

数字图像处理

第1章 绪论 (1)

信息科学研究所

教材

数字图像处理学 (第三版)

阮秋琦 编著 电子工业出版社

参考书

1、Digital Image Processing (Third Edition),
R.C.Gonzalez, R.E.Woods. (原版)

2、数字图像处理 (第三版), 电子工业出版社
北京交大, 阮秋琦译 (中译本)

3、Computer Image Processing and
Pattern Recognition,

E.L.Hall University of Tennessee.

4、图像处理学, W.K.Pratt.

5、数字图像处理 (Digital Picture Processing)

A.Rosenfeld, 中译本 余英林等。

6、Digital Image processing using MATLAB.
(Second Edition) (原版),

Rafael C. Gonzalez. Richard E. Woods. Steven
L. Eddins7、

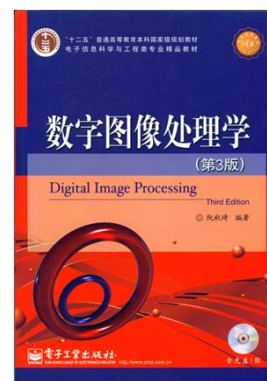
数字图像处理MATLAB版 (第二版)

阮秋琦(中译本) 清华大学出版社

8、数字图像处理 (Digital Image processing)

Kenneth.R.castleman 著

清华大学 林学闯等译





前言

人类传递信息的主要媒介是语音和图像。据统计，在人类接受的信息中，听觉信息占20%，视觉信息占60%，其他如味觉、触觉、嗅觉总起来不过占20%。所以，作为传递信息的重要媒体和手段——图像信息是十分重要的，俗话说“百闻不如一见”



一、数字图像处理的起源

公认的世界上**第一幅照片**是法国人尼埃普斯在1827年拍摄出来，1839年法国科学与艺术学院宣布盖尔获得摄影术专利。



数字图像处理的历史可追溯至二十世纪二十年代。最早应用之一是在报纸业，当时，引入巴特兰电缆图片传输系统，图像第一次通过海底电缆横跨大西洋从伦敦往纽约传送一幅图片。

为了用电缆传输图片，首先进行编码，然后在接收端用特殊的打印设备重现该图片。按照20世纪20年代的技术水平，如果不压缩，需要一个多周，压缩后传输时间减少到3个小时。



1929年通过海底电缆从伦敦到纽约传输的一幅照片



1921年经编码后用电报打印机打印的图像



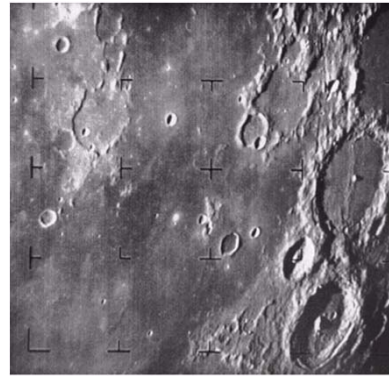
1922年两次通过大西洋后打印的数字图像

数字图像处理的历史与数字计算机的发展紧密相连。事实上，数字图像要求如此之大的存储和计算能力，以致于在图像处理必须依靠数字计算机、数据存储及传输方面的支撑技术的发展。

第一台能够进行图像处理的大型计算机出现在20世纪60年代。数字图像处理的起源可追溯至利用这些大型机开始的太空研究项目，可以说大型计算机与太空研究项目是数字图像处理发展的原动力。

利用计算机技术改善空间探测器拍摄的图像的工作开始于1964年，美国加利福尼亚的喷气推进实验室（帕萨迪那，加利福尼亚）对太空船“徘徊者7号”传送的月球图像进行了处理，以校正飞行器上电视摄像机中各种类型的图像畸变。

下图为徘徊者7号在1964年7月31日上午（东部白天时间）9点09分在光线影响月球表面约17分钟时摄取的第一张月球图像。这也是美国航天器取得的第一幅月球图像。



与空间应用同时，数字图像处理技术在20世纪60年代末和70年代初开始用于医学图像、地球遥感监测和天文学领域。

早在20世纪70年代计算机轴向断层(CAT)、简称计算机断层(CT)是图像处理在医学诊断应用中最重要的事件之一。



这些切片组成了物体内部的再现图像。

断层技术是Godfrey N. Hounsfield和Allan M. Cormack教授分别发明的，他们共同获得1979年诺贝尔医学奖。

X射线在1895年由威尔霍姆·康拉德·伦琴发现的，由于他的发现，他获得了1901年诺贝尔物理学奖。



1895年11月8日傍晚，他研究阴极射线时发现了X射线。

他发现的X射线可穿透千页书、2~3厘米厚的木板、几厘米厚的硬橡皮、15毫米厚的铝板等等。可是1.5毫米的铅板几乎就完全把X射线挡住了。

他偶然发现的X射线可以穿透肌肉照出手骨轮廓，于是有一次他夫人到实验室来看他时，他请她把手放在用黑纸包严的照相底片上，然后用X射线对准照射15分钟，显影后，底片上清晰地呈现出他夫人的手骨像，手指上的结婚戒指也很清楚。



这是一张具有历史意义的照片，它表明了人类可借助X射线，隔着皮肉去透视骨骼。1895年12月28日伦琴向维尔茨堡物理医学学会递交了第一篇X射线的论文“一种新射线——初步报告”，报告中叙述了实验的装置，做法，初步发现的X射线的性质等等。

X射线和X射线 CT 这两项发明相差近100年。但是，一个是科学发现，一个是技术创新，他们引领着图像处理某些最活跃的应用领域。

从20世纪60年代至今，数字图像处理技术发展迅速，目前已成为工程学、计算机科学、信息科学、统计学、物理、化学、生物学、医学甚至社会科学等领域中各学科之间学习和研究的对象。

如今图像处理技术已给人类带来了巨大的经济效益。不久地将来它不仅在理论上会有更深入的发展，在应用上亦是科学研究、社会生产乃至人类生活中不可缺少的强有力的工具。

二、图像处理科学对人类具有重要意义

(1)、图像是人们从客观世界获取信息的重要来源：人类是通过感觉器官从客观世界获取信息，即通过耳、目、口、鼻、手通过听、看、味、嗅和触摸的方式获取信息。在这些信息中，视觉信息占60%~70%。

视觉信息的特点是信息量大，传播速度快，作用距离远，有心理和生理作用，加上大脑的思维和联想，具有很强的判断能力。其次是人的视觉十分完善，人眼灵敏度高，鉴别能力强，不仅可以辨别景物，还能辨别人的情绪，由此可见，图像信息对人类来说是十分重要的。

(2)、图像信息处理是人类视觉延续的重要手段：

人的眼睛只能看到可见光部分，但就目前科技水平看，能够成像的并不仅仅是可见光，一般来说可见光的波长为 $0.38 \sim 0.8 \mu\text{m}$ ，而迄今为止人类发现可成像的射线已有多种，如：

γ 射线： $0.003 \text{ nm} \sim 0.03 \text{ nm}$ ；

x 射线： $0.03 \text{ nm} \sim 3 \text{ nm}$ ；

紫外线： $3 \text{ nm} \sim 300 \text{ nm}$ ；

红外线： $0.8 \mu\text{m} \sim 300 \mu\text{m}$ ；

微波 $0.3 \text{ cm} \sim 100 \text{ cm}$ ；

(3)、图像处理技术对国计民生有重要意义

图像处理技术发展到今天，许多技术已日趋成熟。在各个领域的应用取得了巨大的成功和显著的经济效益。如在工程领域、工业生产、军事、医学以及科学研究中的应用已十分普遍。

如：通过分析资源卫星得到的照片可以获得地下矿藏资源的分布及埋藏量；利用红外线、微波遥感技术可侦查到隐蔽的军事设施；*X-ray* CT已广泛应用于临床诊断，由于它可得到的人体内部器官的断层图像，为诊断和治疗疾病带来了极大的方便。

在工业生产中的设计自动化及产品质量检验中更是大有可为。在安全保障及监控方面图像处理技术更是不可缺少的基本技术；至于在通信及多媒体技术中图像处理更是重要的关键技术。因此，图像处理技术在国计民生中的重要意义是显而易见的。

三、图像处理技术的分类

模拟图像处理

数字图像处理

(1) 模拟图像处理(Analog image processing);

模拟处理包括：光学处理（利用透镜）和电子处理，如：照相、遥感图像处理、传统电视信号处理等，传统电视图像是模拟信号处理的典型例子，它处理的是活动图像，25帧/秒。

优点：

模拟图像处理的特点是速度快，一般为实时处理，理论上讲可达到光的速度，并可同时并行处理。

缺点：

模拟图像处理的缺点是精度较差，灵活性差，很难有判断能力和非线性处理能力。

(2) 数字图像处理(Digital Image processing):

数字图像处理一般都用计算机处理, 因此也称之为计算机图像处理 (Computer Image processing)。

优点:

处理精度高, 处理内容丰富, 可进行复杂的非线性处理, 有灵活的变通能力, 一般来说只要改变软件就可以改变处理内容。

缺点:

处理速度还是一个问题, 特别是进行复杂的处理更是如此。一般情况下处理静止画面居多, 如果实时处理一般精度的数字图像需要具有100Mips的处理能力;



"嫦娥一号"拍摄的月球全图

其次是分辨率及精度尚有一定限制, 如一般精度图像是 $512 \times 512 \times 8\text{bits}$, 分辨率高的可 $2048 \times 2048 \times 12\text{bits}$, 如精度及分辨率再高, 所需处理时间将显著增加。

四、 数字图像处理的特点

- (1) 图像信息量大、数据量也大;
- (2) 图像处理技术综合性强;
- (3) 图像信息理论与通信理论密切相关。

(1) 图像信息量大、数据量也大;

在数字图像处理中, 一幅图像可看成是由图像矩阵中的像素(pixel)组成的, 每个像素的灰度级至少要6bit (单色图像) 来表示, 一般采用8bit (彩色图像), 高精度的可用12bit 或16bit。

例如： $256 \times 256 \times 8 = 64\text{Kbytes}$
 $512 \times 512 \times 8 = 256\text{Kbytes}$
 $1024 \times 1024 \times 8 = 1\text{Mbytes}$
 $2048 \times 2048 \times 8 = 4\text{Mbytes}$

X光照片一般用64Kb~256Kb的数据量，一幅遥感图像 $3240 \times 2340 \times 4 = 30\text{Mbits}$ ，因此，大数据量给存储、传输和处理都带来巨大的困难。

(2) 图像处理技术综合性强；

数字图像处理涉及的基础知识和专业技术相当广泛。一般来说涉及通信技术、计算机技术、电子技术、电视技术，至于涉及到的数学、物理等方面的基础知识就更多。

当今的图像处理理论大多是通信理论的推广，只是把通信中的一维问题推广到二维，以便于分析，在此基础上，逐步发展自己的理论体系。因此，图像处理技术与通信技术休戚相关。

在图像处理工程中的信息获取和显示技术主要源于电视技术，其中的摄像、显示、同步等各项技术是必不可少的。

计算机已是图像处理的常规工具，在图像处理中涉及到软件、硬件、网络、接口等多项技术，特别是并行处理技术在实时图像处理中显得十分重要。

图像处理技术的发展涉及越来越多的基础理论知识，雄厚的数理基础及相关的边缘学科知识对图像处理科学的发展有越来越大的影响。总之图像处理科学是一项涉及多学科的综合性的科学。

(3) 图像信息理论与通信理论密切相关。

早在1948年Shannon发表了“*A mathematical Theory of Communication*”(通信中的数学理论)一文,它奠定了信息论的基础。此后,信息理论已渗透到了各个领域。图像信息论也属于信息论科学中的一个分支。

从当今的理论发展看,我们可以说,图像信息论是在通信理论研究的基础上发展起来的。图像理论是把通信中的一维问题推广到二维空间上来研究的,也就是说,通信研究的是一维时间信息;图像研究的是二维空间信息;

总之,通信中的一维问题都可推广到二维,尽管有些理论尚不完全贴切,但对图像自身理论体系的形成有极大的借鉴意义。

五、 数字图像处理的主要方法及主要内容

数字图像处理方法:

两大类: 空域法和变换域法。

A、空域法:

这种方法是把图像看作是平面中各个像素组成的集合,然后直接对这个二维数据进行相应的处理。空域处理法主要有两大类:

(1)、邻域处理法: 其中包括

梯度运算 (gradient Algorithm)

拉普拉斯算子运算 (Laplacian operator)

平滑算子运算 (Smoothing operator)

卷积运算 (Convolution algorithm)

(2)、点处理法: 如灰度处理 (grey processing), 面积、周长、体积、重心运算等等。

B、变换域法：

数字图像处理的变换域处理方法是首先对图像进行正交变换，得到变换域系数阵列，然后再施行各种处理，处理后再反变换到空间域，得到处理结果。

这类处理包括：滤波、数据压缩、特征提取等处理。

数字图像处理的主要内容：

完整的数字图像处理工程大体上可分为如下几个方面：

- ① 图像信息的获取；
- ② 图像信息的存贮；
- ③ 图像信息的传送；
- ④ 图像信息处理；
- ⑤ 图像信息的输出和显示。

1、图像信息的获取 (Image Information Acquisition):

主要是把一幅图像转换成适合输入计算机或数字设备的数字信号，这一过程主要包括摄取图像、光电转换及数字化等几个步骤。图像获取的方法有如下几种：

(1) 电视摄像机 (Video Camera):

这是目前使用最广泛的图像获取设备。早期主要有光电摄像管、超正析摄像管等。近年来，主要是采用CCD摄像设备。

特点：设备小巧、速度快、成本低、灵敏度高。



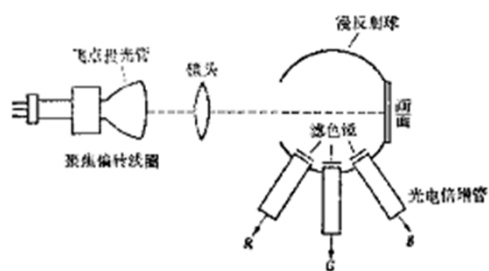
缺点：灰度层次较差、非线性失真较大、有黑斑效应，在使用中需校正。

目前CCD摄像机在分辨率、灵敏度等方面已做到较高水平，如：5760×3840的高分辨率的CCD摄像机已很成熟。

(2) 飞点扫描器(flying point Scanner):

这是一种以光源做扫描的图像获取设备。

其特点是：精度较高、图像清晰、可透射成像亦可反射成像，但是其体积略显庞大。



(3) 扫描鼓：这是一种高精度的滚桶式的图像摄取设备。

特点：精度高、分辨率高，可以输入也可以输出。

缺点：价钱昂贵、速度低、维护要求高。多用于静止图像的输入、输出设备。



(4) 扫描仪：

特点：精度和分辨率中等，4800DPI精度的扫描仪已常见。扫描仪的成本很低，近几年尤其降价显著，一般台式的已有不足一千元的产品。所以是当今应用最为广泛的图像信息获取设备。

缺点：速度较慢，非实时设备。



uwin.net.cn

- (5) 显微光密度计，精度较高，速度低。
 (6) 遥感中常用的图像获取设备也有多种设备，如：

光学摄影：摄像机、多光谱像机等。

红外摄影：红外辐射计、红外摄影仪、多通道红外扫描仪。

MSS：多光谱扫描仪。

微波：微波辐射计，侧视雷达、真实孔径雷达、合成孔径雷达(SAR)。

合成孔径雷达是50年代发展起来的技术。它采用小天线通过直线飞行（长距离）合成一条很长的线阵天线，从而达到优良的横向方位的分辨率。目前的国际水平，在距雷达50~100km范围内，合成孔径雷达（SAR）的纵向和横向分辨率已达 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 以下。

例如 $\lambda=3$ ，距雷达50km处的分辨率要达到 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 时所需的飞行直线合成孔径为：1012m。

由此可以看出飞行距离很长。为使飞机能直线、恒速飞行要用到陀螺导航仪、定位系统等设备和技术加以保证。

(B) 信息的存贮：(Image information Storage)

图像信息的突出特点是数据量巨大。一般作档案存贮主要采用磁带、磁盘或光盘。为解决海量存贮问题主要研究数据压缩、图像格式及图像数据库、图像检索技术等。

(C) 图像信息的传送：(Image information transmission)

图像信息的传送可分为系统内部传送与远距离传送。内部传送多采用DMA技术(Direct Memory Access)以解决速度问题，外部远距离传送主要解决占用带宽问题。目前，已有多种国际压缩标准来解决这一问题，图像通信网正在逐步建立。

(D)数字图像处理(Digital Image processing)

数字图像处理概括的说主要包括如下几项内容:

- ①. 几何处理(geometrical processing)
- ②. 算术处理(Arithmetic processing)
- ③. 图像增强(Image Enhancement)

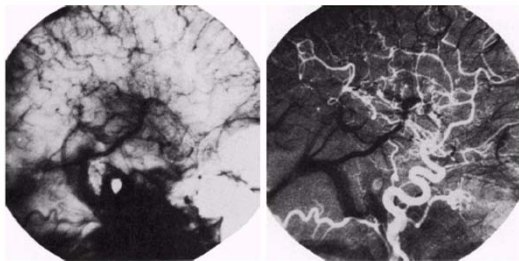
- ④. 图像复原(Image Restoration)
- ⑤. 图像重建(Image Reconstruction)
- ⑥. 图像编码(Image Encoding)
- ⑦. 图像识别(Image Recognition)
- ⑧. 图像理解(Image Understanding)

(1)、几何处理

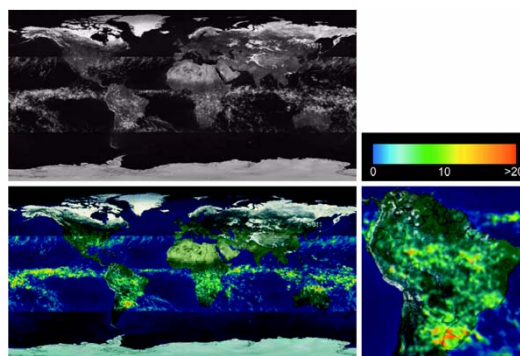
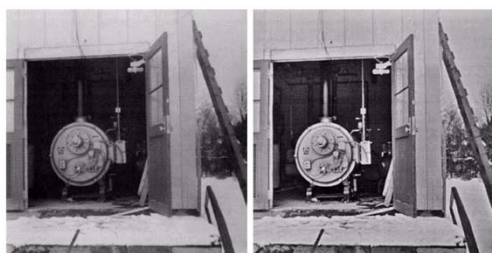
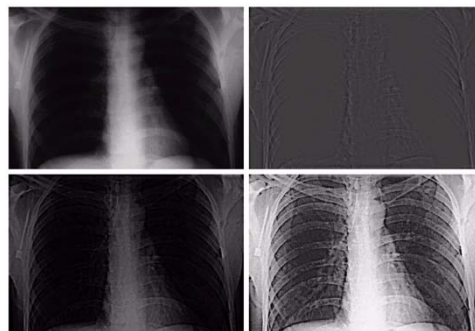
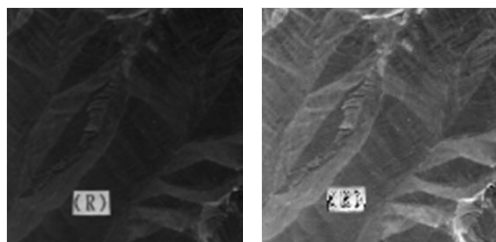
几何处理主要包括坐标变换, 图像的放大、缩小、旋转、移动、多个图像配准, 全景畸变校正, 扭曲校正, 周长、面积、体积计算等。

(2)、算术处理

算术处理主要对图像施以 $+$ 、 $-$ 、 \times 、 \div 等运算, 虽然该处理主要针对像素点的处理, 但非常有用, 如医学图像的减影处理就有显著的效果。

**(3)、图像增强**

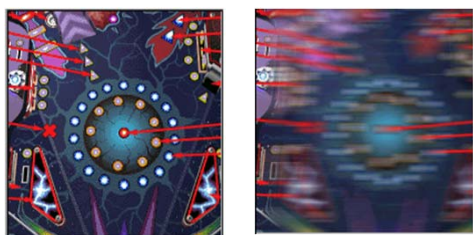
图像增强处理主要是突出图像中感兴趣的信息, 而减弱或去除不需要的信息, 从而使有用信息得到加强, 便于区分或解释。主要方法有直方图增强、伪彩色增强法(pseudo color)、灰度窗口等技术。



(4)、图像复原

图像复原处理的主要目的是去掉干扰和模糊，恢复图像的本来面目。典型的例子如去噪就属于复原处理。图像噪声包括随机噪声和相干噪声，随机噪声干扰表现为麻点干扰，相干噪声表现为网纹干扰。

去模糊也是复原处理的任务。这些模糊来自透镜散焦，相对运动，大气湍流，云层遮挡等。这些干扰可用维纳滤波、逆滤波、同态滤波等方法加以去除。

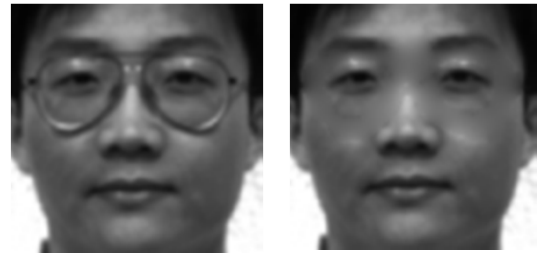
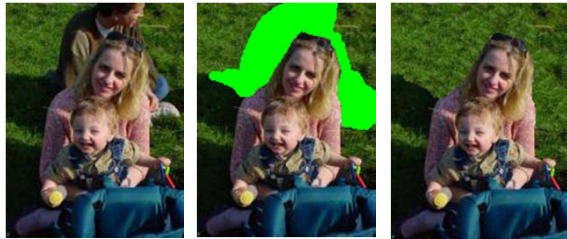


图像复原的新方法

(Partial differential equation) (PDE)

偏微分方程图像修复方法



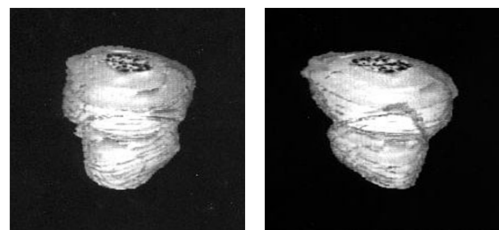


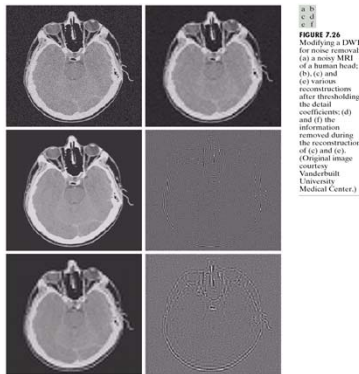
(5)、图像重建

几何处理、图像增强、图像复原都是从图像到图像的处理，即输入的原始数据是图像，处理后输出的也是图像，而重建处理则是从数据到图像的处理。也就是说输入的是某种数据，而处理结果得到的是图像。

该处理的典型应用就是CT技术，CT技术发明于1972年，早期为X光CT，后来发展的有ECT、超声CT、核磁共振（NMR）等。

图像重建的主要算法有代数法、迭代法、傅里叶反投影法、卷积反投影法等，其中以卷积反投影法运用最为广泛，因为它的运算量小、速度快。





值得注意的是三维重建算法发展很快，而且由于与计算机图形学相结合，把多个 2 D 图像合成 3 D 图像，并加以光照模型和各种渲染技术，能生成各种具有强烈真实感及纯净的高质量图像。

三维图形的主要算法有线框法、表面法、实体法、彩色分域法等等，这些算法在计算机图形学中都有详尽的介绍。三维重建技术也是当今颇为热门的虚拟现实和科学可视化技术的基础。