化	26
2.1 导言	26
2.2 傅里叶和其它变换的回顾	26
2.3 取样	30
2.3.1 一维取样	30
2.3.2 二维取样	33

2.4 混叠	35
2.5 量化	37
2.6 文献注释	39
习题	40
附录 2.A 快速傅里叶变换	41
第三章 灰度图象的处理	44
3.1 引言	44
3.2 直方图和直方图均衡	46
3.3 共生矩阵	50
3.4 线性图象滤波	53
3.5 非线性图象滤波	56
3.5.1 方向滤波器	57
3.5.2 两部件滤波器	57
3.5.3 函数逼近滤波器	58
3.6 文献注释	58
习题	59
第四章 分割	61
4.1 引言	61
4.2 置定门限	62
4.3 边缘检测	63
4.4 用区域生长分割	64
4.4.1 用平均亮度电平分割	65
4.4.2 其它均匀性准则	68
4.5 文献注释	68
习题	69
第五章 投影	70
5.1 引言	70
5.2 重建技术概述	70
5.3 一类重建算法	73
5.4 投影用于形状分析	78

5.5 文献注释	83
习题	84
附录 5.A 一个基本的重建程序	85
第六章 数据结构	94
6.1 引言	94
6.2 图遍历算法	95
6.3 分页	98
6.4 金字塔或四叉树	100
6.4.1 四叉树的建立	101
6.4.2 由四叉树重建图象	103
6.4.3 用四叉树压缩图象	105
6.5 二叉图象树	106
6.6 分裂和合并算法	107
6.7 行编码和行相邻图	111
6.8 区域编码和区域相邻图 (RAG)	115
6.9 图象表示	117
6.10 显示所用的数据结构	117
6.11 文献注释	118
习题	118
附录 6.A 图的概述	120
第七章 二值图象	121
7.1 引言	121
7.2 取样和拓扑	122
7.3 离散几何初步	125
7.4 第二类图象的取样定理	129
7.5 轮廓跟踪	133
7.5.1 单个轮廓的跟踪	134
7.5.2 一个区域的所有轮廓的遍历	135
7.6 离散栅格上的曲线和直线	138
7.6.1 何时一个象素的集合不是一条曲线	140

7.6.2 何时一个像素的集合是一条曲线	142
7.7 多重像素	142
7.8 形状分析概述	148
7.9 文献注释	152
习题	152
第八章 轮廓填充	154
8.1 引言	154
8.2 边缘填充	156
8.3 用奇偶检验作轮廓填充	160
8.3.1 算法 8.3 正确性的证明	163
8.3.2 奇偶检验算法的实现	166
8.4 用连通性作轮廓填充	167
8.4.1 递归的连通性填充	167
8.4.2 非递归的连通性填充	168
8.4.3 连通性填充所用的过程	169
8.4.4 主算法的描述	170
8.5 比较和结合	176
8.6 文献注释	178
习题	179
第九章 细化算法	180
9.1 引言	180
9.2 经典的细化算法	182
9.3 异步细化算法	185
9.4 一种异步细化算法的实现	187
9.5 快速细化算法	191
9.6 结构的形状分析	193
9.7 二值图象至线条画的变换	194
9.8 文献注释	197
习题	197
第十章 曲线拟合与曲线显示	199

10.1	导言	199
10.2	多项式插值	200
10.3	Bezier 多项式	204
10.4	Bezier 多项式的计算	206
10.5	Bezier 多项式的某些性质	210
10.6	圆弧	213
10.7	线和曲线的显示	217
10.7.1	通过微分方程实现曲线的显示	218
10.7.2	显示中舍入误差的影响	220
10.8	点编辑程序	221
10.8.1	点编辑程序的数据结构	222
10.8.2	点编辑程序的输入和输出	225
10.9	文献注释	226
	习题	226
第十一章	样条曲线拟合	229
11.1	导言	229
11.2	基本定义	230
11.3	B-样条	233
11.4	B-样条计算	239
11.5	插值的 B-样条	240
11.6	图形显示中的 B-样条	244
11.7	形状描述和 B-样条	248
11.8	文献注释	250
	习题	251
第十二章	曲线逼近	253
12.1	导言	253
12.2	积累平方误差逼近	254
12.3	B-样条逼近	256
12.4	具有可变间断点的样条逼近	257
12.5	多边形逼近	259

12.5.1	次最佳直线拟合算法	261
12.5.2	简单的多边形拟合算法	265
12.5.3	算法 12.2 的性质	267
12.6	图形显示中曲线逼近的应用	269
12.6.1	用点编辑程序处理点群	269
12.6.2	求某些简单的逼近曲线	270
12.7	文献注释	273
	习题	273
第十三章	曲面拟合与曲面显示	275
13.1	导言	275
13.2	曲面的某些简单性质	276
13.3	曲面的奇异点	278
13.4	线性 and 双线性的插值曲面分块	279
13.5	放样曲面	281
13.6	孔斯 (Coons) 曲面	282
13.7	导引曲面	285
13.7.1	Bezier 曲面	285
13.7.2	B-样条曲面	286
13.8	曲面分划的选择	287
13.9	曲面和遮荫的显示	288
13.10	文献注释	290
	习题	291
第十四章	二维图形显示的数学	292
14.1	导言	292
14.2	二维变换	294
14.3	齐次坐标	297
14.3.1	由两点定义的直线方程	298
14.3.2	用两直线交点定义的点的坐标	299
14.3.3	对偶性	299
14.4	线段问题	300
14.4.1	点相对于线的位置	302

14.4.2	线段的相交	303
14.4.3	点相对于多边形的位置	305
14.4.4	线段阴影	306
14.5	文献注释	307
	习题	307
第十五章	多边形剪裁	309
15.1	引言	309
15.2	凸多边形剪裁线段	309
15.3	正矩形剪裁线段	315
15.4	线剪裁任意多边形	318
15.5	两多边形的相交	321
15.6	有效的多边形相交	323
15.7	文献注释	327
	习题	328
第十六章	三维图形显示的数学	329
16.1	引言	329
16.2	齐次坐标	330
16.2.1	点相对于平面的位置	331
16.2.2	三角形的相交	333
16.3	三维变换	334
16.3.1	数学准备	334
16.3.2	围绕通过原点的轴线旋转	335
16.4	正交投影	337
16.5	透视投影	339
16.6	文献注释	343
	习题	343
第十七章	建立三维图形显示	345
17.1	引言	345
17.2	隐藏线和隐藏面问题	347
17.2.1	曲面阴影	347
17.2.2	解决可见性问题的方法	349

17.2.3 单个凸物体的可见性	350
17.3 四叉树可见性算法	350
17.4 光栅线扫描可见性算法	354
17.5 相关性	356
17.6 非线性物体描述	359
17.7 建立自然感的显示	363
17.8 文献注释	365
习题	366
照片	368
参考文献	381
主题索引	392
算法索引	402

第一章 绪 论

1.1 计算机图形显示、图象处理和模式识别

在不同的应用场合下,用计算机处理图象数据有不同的方式.习惯上这类工作分成如下的三个领域:计算机图形显示、图象处理和图象的模式识别.

计算机图形显示讨论由非图象的信息产生图象,并讨论其各种应用.为产生图形显示所要求的程序的复杂度和计算工作任务不同而变化很大¹⁾.按复杂度增加的次序,显示的例子包括:函数或实验数据的曲线绘制,为日益普遍的计算机游戏编制显示图形,以及产生用于飞行模拟器中的景物.我们知道,上述的曲线是不随时间变化的,而游戏的显示图形则随时间变化.模拟器景物不仅随时间变化,而且还必须产生深度的感觉.计算机美术和动画是计算机图形显示的两个应用,它们不仅要求技术上的专门知识,而且还要求其它方面的才能.近来,这些应用看来是最迅速发展着的领域.交互式图形显示一词指的是:设备和系统接受来自用户的输入,而此输入又是用设备和系统所产生的显示表示的.举例来说,要求在屏幕上由用户所指定的两点之间画一条线.

图象处理讨论的问题中,输入和输出两者均为图象.图象传输系统是它的一个例子,在该系统中关心的是滤除噪声和数据压缩.曝光过度或不足的图象,以及模糊的图象能用对比度增强技术来改善.有时需要使用更为有效的变换.一幅亮度范围宽的图象可以被减缩到看来只有两种亮度的图象,所得的这种剪影图象还可以进一步简化为线条状图形.有时,我们甚至可以由一组其

1) 读者不要把程序的复杂度和通常所谓的计算复杂度,即执行程序所要求的计算工作混淆起来.关于这一问题详见 1.12 节.