

数字图象处理技术讲座

第一讲 图象增强

刘政凯

(中国科学技术大学无线电电子学系)

数字图象处理技术是近代发展起来的新兴科学技术之一。它是利用计算机对图象信息进行检测、增强、恢复、分析、分类、识别以及编码压缩,以便对图象信息进行有效传输和存贮。数字图象处理技术在物理学、化学、天文学、生物医学、物质结构分析、气象预报、地质地理、测绘学、遥感等许多学科领域具有广泛的应用,对国民经济、军事及现代科学技术有重大影响。由于数字图象处理在实际应用中具有强大的生命力,因此数字图象处理已发展成为具有比较完整的理论体系和一整套专门技术的一门综合性学科。数字图象处理能获得飞速发展的原因是:第一、图象信息本身的普遍性和重要性;第二、计算机的迅速发展和普及。

我们知道,人类是通过感觉器官从外界获取信息的。例如,耳的听觉、鼻的嗅觉和眼的视觉。大量的统计证明,人类凭眼睛获得的图象信息占人类感觉器官获得的信息总量的90%以上。在遥感、生物医学、工业自动化和其它许多领域的科学研究工作中,人们需要从所获得的大量图象信息中提取有用信息。用人眼进行目视判读,通常是费力而又不精确的。借助于数字图象处理技术,可以帮助人们迅速而有效地从大量图象信息中提取感兴趣的信息。

数字图象处理技术的一个突出应用是计算机断层技术,简称CT。它是根据人们各个器官组织对超声波和电磁波具有不同的吸收和反射特性的原理,采用数字图象处理技术而实现的。CT技术可以得到人体内部各器官的断层象,这是人类自古以来的愿望。利用CT技术,医生无需动手术便可得到病人的任何部位的内

部器官的清晰的断层象,从而可以快速准确地发现疾病。

此外,数字图象处理技术还广泛地应用于计算机视觉这一崭新的领域。未来的智能化计算机将象人一样具有听觉、视觉和思维的功能。这样的计算机必定会对人类作出更大的贡献。

总之,数字图象处理技术作为一门新兴的科学技术,广泛地应用于各个学科领域。为了帮助不同学科的读者了解数字图象处理技术的基本原理,并且把它应用于自己所从事的专业工作中去,我们编写了本讲座。本讲座拟分五讲:图象增强、图象恢复、图象分析、图象分类识别和计算机断层CT技术。

图象增强是图象处理中的一个重要方面,它是最简单和最常用的处理手段。图象增强的目的在于改善图象的清晰度,以适应于人眼的观察和机器的自动分析。例如,一幅偏暗或偏亮的照片可以通过图象增强技术使其亮度适中,细节清楚。又例如,为了适应机器人视觉的景物分析,常常把景物的边缘突出出来,这都属于图象增强的范围。

图象增强方法大致可分为三类:空间域的增强、频率域的增强和彩色域的增强。

一、几个基本概念

1. 象素

象素是图象的最小组成单位,也称为象元。象素的几何尺寸的大小是由图象数字化设备的分辨率决定的。例如,通常所说的一幅 512×512

的图象是指该图象有 512 行，每行有 512 个采样点，也就是说每行有 512 个像素。

2. 灰度

像素的灰度是代表该像素的明暗程度。图象信息是由各像素的灰度值大小表示出来的。一般的图象显示器要求图象灰度值在 0—255 范围之内。

3. 图象的均值和方差

一幅 $N \times N$ 图象可以用一个二维矩阵 $f(I, J)$ 表示，其均值为

$$\bar{f} = \frac{1}{N^2} \sum_{I=1}^N \sum_{J=1}^N f(I, J), \quad (1)$$

其方差为

$$\sigma^2 = \frac{1}{N^2} \sum_{I=1}^N \sum_{J=1}^N [f(I, J) - \bar{f}]^2. \quad (2)$$

4. 图象直方图

直方图是图象中像素灰度值的概率密度分布。以灰度值为横坐标，以该灰度所具有的像素数目为纵坐标。如果使直方图中最大概率密度归一化为 1，这时的直方图称为归一化直方图。直方图是图象的重要统计特性，在数字图象处理中有着广泛的应用。

二、对比度增强

对比度增强是空间域增强，其目的在于改善图象的灰度分布，以适应人类的视觉。

1. 灰度比例变换

灰度比例变换增强方法，是把图象灰度变换到显示器所需的范围，以便能清楚地把图象显示出来。

如果我们有一幅偏暗的图象，其灰度的最小值为零，最大值为 63。这幅图象在显示器上显示时，必然显得偏暗。为了增强这种偏暗的图象，只要把图象灰度值放大四倍，便可把原图象灰度范围变换到 0—255。经过这样变换后的图象，便可在显示器上清楚地显示出来。

同理，如果图象灰度过高，只要把图象灰度值按比例缩小，使其灰度范围压缩到 0—255，便可达到清楚显示的目的。

以上是把图象灰度值进行线性变换，以获得好的显示效果。同样也可以采用非线性变换。常用的非线性变换是对原图象的灰度值进行对数变换或指数变换。例如，某一图象的二维频谱图象，其直流分量或低频分量的幅度可能比高频分量的幅度大几个数量级。这样的图象显示时是看不清楚高频分量的。但是，如果我们对频谱图象的灰度取对数，然后再进行适当的比例变换，并把变换后的图象进行显示，便可清楚地显示出频谱的低频分量和高频分量。

2. 对比度拉伸

假如有一幅图象，其直方图如图 1(a) 所

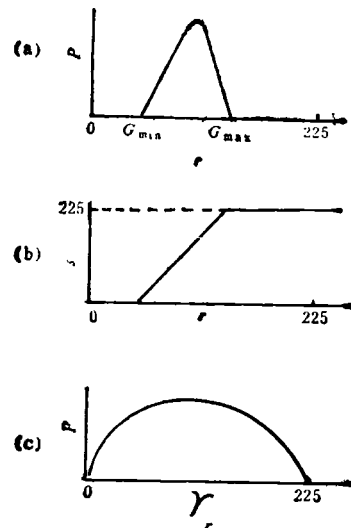


图 1 对比度拉伸

示，纵轴为各灰度在图象中出现的概率密度函数 P ，横轴为灰度值 r 。 G_{max} 、 G_{min} 分别为灰度最大值和最小值。我们取变换函数为

$$s = \begin{cases} 0 & r \leq G_{min}, \\ \frac{r - G_{min}}{G_{max} - G_{min}} & G_{min} < r \leq G_{max}, \\ 255 & r > G_{max}, \end{cases} \quad (3)$$

如图 1(b) 所示。把图象各象元的灰度 r 根据变换函数 s 进行逐点变换，便可得到变换后的直方图如图 1(c) 所示。经过这样变换后，便把原图较窄的灰度范围拉伸到 0—255 之间，因而达到了图象增强的目的。这就是常用的对比度

拉伸增强方法。

3. 直方图均衡

由上述方法可以看出, 图象的直方图范围愈宽, 则图象细节愈清楚。除了直方图范围的大小对图象增强有明显影响外, 直方图的形状对增强效果亦起很大作用。

首先我们讨论把图象直方图变换成均匀分布的情况, 这就是所谓的直方图均衡。

为了方便, 我们首先分析连续图象的情况, 而且采用归一化直方图。直方图均衡增强可归结如下:

假设原始图象的灰度概率密度函数为 $P_r(r)$, 求变换函数 $s = T(r)$, 使其变换后的图象的灰度概率密度 $P_s(s) = 1$, 即均匀分布, 而且变换函数 s 应满足以下两个条件:

(a) 在 $0 \leq r < 1$ 区间内, $T(r)$ 为单值单调增加;

(b) 对于 $0 \leq r \leq 1$, 有 $0 \leq s \leq 1$ 。条件(a)保证使灰度从黑 ($r = 0$) 到白 ($r = 1$) 的次序。而条件(b)保证变换后的象素灰度值在允许的范围 (0—1) 之内。

由概率论基本知识可知, 如果 $P_r(r)$ 和 $s = T(r)$ 给定, 那么变换后的图象的灰度概率密度 $P_s(s)$ 为

$$P_s(s) = P_r(r) \cdot \frac{dr}{ds}. \quad (4)$$

要使

$$P_s(s) = 1, \quad (5)$$

那么必须

$$\frac{dr}{ds} = \frac{1}{P_r(r)}, \quad (6)$$

或者

$$\frac{ds}{dr} = P_r(r), \quad (7)$$

即

$$s = T(r) = \int_0^r P_r(x) dx, \quad (8)$$

其中 $0 \leq r \leq 1$ 。

对于离散图象情况, 原始图象的概率密度可表示为

$$P_r(r_k) = \frac{n_k}{n}, \quad (9)$$

其中 $0 \leq r_k \leq 1$, $k = 0, 1, \dots, L-1$; L 为灰度级的数目; $P_r(r_k)$ 是第 k 级灰度值的概率; n_k 是在图象中出现这种灰度值的次数; n 是图象中象素的总数。

对应 (8) 式的离散形式为

$$s = T(r_k) = \sum_{j=0}^k P_r(r_j) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n}. \quad (10)$$

在数字图象处理中, 根据 (10) 式便可求出变换函数, 然后逐点地进行灰度变换, 便可得到具有均匀分布直方图的增强图象。这就是直方图均衡增强。

4. 统计差分增强

我们知道, 如果一幅图象的方差较小, 那么这幅图象一定层次较少或反差较小。上面所述的灰度比例变换和灰度拉伸等增强方法是把灰度范围拉宽, 相当于增大图象的方差。统计差分增强是属于增大图象局部方差的增强方法。

设 j, k 点象元在其附近某一范围 $A_{j,k}$ 内的局部平均值为

$$f(j, k) = \sum_{m, n \in A_{j,k}} f(m, n), \quad (11)$$

局部方差为

$$\sigma^2(j, k) = \sum_{m, n \in A_{j,k}} [f(m, n) - f(j, k)]^2, \quad (12)$$

我们把 j, k 点象元的原来灰度值 $f(j, k)$ 按下式进行变换

$$G(j, k) = \frac{f(j, k)}{\sigma(j, k)}, \quad (13)$$

便得到了 j, k 点象元的新的灰度值 $G(j, k)$ 。显然, 局部方差小的那些象元的灰度值可得到较大的放大; 而局部方差大的那些象元的灰度值放大较小。这样变换便能达到图象对比度增强的目的。

但由 (13) 式可见, 当局部方差很小甚至为零时, $G(j, k)$ 可能变得很大或者变为无穷大。因此需要对 (13) 式进行修正。修正公式如下:

$$G(j, k) = \frac{A\sigma_d}{A\sigma(j, k) + \sigma_d} [f(j, k) - \bar{f}(j, k)] + [\alpha m_d + (1 - \alpha)\bar{f}(j, k)], \quad (14)$$

其中 m_d 和 σ_d 分别为希望增强后图象的均值和标准偏差, A 为放大因子, α 为调整增强后图象的边缘与背景之间比例的因子.

三、边缘增强

为了改善图象质量或为了提取或增强图象中景物和目标的边缘,需要采用边缘增强技术.边缘增强方法很多,这里只介绍一些简单的梯度运算边缘增强方法.在图象分析一讲中将详细介绍图象边缘增强和检测方法.

景物的边缘是指图象中存在灰度突变的地方.因此,我们可用梯度运算或差分运算把边缘提取出来.假设有一幅图象,在 j, k 点上的象元灰度为 $f(j, k)$, 则水平方向上的边缘可用下式检测出来:

$$G(j, k) = f(j, k) - f(j, k + 1). \quad (15)$$

对图象所有象元进行上述运算,即可检测出整个图象中存在的水平边缘.同样,图象中存在的垂直方向上的边缘可用下式检测出来:

$$G(j, k) = f(j, k) - f(j + 1, k). \quad (16)$$

上面谈到的梯度运算是线性差分运算.边缘增强也可以利用非线性差分运算来得到.例如,Roberts 运算、Sobel 运算和 Kirsch 运算等.这里我们只介绍 Sobel 运算.

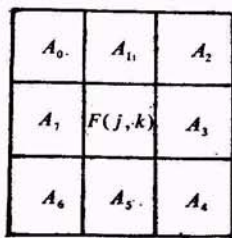


图2 Sobel 3×3 窗口

Sobel 提出一个在象元 j, k 点附近的 3×3 窗口,如图2所示.窗口中除中心点以外的各象素的灰度值分别用 A_0 至 A_7 表示.按照 Sobel 算法, j, k 点增强后的灰度值为

$$F(j, k) = \sqrt{x^2 + y^2}, \quad (17)$$

其中

$$\begin{aligned} x &= (A_2 + 2A_3 + A_4) \\ &\quad - (A_0 + 2A_1 + A_6), \\ y &= (A_0 + 2A_1 + A_2) \\ &\quad - (A_6 + 2A_5 + A_4). \end{aligned} \quad (18)$$

利用 Sobel 窗口对图象各个象素进行运算,便可得到边缘增强后的图象(如图3所示),其中图3(a)为原图,图3(b)为 Sobel 边缘增强后的图象.

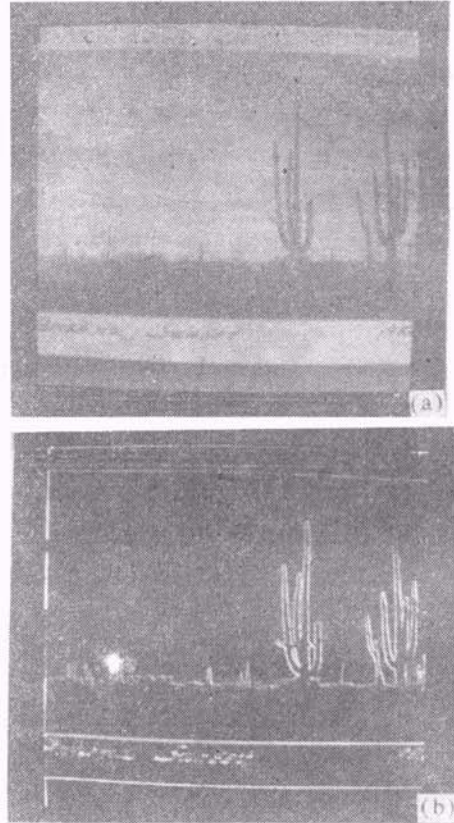


图3 Sobel 边缘增强

四、高通滤波增强

我们知道,图象频谱中高频分量代表图象灰度变化大的部分,因此为了增强图象边缘等细节,我们可在频率域采用高通滤波法.

在频率域里,滤波过程可用下式表示:

$$G(u, v) = H(u, v)F(u, v), \quad (19)$$

其中 $F(u, v)$ 代表原始图象的频谱, $H(u, v)$ 为滤波器传输函数, $G(u, v)$ 为滤波器输出图象的频谱.如果 $H(u, v)$ 具有使高频分量通

过而阻止低频分量通过的作用,那么 $H(u, v)$ 便具有高通特性,这时我们称之为高通滤波.高通滤波后的图象便可达到增强细节的效果.

高通滤波器的形式很多,这里只介绍理想高通滤波器和巴特沃思高通滤波器.

1. 理想高通滤波器

一个理想的二维高通滤波器的传输函数满足下式:

$$H(u, v) = \begin{cases} 1, & D(u, v) \geq D_0, \\ 0, & D(u, v) < D_0, \end{cases} \quad (20)$$

式中 D_0 是一个规定的非负的量,称为滤波器截止频率; $D(u, v)$ 是从点 (u, v) 到频率平面原点的距离,也就是

$$D(u, v) = (u^2 + v^2)^{1/2}. \quad (21)$$

由此可见,所谓理想高通滤波器,就是指以 D_0 为半径的圆外的所有高频频率分量都可无损失地通过,而圆内的所有低频频率分量都完全被阻止.理想高通滤波器的传输函数的剖面图如图 4 所示.

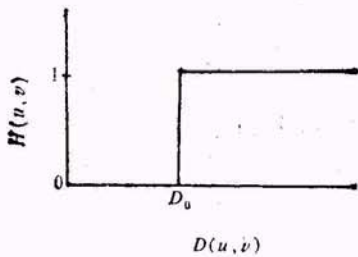


图 4 理想高通滤波器的传输函数

2. 巴特沃思高通滤波器

n 阶巴特沃思高通滤波器的传输函数由下式表示:

$$H(u, v) = \frac{1}{1 + [D_0/D(u, v)]^{2n}} \quad (22)$$

其中 D_0 为截止频率, $D(u, v)$ 由(21)式定义.

巴特沃思高通滤波器的传输函数的剖面图和透视图分别如图 5(a) 和图 5(b) 所示.

由(19)式可以看出,高通滤波增强的具体实现过程如下:

(1) 对原始图象 $f(x, y)$ 进行二维傅里叶变换,得到 $F(u, v)$; (2) 选定高通滤波器的形式并确定其传输函数 $H(u, v)$; (3) 按(19)式

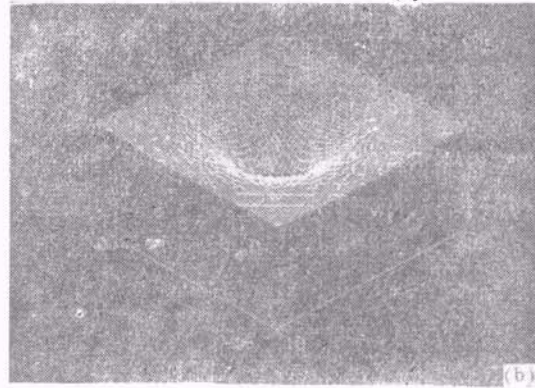
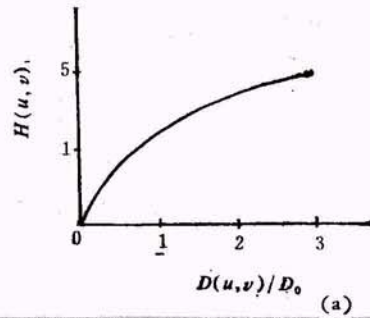


图 5 巴特沃思高通滤波器的传输函数

计算 $G(u, v)$; (4) 对 $G(u, v)$ 进行二维傅里叶反变换,从而得到高通滤波增强的图象 $g(x, y)$.

五、伪彩色增强

以上讨论了空间域和频率域增强方法.讨论的图象是黑白图象.我们知道,人眼只能分辨出大约十几到二十几个灰度级,而对彩色的分辨率可高达几千个灰度级.因此会很自然地想到,利用彩色显示来增强黑白图象中我们感兴趣的信息.这就是在彩色域里的增强,并称之为伪彩色增强.

所谓伪彩色,是指它不是图象本身的真实彩色.因为这里讨论的是黑白图象,只是把图象的灰度分成几级,每级赋予不同的彩色,这样,一幅黑白图象就变成了伪彩色图象.伪彩

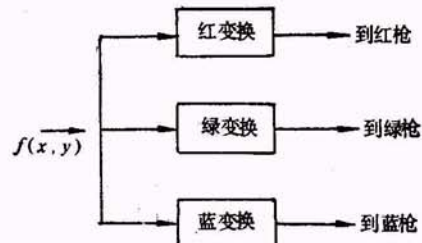


图 6 伪彩色增强过程

色增强的过程如图 6 所示。

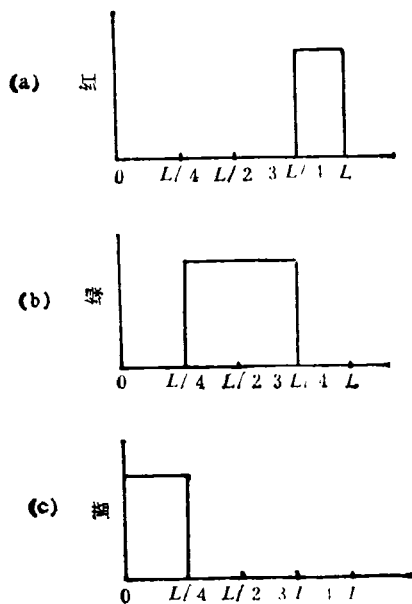


图 7 彩色变换函数

图 6 中红、绿、蓝变换是把黑白图象 $f(x, y)$ 的灰度变换成不同的彩色分量。例如,我们取红、绿、蓝彩色变换函数如图 7 所示,也就是把黑白图象的灰度级分为三级: 0 至 $L/4$ 灰度范围的各像素赋予蓝色, $L/4$ 至 $3L/4$ 灰度范围内的像素赋予绿色, $3L/4$ 至 L 的灰度范围内的像素赋予红色。经过这样的彩色变换后,便可得到一幅具有红、绿、蓝三种伪彩色的图象。同样的道理,如果我们把灰度级分得细一些,每一级赋予不同的彩色,便可得到丰富多彩的伪彩色图象。

参 考 文 献

- [1] R. C. Gonzalez, P. Wintz, Digital Image Processing, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., (1977).
- [2] 刘政凯, B. R. 汉特, 中国科学技术大学学报, 增刊 (1983), 85.
- [3] M. P. Ekstrom, Digital Image Processing Techniques, Academic Press Inc., (1984).

第三届全国穆斯堡尔谱学会议简介

全国第三届穆斯堡尔谱学会议于 1986 年 4 月 8 日至 12 日在江苏省苏州市举行。这是我国继 1981 年在南京和 1983 年在广州举行的第一届和第二届穆斯堡尔谱学会议后的又一次盛会。出席这次会议的有来自高等学校、科研部门和生产厂家共 93 个单位的 202 名代表,共收到论文 197 篇。

会议先进行大会报告。大会报告介绍了最近穆斯堡尔谱学的国内、外研究概况和进展,穆斯堡尔谱学在磁学、物理冶金、非晶材料、离子注入和化学上的新应用,以及穆斯堡尔谱学在方法学 and 数据处理方面的新进展。联邦德国著名穆斯堡尔谱学家 U. Gonsler 教授应邀在大会上作了关于穆斯堡尔效应若干新进展的报告。

大会报告后,会议分固体物理、化学和生物学,地质和考古学,方法学四个组同时进行分组报告。固体物理组的论文和参加人数都最多,论文内容包括金属和非金属磁性材料,半导体材料,非晶材料以及其他合金钢、耐磨耐腐蚀合金、触媒材料等的研究。最新的第三代稀土永磁合金 Nd-Fe-B 系材料,金属-金属非晶合金和超细微粉等新材料, ^{57}Fe 以外的 ^{119}Sn 和 ^{151}Eu 源的应用以及材料表面散射谱和内部透射谱的比较研究,都引起与会者广泛的关注和热烈的讨论。

在化学和生物学组中,对多种催化剂、有机和金属有机化合物、固氮模拟物都进行了较为细致的研究和分析;对异常血红蛋白、血液病、地中海贫血病以及中药磁石和代赭石的穆斯堡尔谱作了分析和讨论;而对

汽车尾气净化催化剂和环境中的 Fe 污染的研究表明,穆斯堡尔技术已应用到环境保护科学中。

在地质和考古学中,不但对一些新矿石、几种土壤、河口沉积物和海洋中锰结核作了 ^{57}Fe 或 ^{119}Sn 的穆斯堡尔谱分析,讨论了谱参量和结构的关系,而且还分析了具有我国特点的秦始皇兵马俑,不同时代的古陶片、古铜器,景德镇古瓷器,山西煤矿的矿石和宁强的陨石等的穆斯堡尔谱与其年代、结构和产地等的关系,获得了很有意义的结果。尤其是在强还原气氛中烧制的景德镇古青瓷的釉料和胎料中观测到纯 Fe 的谱线,由秦俑谱参量判断其烧成温度可能在 1100°C 以上(根据其他研究工作,判断烧成温度一般为 940°C 左右)。由山西省的几种煤的谱参量测得更为精确的黄铁矿含量都很引人注目。

在方法学组中,不少单位介绍了利用微型计算机拟合谱线,高温和低温下的测谱装置, γ 射线极化谱仪,散射式谱仪的低噪声探测器和新型探测系统,也讨论了多个控制量和非晶谱的拟合方法及绘图程序。从近 40 篇论文中反映了方法学工作的广度和深度,表明近年来我国的穆斯堡尔谱学及其应用的研究工作的发展是迅速而有成效的。

会议还选举了第三届穆斯堡尔谱学学组委员 11 名,并决定于 1988 年在甘肃兰州举行第四届全国穆斯堡尔谱学会议。

(李国栋)