

# 数字图象处理



美 J. R. C. 冈萨雷斯 P. 温茨 著 科学出版社

# 数字图象处理

〔美〕 R. C. 冈萨雷斯 P. 温茨 著

李叔梁 等 译

科学出版社

1983

## 内 容 简 介

本书是关于图象信息处理技术的一本讲解全面而系统的新著。书中图文并茂,分析深入浅出,较为详细地介绍了图象信息处理技术中的各种理论和处理方法。全书共分七章:绪论;数字图象基础;图象变换;图象增强;图象复原;图象编码;图象分割和描绘。

本书读者对象为:计算机信息处理、自动化、无线电遥感、地球物理、生物工程等专业的大学教师、研究生、高年级学生、科学研究人员和工程技术人员。

R. C. Gonzalez p. Wintz

## DIGITAL IMAGE PROCESSING

Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1977

## 数 字 图 象 处 理

[美] R. C. 冈萨雷斯 P. 温茨 著

李叔梁 等 译

责任编辑 魏 玲 李 立

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

\*

1981 年 4 月第 一 版 开本 787×1092 1/32

1983 年 10 月第三次印刷 印张 14 3/4 插页 3

印数 11,401—17,800 字数 333,000

统一书号 15031·332

本社书号 2062·15-7

定 价: 2.40 元

## 译 者 的 话

本书系原作者在为大学高年级学生和研究生编写的讲义之基础上整理而成，是“应用数学和计算方法”丛书之一。本书的主要目的是介绍有关数字图象处理的基本理论、概念和方法。本书的特点是概念清楚，讲解上深入浅出，利用数学分析与计算机处理相结合的方法较为实际地进行了分析研究，并把处理结果用大量图片显示给读者。

本书第一章和第二章简单介绍了图象处理系统的构成和将在其后各章中用到的基本概念。第三章讨论图象变换，这是图象处理的理论基础。第四章和第五章讨论改善图象的基本技术——图象增强和图象复原。第六章讨论图象编码技术，这种技术对图象信息的压缩和传送是非常重要的。最后，第七章讲解图象的分割和描绘，这是模式识别和景物分析过程中的极为重要的预备步骤。

参加本书翻译工作的有清华大学无线电系图象信息教研组的同志：李叔梁（第二章和第五章）、容观澳（第一章和第七章）、吴国威（第四章）、濮群（第三章）、吴中权（第三章和第六章中的一部分）、丁晓青（第六章）、于世泽（前言和插图）。全书由李叔梁同志进行了总校。

由于译者水平所限，译文中有错误和不当之处，希望读者批评指正。

## 丛书编辑者的前言

现代的数字计算机的执行时间是以毫微秒来计算的。它们能以高速度和高精度解出几百个联立常微分方程。但是这样巨大的能力对于解决科学、工程、经济和面对人类的社会问题意味着什么？显然，必须要付出许多努力以便找到该问题的答案。

在一些领域中，我们还不能用数学方程式精确地描述我们所感兴趣的过程。然而，计算机可以用来简单地模拟一个过程，或者观察不同的控制过程的效果。另外，即使可以用数学描述某一过程，但对其方程取得数值解却常常是很困难的。在这样的情况下，要大胆地正视困难，从而有可能去克服它。换句话说，我们可以找到更能适合于计算机本能的一些公式。数学本身不断壮大并且被这样一些新发展所壮大。

计算机的速度和内存容量每增加一个数量级都需要对计算技术进行新的审查，并需要对可以纳入解决的领域中来的新问题进行评价。本丛书中的各册书将对问题公式化、数学分析和计算处理等内容提供最新的设想。

数字图象处理涉及许多领域——医学诊断、行星物理、机器人和工业检验，还可列举一些。但正如这些应用都是很有用的一样，对它们提出的概念则更加迷人。在这本大学高年级学生和研究生水平的书中，作者深入浅出地叙述了数字图象处理的概念，并在这方面显示了极大的技巧。本书之所以在这套丛书中特别受欢迎，是因为它采用了一种数学分析和

计算相结合的典范方法,获得了非常有效的结果。

罗伯特·卡拉巴

(Robert Kalaba)

## 作 者 前 言

对图象处理技术的注意最早可追溯到二十年代。当时第一次在纽约和伦敦之间通过海底电缆传输了世界上重大新闻的数字化图象。然而,直到六十年代中期第三代数字计算机开始提供对于图象处理的算法在实际执行过程中所需要的速度和存贮能力的条件之后,数字图象处理的概念才得到了普遍的应用。此后,这个领域取得了生气勃勃的发展,使它成为象工程学、计算机科学、信息科学、统计学、物理、化学、生物学和医学这些领域中的各学科之间学习和研究的对象。这些成果的取得,奠定了图象处理在各种各样的问题中的使用价值,这些问题包括从对空间探测所得到的图片的恢复与增强到商业交往中的指纹的处理。

本书的主要目的是介绍有关数字图象处理的基本概念和技术,从而打好在这个领域中作为进一步学习和研究的基础。为了达到这些目的,我们已把注意力集中到我们认为基本内容方面,同时在这里所应用的范围并不局限于一些特殊的问题。本文所包括的大部分课题都已由作者在田纳西(Tennessee)大学和普陀(Purdue)大学中的高年级学生和一年级研究生中讲授过。本书还包括有短训班及报告讨论会所提供的修订材料。学生的数学水平最好达到工程学和计算机科学等技术专业中的高班的水平。需要预先准备好计算机程序设计,矩阵理论,概率论,以及数学分析等知识。

把学生们吸引到图象处理课程方面来的要点之一就是使学生们有机会利用实际的数据去实验和完成在课堂上所学到

的基本概念和算法，这点是我们已取得的经验。为此所需要的理想条件是由一台图象处理系统所提供的，该系统包括图象数字转换器，通用计算机和图象显示设备。若得不到这种系统，则可利用本书的附录提供的另外一种程序。附录 A 包括一个为在普通打印机上显示灰度色调图象的 FORTRAN 子程序，而附录 B 包括一套编码图象，它适合于利用本课文所讨论的方法进行实验。这份材料几乎可以和任何通用计算机一起使用，从而使读者利用图象处理技术通过算法工具和显示器显出的结果获得知识。

《数字图象处理》是由埃迪森-韦斯利 (Addison-Wesley) 出版的三本有关的图书 (高级教程大纲) 之一。这三本图书的第一册《模式识别原理》(Tou 和 Gonzalez, 1972) 讲述了确定的、统计的和语法学模式识别的概念。后面的命题在《语法学模式识别》一书中以较大的深度给以论述。《导论》(Gonzalez 和 Thomason 在准备中) 可以单独使用或作为《模式识别原理》一书的补充。这些书的目的是为了对模式识别和图象处理概念方面提供统一的引导性的论述，其重点放在基础和符号的一致性方面。

R. C. 冈萨雷斯

P. 温茨

# 目 录

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 译者的话               | i   |
| 丛书编辑者的前言           | iii |
| 作者前言               | v   |
| 第一章 绪 论            | 1   |
| 1.1 背景             | 1   |
| 1.2 数字图象的表示法       | 5   |
| 1.3 数字图象处理系统的部件    | 7   |
| 1.3.1 数字转换器        | 7   |
| 1.3.2 图象处理器        | 9   |
| 1.3.3 显示设备         | 10  |
| 1.4 本书的组成          | 12  |
| 参考资料               | 13  |
| 第二章 数字图象基础         | 14  |
| 2.1 视觉的原理          | 14  |
| 2.1.1 人类眼睛的构造      | 14  |
| 2.1.2 眼睛中图象的形成     | 16  |
| 2.1.3 亮度的适应能力和鉴别能力 | 17  |
| 2.2 图象模型           | 22  |
| 2.3 均匀取样和量化        | 24  |
| 2.4 非均匀取样和量化       | 31  |
| 2.4.1 非均匀取样        | 31  |
| 2.4.2 非均匀量化        | 32  |
| 2.5 照相胶片           | 32  |
| 2.5.1 胶片结构和曝光      | 33  |
| 2.5.2 胶片特性         | 34  |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 2.5.3 光圈和快门装置 .....    | 36  |
| 2.6 总结要点 .....         | 37  |
| 参考资料 .....             | 37  |
| 第三章 图象变换 .....         | 39  |
| 3.1 傅立叶变换的简介 .....     | 39  |
| 3.2 离散的傅立叶变换 .....     | 45  |
| 3.3 二维傅立叶变换的某些性质 ..... | 51  |
| 3.3.1 可分离性 .....       | 55  |
| 3.3.2 平移 .....         | 56  |
| 3.3.3 周期性和共轭对称性 .....  | 57  |
| 3.3.4 旋转 .....         | 59  |
| 3.3.5 分配性和比例性 .....    | 60  |
| 3.3.6 平均值 .....        | 60  |
| 3.3.7 拉普拉斯算子 .....     | 61  |
| 3.3.8 卷积和相关 .....      | 62  |
| 3.3.9 抽样 .....         | 74  |
| 3.4 快速傅立叶变换 .....      | 83  |
| 3.4.1 FFT 算法 .....     | 84  |
| 3.4.2 运算次数 .....       | 87  |
| 3.4.3 逆 FFT .....      | 88  |
| 3.4.4 执行 .....         | 89  |
| 3.5 其它图象变换 .....       | 93  |
| 3.5.1 通用公式 .....       | 93  |
| 3.5.2 沃尔什变换 .....      | 96  |
| 3.5.3 哈达玛变换 .....      | 102 |
| 3.5.4 离散余弦变换 .....     | 109 |
| 3.5.5 霍特林变换 .....      | 111 |
| 3.6 总结要点 .....         | 120 |
| 参考资料 .....             | 120 |
| 第四章 图象增强 .....         | 123 |

|            |                        |            |
|------------|------------------------|------------|
| 4.1        | 背景 .....               | 123        |
| 4.2        | 用直方图修改技术进行图象增强 .....   | 126        |
| 4.2.1      | 基础 .....               | 126        |
| 4.2.2      | 直方图均衡化 .....           | 128        |
| 4.2.3      | 直接直方图规定化 .....         | 134        |
| 4.3        | 图象平滑化 .....            | 144        |
| 4.3.1      | 邻域平均法 .....            | 144        |
| 4.3.2      | 低通滤波器法 .....           | 147        |
| 4.3.3      | 多图象平均法 .....           | 162        |
| 4.4        | 图象尖锐化 .....            | 165        |
| 4.4.1      | 微分尖锐化 .....            | 165        |
| 4.4.2      | 高通滤波法 .....            | 170        |
| 4.5        | 根据一种图象模型进行增强 .....     | 176        |
| 4.6        | 伪彩色图象处理 .....          | 180        |
| 4.6.1      | 彩色基础 .....             | 181        |
| 4.6.2      | 密度分层 .....             | 184        |
| 4.6.3      | 灰度级到彩色的变换 .....        | 186        |
| 4.6.4      | 滤波方法 .....             | 188        |
| 4.7        | 总结要点 .....             | 192        |
|            | 参考资料 .....             | 192        |
| <b>第五章</b> | <b>图象复原 .....</b>      | <b>193</b> |
| 5.1        | 退化模型 .....             | 194        |
| 5.1.1      | 几个定义 .....             | 194        |
| 5.1.2      | 连续函数的退化模型 .....        | 195        |
| 5.1.3      | 离散公式 .....             | 197        |
| 5.2        | 循环矩阵和分块循环矩阵的对角线化 ..... | 202        |
| 5.2.1      | 循环矩阵 .....             | 202        |
| 5.2.2      | 分块循环矩阵 .....           | 204        |
| 5.2.3      | 对角线化对退化模型的影响 .....     | 206        |
| 5.3        | 复原的代数方法 .....          | 210        |

|                                              |            |
|----------------------------------------------|------------|
| 5.3.1 非约束复原 .....                            | 210        |
| 5.3.2 约束复原 .....                             | 211        |
| 5.4 反向滤波器 .....                              | 212        |
| 5.4.1 公式化 .....                              | 212        |
| 5.4.2 去掉因均匀直线运动引起的模糊 .....                   | 215        |
| 5.5 最小二乘方(维纳)滤波器 .....                       | 221        |
| 5.6 约束的最小二乘方复原 .....                         | 225        |
| 5.7 会话型复原 .....                              | 232        |
| 5.8 总结要点 .....                               | 241        |
| 参考资料 .....                                   | 241        |
| <b>第六章 图象编码</b> .....                        | <b>243</b> |
| 6.1 保真度准则 .....                              | 244        |
| 6.1.1 客观保真度准则 .....                          | 244        |
| 6.1.2 主观保真度准则 .....                          | 245        |
| 6.2 编码处理 .....                               | 247        |
| 6.2.1 映射 .....                               | 247        |
| 6.2.2 量化器 .....                              | 250        |
| 6.2.3 编码器 .....                              | 252        |
| 6.3 无误差编码 .....                              | 261        |
| 6.3.1 例1 为存贮人造地球卫星(LANDSAT)图象<br>的微分编码 ..... | 261        |
| 6.3.2 例2 等值线编码 .....                         | 269        |
| 6.3.3 例3 对于洪水图的行程编码 .....                    | 283        |
| 6.4 与保真度准则有关的图象编码 .....                      | 294        |
| 6.4.1 例1 微分脉码调制(DPCM) .....                  | 294        |
| 6.4.2 例2 变换编码 .....                          | 299        |
| 6.4.3 例3 对于RPV TV的混合编码 .....                 | 321        |
| 6.5 用映射变换器输出作为特征的应用 .....                    | 325        |
| 6.6 总结要点 .....                               | 336        |
| 参考资料 .....                                   | 337        |

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 第七章 图象的分割和描绘 ..... | 339 |
| 7.1 分割 .....       | 340 |
| 7.1.1 点相关技术 .....  | 341 |
| 7.1.2 区域相关技术 ..... | 352 |
| 7.2 区域描绘 .....     | 370 |
| 7.2.1 傅立叶描绘子 ..... | 370 |
| 7.2.2 矩 .....      | 375 |
| 7.2.3 拓扑描绘子 .....  | 380 |
| 7.3 关系描绘 .....     | 382 |
| 7.3.1 串文法和语言 ..... | 384 |
| 7.3.2 高维文法 .....   | 393 |
| 7.4 相似性描绘 .....    | 402 |
| 7.4.1 距离测度 .....   | 402 |
| 7.4.2 相关性 .....    | 403 |
| 7.4.3 结构相似性 .....  | 406 |
| 7.5 总结要点 .....     | 407 |
| 参考资料 .....         | 407 |
| 附录 A 图象显示子程序 ..... | 409 |
| 附录 B 编码的图象 .....   | 414 |
| 参考文献 .....         | 439 |
| 汉英名词对照 .....       | 448 |

# 第一章 绪 论

## 1.1 背 景

关于数字图象处理方法的兴趣是起源于两种主要应用范围：为了改善人类做判断用的图象信息，和为了处理自动装置感受的景物数据。在第一类范围内，图象处理技术首先应用之一就是改善在伦敦和纽约之间经海底电缆发送的数字化报纸的图片。早在本世纪廿年代，曾引入巴特兰（Bartlane）电缆图片传输系统，把横跨大西洋传送一幅图片所需的时间从一个多星期减少到小于三小时。为了用电缆传输图片，首先要进行编码，然后在接收端由专用打印设备进行图片重建。图 1.1 就是用这种方法进行传送的，并由一台电报打印机利用字符模拟中间色调把它还原出来。

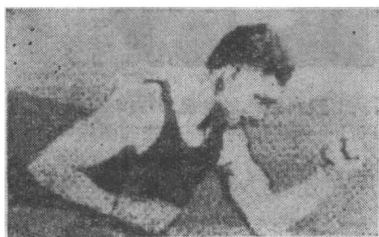


图 1.1 1921 年得到的一幅数字图象，是从编码纸带用特殊的字形由电报打印机打出的

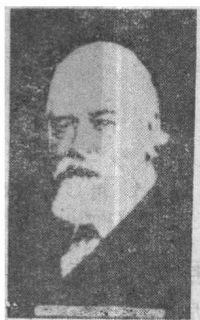


图 1.2 在信号两次穿越大西洋之后，由穿孔带得到的数字图象，可以看到某些差错

在那些早期的数字图象的视觉质量的改进中，某些原始问题涉及到打印过程的选择和亮度等级的分布。用来得到图 1.1 的打印方法到 1921 年底就被放弃了，而赞成另一种基于照象复制方式的技术，在电报接收终端用穿孔带打出。图 1.2 就是用这种方法得到的图象，比起图 1.1 来说，它在灰度、色调质量和在清晰度方面的改善都是明显的。

早先的巴特兰系统，能够按五个亮度等级对图象进行编码。这种能力到 1929 年就增加到十五个等级。图 1.3 表示的这种类型的图象能够用十五级灰度色调的设备来得到。在这段时期，复原的过程也有明显的改善，这是由于引入了一个用编码的图片纸带来调制光束从而使底板感光的系统。



图 1.3 用 15 种色调的设备，从伦敦到纽约用电缆进行传送的珀欣 (Pershing) 和福赫 (Foch) 两将军的未经修饰的图片

虽然，对传送的数字图片在处理方法上的改善一直延续到以后的三十五年，但直到大型数字计算机和空间规划出现后，人们才把注意力集中于图象处理的潜力上。采用计算机技术改善图象的工作，是从 1964 年在喷射推进实验室 (J.

P. L) 中进行的太空探测工作开始的。当时用计算机来处理测距器 7 号发回的月球图片，以校正飞船上的电视摄象机中各种不同形式的、固有的图象畸变。这些技术同样是改善图象增强和复原的方法的基础，这些图像来自众所周知的空间计划，例如从进行登月飞行的“探索者”，到“水手号”的一系列靠近火星的飞行以及阿波罗载人登月飞行。

从 1964 年，直到本书的写作期间，图象处理领域一直在蓬勃发展。今天，数字图象处理技术除了应用于空间计划以外，也在其它各种问题中得到应用。虽然，这些不同的应用往往是互相无关的，但它们都需要增强图象信息的方法，以便使人们能理解并分析这些图象信息所含内容。例如，在医学上，医生们借助于计算机的程序可增强对比度，或把亮度电平编码成为彩色，使得对于 X 光或其它生物医学的图像更易于理解。同样的或类似的技术由地理学家用于研究从空中或地球卫星得到的图象中的污秽图样。图象增强和复原的方法已经用来处理那些不能再恢复的物体或模糊的实验结果的图象。为了复制它们，费用是很大的，这在建筑学中已有例证。例如，在拍成照片后被遗失或损坏了的珍贵艺术品的唯一能利用的记录就是已经模糊了的图片（因年久而损坏或退化），这些模糊的图片可以用图象处理方法成功地加以复原。在物理学和有关领域中，高能等离子体和电子显微镜的实验中用到的图象就是用计算机技术来增强的。类似的图象处理概念的成功的应用实例可以在天文学、生物学、核子医学、法律实施、防御和工业应用等方面找到。

用数字图象处理技术得到结果的某些典型例子如图 1.4 所示。原始的图象在左边，计算机处理过的图象在右边。图 1.4(a) 是火星表面的图象，在从空间探测器传送到地球表面的过程中，它被干扰弄模糊了。这种情况下的干扰是一套垂

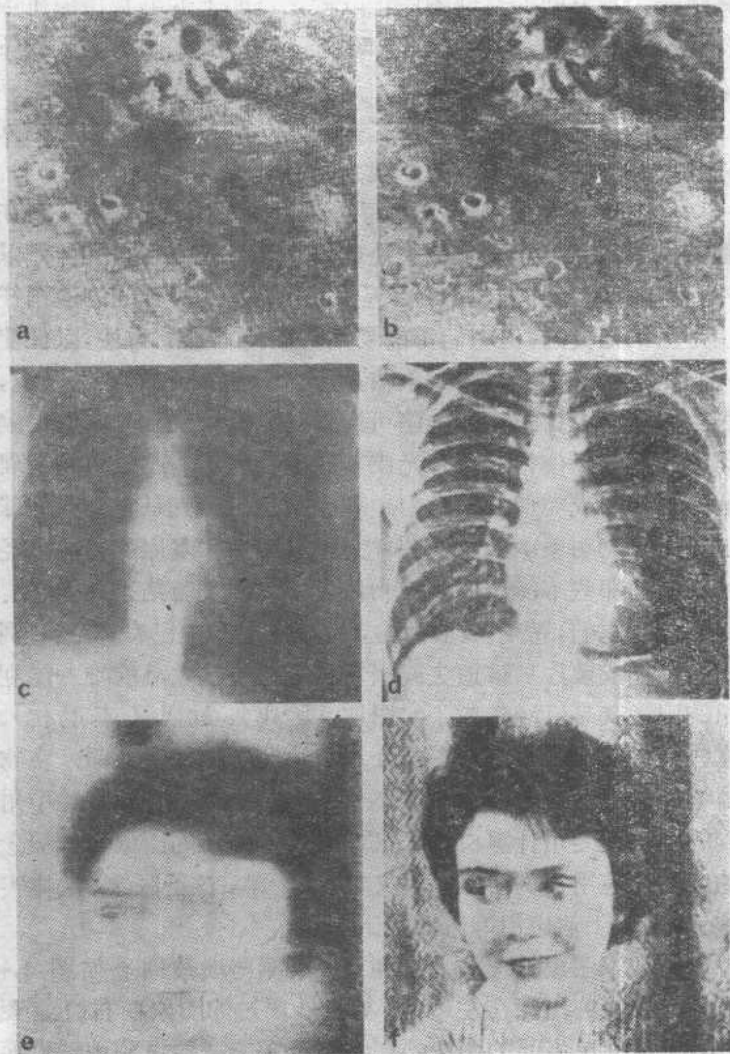


图 1.4 计算机处理的图象的例子