

第四章第二节

遥感数字图像增强处理

www.bjcugb.com 北地论坛

对比度增强
图像滤波
图像变换





❖ 图像增强的目的

改变图像的灰度等级,提高图像的对比度;
消除边缘和噪声,平滑图像;突出边缘或线状地物,锐化图像;
合成彩色图像;压缩图像数据量,突出主要信息等

www.bjcugb.com 北地论坛



❖ 图像增强的方法

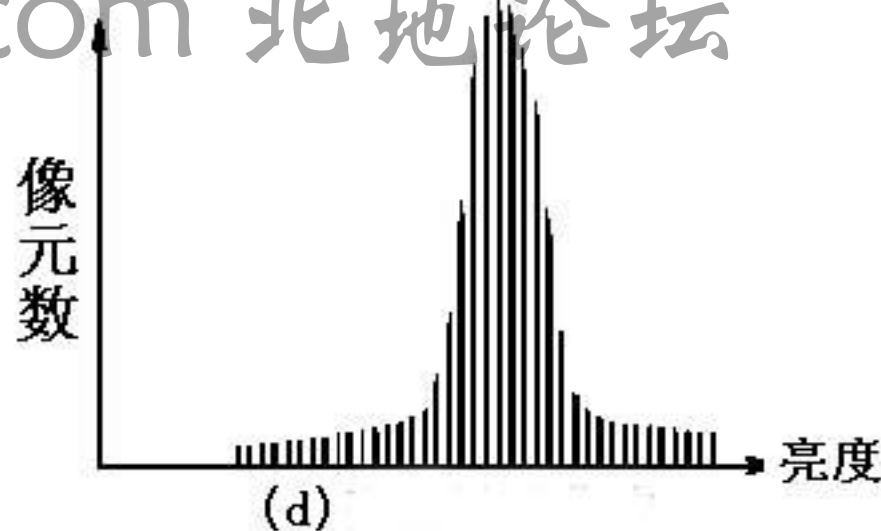
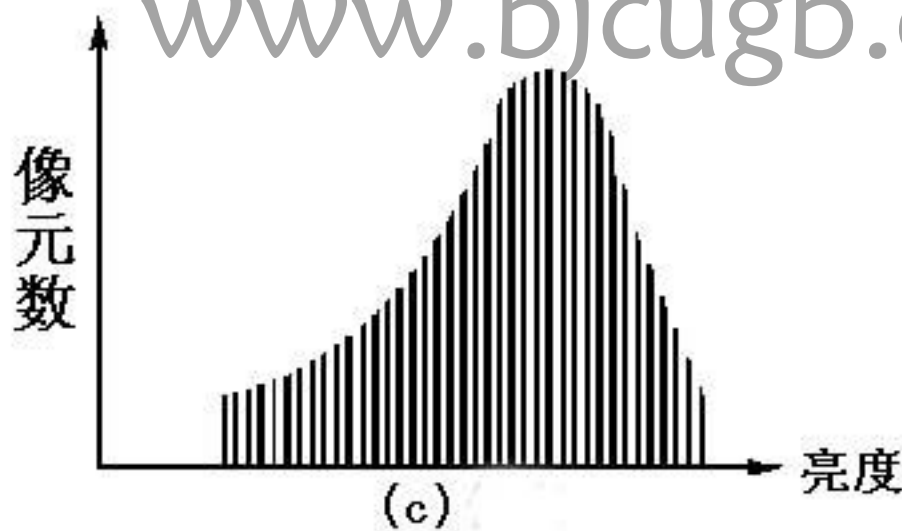
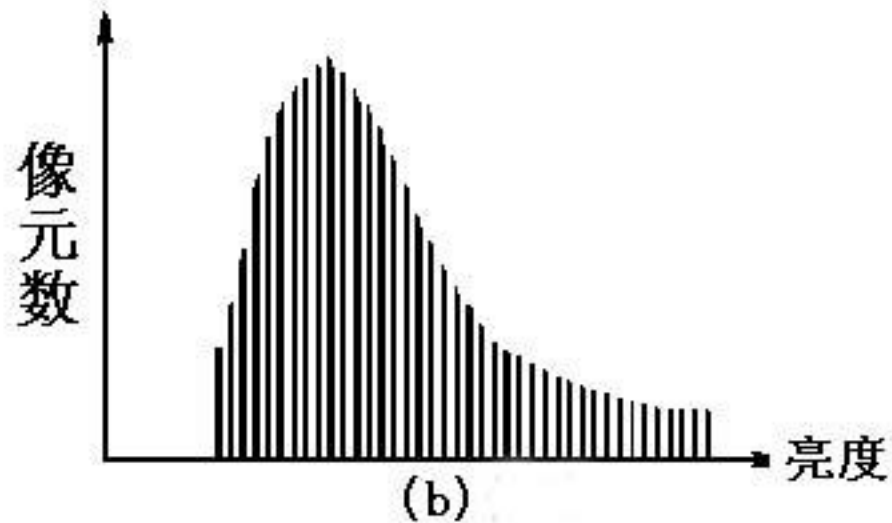
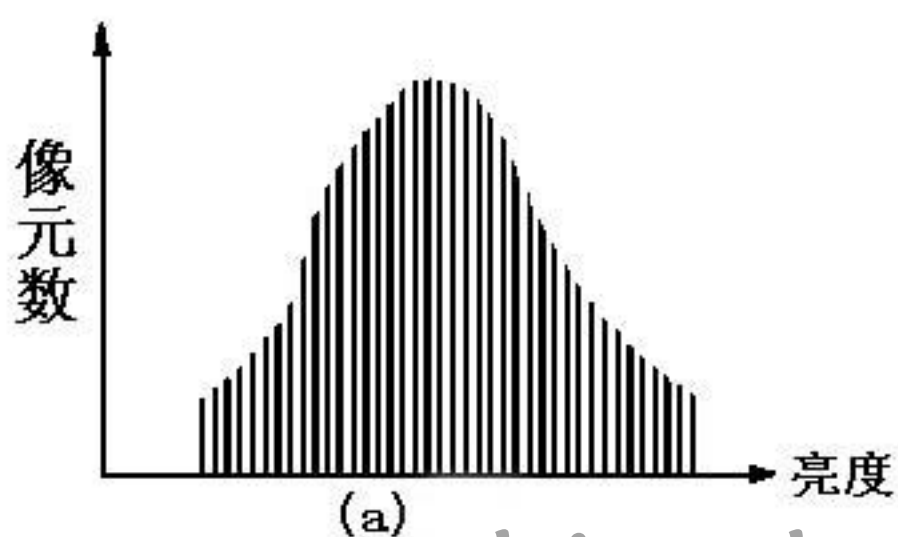
点运算,邻域运算

彩色增强

多图像代数运算

多光谱图像增强

www.bjcugb.com 北地论坛



从直方图形态判断图象

直方图变换



累积直方图

$$c(x_k) = \sum_{j=0}^k h(x_j)$$

k 为灰度级 ($k=0,1,2,\dots, L-1$) ; $L-1$ 为最大灰度级

1	7	8	9	10	11	14
5	2	6	7	14	12	15
3	4	7	8	6	9	11
2	1	4	7	8	8	9
8	4	5	9	11	12	10
8	10	11	15	16	10	13
13	6	9	16	13	12	10

灰度级	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
累积像元数	0	2	4	5	8	10	13	17	23	28	33	37	40	43	45	47	49
累积比例值	0.00	0.04	0.08	0.10	0.16	0.20	0.23	0.28	0.33	0.37	0.40	0.43	0.45	0.47	0.49	0.50	1.00



直方图均衡化

直方图均衡化是将原图像的直方图通过变换函数变为均匀的直方图，然后按均匀的直方图修改原图像，从而获得一幅灰度分布均匀的新图像。可以证明，这个变换函数就是累积直方图。



变换式:

$$x_b^k = \frac{L}{N} \sum_{j=0}^k h_a(x_a^j)$$

x_b^k 变换后新图像的值

N为像元数， h_a 为原图像任一灰度出现的频数(象元数)

L为最大灰度值。



对一幅图像进行直方图均衡化的具体步骤如下：

- (1) 统计原图像每一灰度级的像元数和累积像元数
- (2) 根据变换函数式计算每一灰度级 x_a 均衡化后对应的新值，并对其四舍五入取整，得到新灰度级 x_b
- (3) 以新值代替原灰度值，形成均衡化后的新图像。
- (4) 根据原图像像元统计值对应找到新图像像元统计值，作出新直方图。

原灰度级 x_a	像元统计值	累积像元统计值	变换后值	新灰度级	新像元统计值
------------	-------	---------	------	------	--------

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

www.bjcugb.com 北地论坛

原灰度级xa	像元统计值	累积像元统计值	变换后值	新灰度级	新像元统计值
0	0	0	0	0	0
1	2	2	0.7	1	4
2	2	4	1.3	1	
3	1	5	1.6	2	1
4	3	8	2.6	3	5
5	2	10	3.3	3	
6	3	13	4.2	4	3
7	4	17	5.6	6	4
8	6	23	7.5	8	6
9	5	28	9.1	9	5
10	5	33	10.8	11	5
11	4	37	12.1	12	4
12	3	40	13.1	13	3
13	3	43	14.0	14	3
14	2	45	14.7	15	4
15	2	47	15.3	15	
16	2	49	16	16	2



直方图规定化

直方图规定化是指使一幅图像的直方图变成规定形状的直方图而对图像进行变换的增强方法.规定的直方图可以是一幅参考图像的直方图,通过变换,使两幅图像的亮度变化规律尽可能地接近;规定的直方图也可以是特定函数形式的直方图,从而使变换后图像的亮度变化尽可能地服从这种函数分布.



直方图规定化

设 $T(x_a)$ 为原图像直方图均衡化的变换函数, $G(y_c)$ 为参考图像直方图均衡化的变换函数,变换后的灰度值均为 Z_b ,由上述可知

$$Z_b = T(x_a) = \sum_{j=0}^k h_a(x_a^j)$$

$$Z_b = G(y_c) = \sum_{j=0}^k h_c(y_c^j)$$

$$y_c = G^{-1}(z_b) = G^{-1}[T(x_a)]$$

直方图规定化



直方图规定化的具体步骤如下:

- (1)做出原图像的直方图（两幅图像要归一化处理）
- (2)做出原图像的累积直方图 $Zb=T(xa)$,对原图像进行均衡化变换
- (3)做出参考图像的直方图或确定参考直方图
- (4)做出参考图像累积直方图 $zb=G(yc)$,进行均衡化变换
- (5)对于原图像中的每一灰度级 xa 的累积值 zb ,在参考累积直方图中找到对应的累积值 $G(yc)$;
- (6)以新值 yc 替代原灰度值 xa ,形成规定化后的新图像.
- (7)根据原图像像元统计值对应找到新图像像元统计值,做出新直方图。



10	9	11	12	10	11	10
9	10	11	12	11	12	11
9	11	10	12	13	14	13
12	12	10	12	14	15	13
11	13	14	16	16	14	15
14	12	12	15	16	15	14
13	12	12	16	13	14	15

参考图像

原图像



灰度级	0/	1/	2/	3/	4/	5/	6/	7/	8/	9/	1	11	1	1	1	1	1
xa	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0/	/1	2/	3/	4/	5/	6/
	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	1	6	1	1	1	1	1
											6		6	6	6	6	6
像元统计 值ha(xa)	0	2	4	5	8	10	13	17	23	28	33	37	40	43	45	47	49
累积像元 统计值 (T(xa))	0.0 0	0.0 4	0.0 8	0.1 6	0.1 6	0.2 0	0.2 7	0.3 5	0.4 7	0.5 7	0.6 7	0.7 6	0.8 2	0.8 8	0.9 2	0.9 6	1.0 0

参考图像

灰度级yc	9/16	10/16	11/16	12/16	13/16	14/16	15/16	1
像元统计值 hc(yc)	3	6	7	9	8	7	5	4
累积像元统计值 G(yc)	0.06	0.18	0.33	0.51	0.67	0.82	0.92	1.00

原灰度级 x_a	像元统计值 $h_a(x_a)$	累积像元统计值 $T(x_a)$	对应参考累积 像元值 $G(y_c)$	新灰度级 y_c	新像元统计 值 $h_b(x_b)$
------------	---------------------	---------------------	------------------------	---------------	-----------------------

0

1 / 16

2 / 16

3 / 16

4 / 16

5 / 16

6 / 16

7 / 16

8 / 16

9 / 16

10 / 16

11 / 16

12 / 16

13 / 16

14 / 16

15 / 16

www.bjcugb.com 北地论坛

原灰度级xa	像元统计值 ha(xa)	累积像元统计值T(xa)	对应参考累积 像元值G(yc)	新灰度级 yc	新像元统计 值hd(xd)
0	0	0	0	0	0
1 / 16	2	0.04	0.06	9/16	5
2 / 16	2	0.08	0.06		
3 / 16	1	0.10	0.06		
4 / 16	3	0.16	0.18	10/16	5
5 / 16	2	0.20	0.18		
6 / 16	3	0.27	0.33	11/16	7
7 / 16	4	0.35	0.33		
8 / 16	6	0.47	0.51	12/16	11
9 / 16	5	0.57	0.51		
10 / 16	5	0.67	0.67	13/16	5
11 / 16	4	0.76	0.82	14/16	7
12 / 16	3	0.82	0.82		
13 / 16	3	0.88	0.92	15/16	5
14 / 16	2	0.92	0.92		
15 / 16	2	0.96	1.00	1	4



空域增强-点运算

❖ 线性变换

$$xb = a \bullet xa + b$$

单一线性、分段线性、特定区域或覆盖类型的局部线性

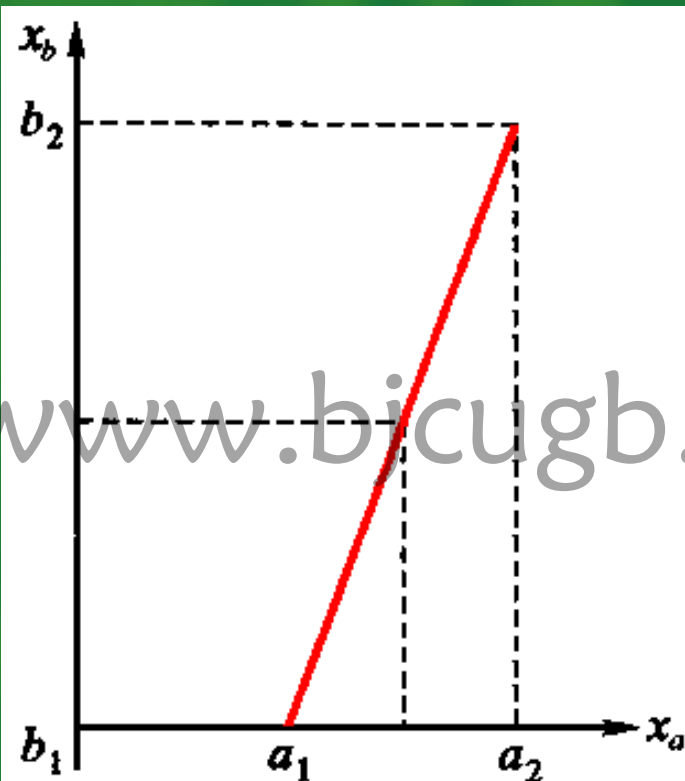


图 4.34 线性变换

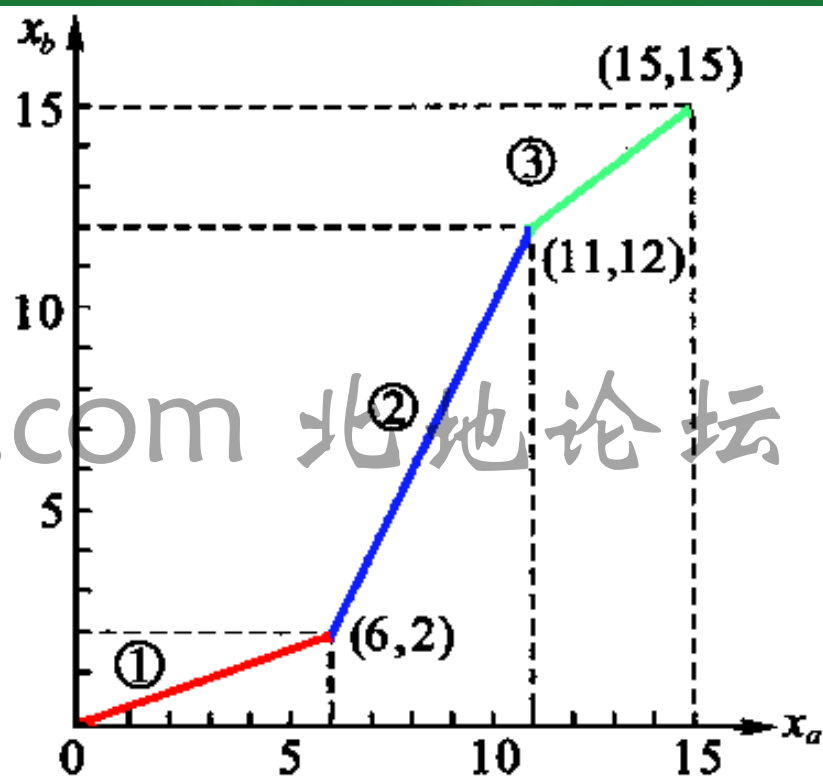


图 4.35 分段线性变换

空域增强-点运算



❖ 非线性变换

指数扩展 $x_b = a \cdot e^{b x_a} + c$ 扩展高亮度区

对数扩展 $x_b = a \cdot \log(x_a + 1) + c$ 扩展低亮度区

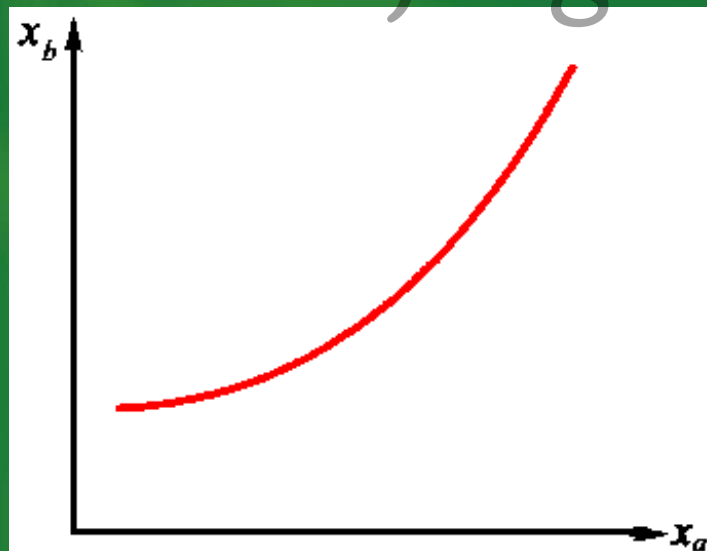


图 4.36 指数变换

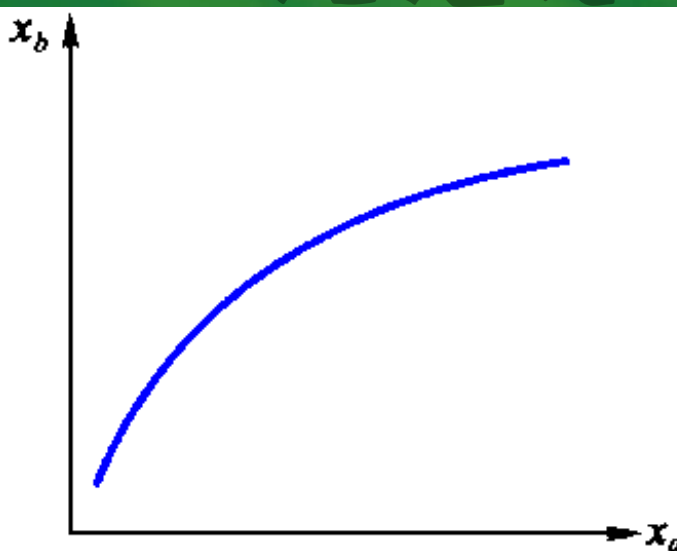


图 4.37 对数变换



空域增强-点运算

❖ 非线性变换

三角函数扩展

$$x_b = a \cdot \sin(b \cdot x_a) + c \quad \text{扩展中部亮度区}$$

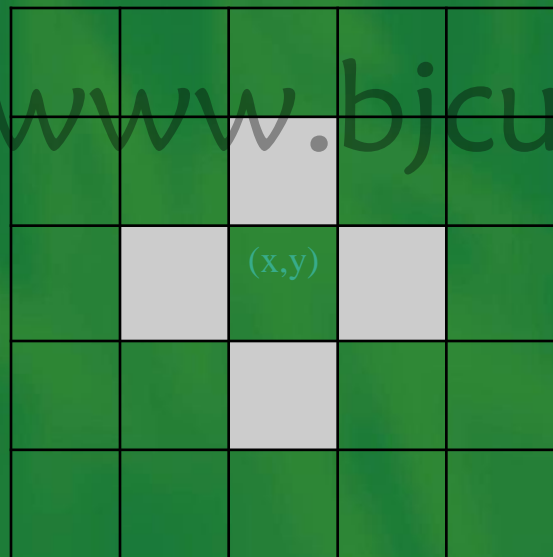
$$x_b = a \cdot \tan(b \cdot x_a) + c \quad \text{扩展两端亮度区}$$



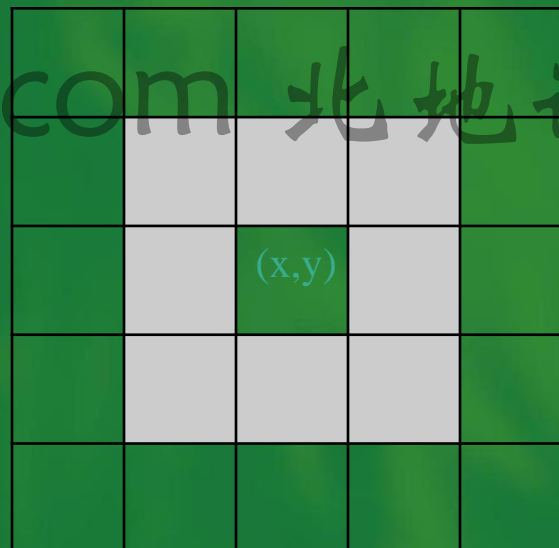
邻域增强

❖ 邻域

对于图像中的某个像元 $f(x,y)$ ，把以像元为中心一定距离内的像元集合 $A_{xy} = \{x \pm p, y \pm q\}$ (p, q 取任意整数) 叫做该像元的邻域。



4-邻域

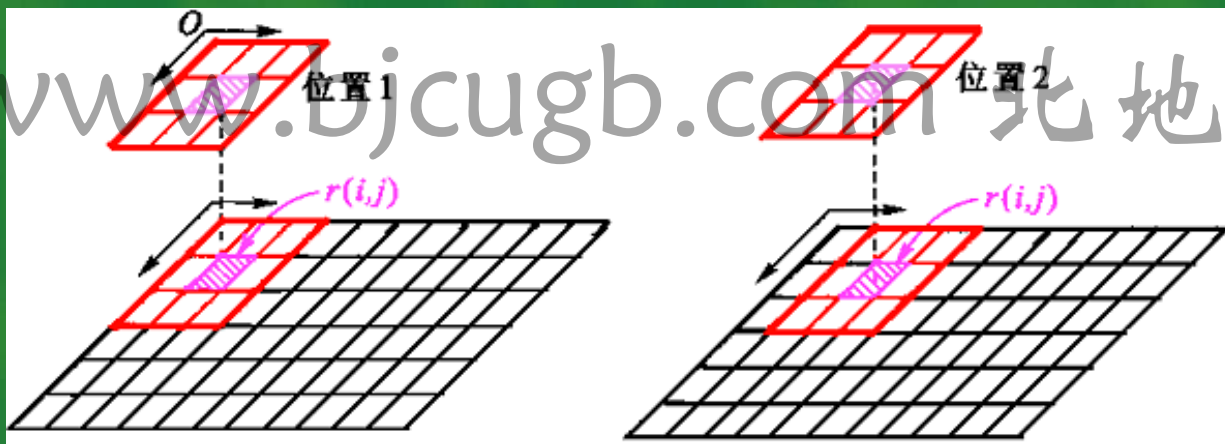


8-邻域



卷积运算

建立在离散卷积基础上的卷积运算是在空间域上对图像进行邻域变换的运算。选定一个卷积函数，又称为模板，它实际上是一个 $M \times N$ 大小的小图像。图像的卷积运算是运用模板来实现的，如图，从图像的左上角开始，将一个给定大小的模板，逐行逐列依次放在图像的每一个像元位置上，计算两者之间对应各点的乘积并求和，以和数作为中心像元的输出值，从而产生新的图像。





如果假设卷积函数为 $H(m,n)$ ，其大小为 M,N 。对应图像窗口内灰度值为 $f(m,n)$ ，则卷积运算可通过下式表示。

$$g(x, y) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N f(m, n) H(m, n)$$

在实际应用中，经常使图像窗口与模板像元的灰度值对应相乘再相加，相加的总和再除以模板内所有值的和作为中心像元新的灰度值。模板运算的公式为

$$g(x, y) = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N f(m, n) H(m, n)}{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N H(m, n)}$$



高频信息：图像中的灰度值具有较大较快变化的部分，比如边缘等。

低频信息：图像中灰度值缓慢变化的区域。

平滑（低通滤波）：减弱或消除图像的高频信息，但不影响低频信息。

锐化（高通滤波）：减弱或消除图像的低频信息，但不影响高频信息。



平滑



❖ 均值平滑

$$g(x, y) = \frac{1}{M} \sum_{(i, j) \in A} f(i, j)$$



均值滤波器模板

0	1	0
1	0	1
0	1	0

1	1	1
1	0	1
1	1	1



均值滤波器



原始图象



Mean 5x5



Mean 11x11

www.bjcugb.com 北地论坛



中值滤波器

在中值滤波中，是把局部区域中灰度的中央值作为区域中央象元的值。

$$g(x, y) = \text{median}(f(x, y))$$

www.bicugh.com 北地论坛



3	5	10	12	16
2	4	8	10	5
5	6	8	3	7
4	6	7	45	8
3	30	8	10	19

www.bjcugb.com 北地论坛



空间锐化

1.梯度法

最常用的微分方法是梯度法。

www.bjcugb.com 北地论坛



1 梯度法

❖ 矢量微分----梯度

二元函数 $f(x,y)$ 在坐标点 (x,y) 处的梯度向量的定义:

$$G[f(x, y)] = \begin{bmatrix} f'_x \\ f'_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix}$$

梯度的幅度（模）为各分量的平方和再求平方根:

$$G[f(x, y)] = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}$$



$$\text{设 } t_1 = \frac{\partial f(x, y)}{\partial x}, t_2 = \frac{\partial f(x, y)}{\partial y}$$

$$|\text{grad}f(x, y)| = \sqrt{t_1^2 + t_2^2}$$

用绝对值可得到以下近似的结果

www.bjcugb.com 北地论坛

$$|\text{grad}f(x, y)| \cong |t_1| + |t_2|$$



❖ 连续域的微分----离散域的差分

对于数字图像，连续导数形式可以用求差来近似表示

$$t_1 = f(i, j) - f(i + 1, j)$$

$$t_2 = f(i, j) - f(i, j + 1)$$

$$|gradf(i, j)| = |t_1| + |t_2|$$



梯度算法对应的模板为：

$$t1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$t2 = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

www.bjcugb.com 北地论坛

常见的梯度算子模板



Roberts 梯度

Roberts梯度采用交叉差分的方法。设：

$$t_1 = f(x, y) - f(x + 1, y + 1)$$

$$t_2 = f(x + 1, y) - f(x, y + 1)$$

www.bjcugb.com 北地论坛

t1=

1	0
0	-1

t2=

0	1
-1	0

Roberts

常见的梯度算子模板



Prewitt和Sobel梯度

t1=

-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

t2=

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

www.bjcugb.com 北地论坛

t1=

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

t2=

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

Sobel



6	6	6	12	12	12	12
6	6	6	12	12	12	12
6	6	6	12	12	12	12
6	6	6	12	12	12	12
6	6	6	6	6	6	6
6	6	6	6	6	6	6
6	6	6	6	6	6	6

www.bjcugb.com 北地论坛



水平、垂直梯度



Roberts
梯度



Sobel梯度



www.bjcugb.com 大地论坛



图像锐化

2.定向检测:

当有目的地检测某一方向的边、线或纹理特征时，可选择特定的模板卷积运算作定向检测。常用的模板为：

检测垂直边界：

$$h_1 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

或

$$h_2 = \begin{bmatrix} -1 & 2 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \end{bmatrix}$$

检测水平边界：

$$h_3 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

或

$$h_4 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 2 & 2 & 2 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

检测对角线边界：

$$h_5 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$h_6 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$h_7 = \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix}$$

$$h_8 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & 2 \\ -1 & 2 & -1 \\ 2 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

图像锐化



3. 拉普拉斯算子

- ❖ 拉普拉斯算子处理是常用的边缘增强处理算子，它是各向同性的二阶导数

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$

对数字图像来讲， $f(x, y)$ 的二阶偏导数可表示为：

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} &= \nabla_x f(i+1, j) - \nabla_x f(i, j) \\ &= [f(i+1, j) - f(i, j)] - [f(i, j) - f(i-1, j)] \\ &= f(i+1, j) + f(i-1, j) - 2f(i, j) \\ \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2} &= f(i, j+1) + f(i, j-1) - 2f(i, j) \end{aligned}$$



为此，拉普拉斯算子为：

$$\begin{aligned}\nabla^2 f &= \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \\ &= f(i+1, j) + f(i-1, j) + f(i, j+1) + f(i, j-1) - 4f(i, j)\end{aligned}$$



以模板形式表示为:

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

可见数字图像在某点的拉普拉斯算子，可以由中心像素点灰度级值和邻域像素灰度级值通过加减运算来求得。

www.bjcugb.com 北地论坛

- ✦ 拉普拉斯锐化：用原图像的值减去模板运算结果的整倍数，即：

$$g(x, y) = f(x, y) - k \nabla^2 f(x, y)$$



$$h_1 = \begin{bmatrix} & 1 & \\ 1 & -4 & 1 \\ & 1 & \end{bmatrix}$$



拉普拉斯算子



$$h_2 = \begin{bmatrix} & -1 & \\ -1 & 5 & -1 \\ & -1 & \end{bmatrix}$$





彩色增强

①伪彩色密度分割：把一幅黑白图像的不同灰度按一定的函数关系变换成彩色，得到一幅彩色图像的方法。

www.bjcugb.com 北地论坛



图像运算

❖ 加法运算

$$f_c(x, y) = a[f_1(x, y) + f_2(x, y)]$$

加法运算主要用于对同一地区的多幅图像的求平均，可以有效地减少图像的随机噪声。



❖ 差值运算

$$f_D(x, y) = a\{[f_1(x, y) - f_2(x, y)] + b\}$$

www.bjcugb.com 北地论坛



❖ 比值运算

比值方法:

简单比值 如 $TM5/TM7$

组合比值 如 $(TM4-TM3) / (TM4+TM3)$

标准比值 单个波段与所有波段之和构成的比值。

通过 $TM5/TM7$ 可有效地增强和提取蚀变岩信息

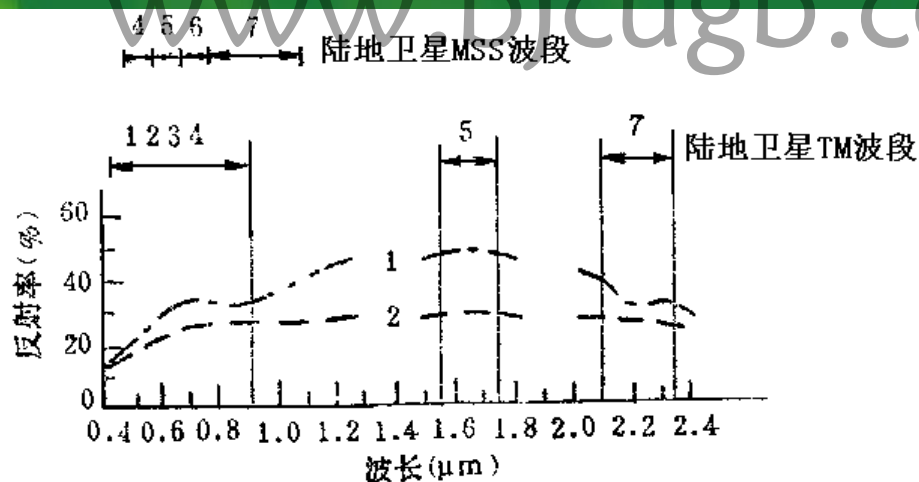


图3.31 蚀变岩与非蚀变岩的反射光谱特性曲线及MSS, TM对应波段(据Rowan, L.C.和Geotz, A.F.H.)
1. 蚀变岩; 2. 非蚀变岩





技术要点:

- ①**图像必须先配准**----位置准确，不能张冠李戴；
- ②**像元亮度值应作标准化、归一化**----同一起跑线上比较；
- ③**注意成像时间、季节的选择**，应尽量降低两图像因成像环境因素不同产生的影响----突显地物真正的变化而非环境因素的变化。



彩色变换

- ❖ 彩色变换又称为彩色编码，所谓彩色变换即为两种彩色模型编码系统之间的变换。
- ❖ 彩色模型指的是某个三维彩色空间的一个可见光子集。它包含某个彩色域的所有彩色，彩色模型的用途是在某个彩色域内方便地指定彩色。由于任何一个彩色都只是可见光的子集，所以任何一个彩色模型都无法包含所有的可见光。



IHS 彩色变换

- 强度 I 仅表示照度的大小；
- 色度 H 代表颜色色纯的程度；
- 饱和度 S 代表具有相同明亮的颜色离开中性灰色的程度。

www.bjtu.edu.cn 北地论坛



IHS变换

正变换公式: $I = R + G + B$

当B为最小时: $H = \frac{B - R}{I - 3R} + 1$, $S = \frac{I - 3R}{I}$

当R为最小时: $H = \frac{G - B}{I - 3B}$, $S = \frac{I - 3B}{I}$

当G为最小时: $H = \frac{R - G}{I - 3G} + 2$, $S = \frac{I - 3G}{I}$



IHS反变换

当H为0到1:

$$R = \frac{1}{3}I(1 + 2S - 3SH) \quad , \quad G = \frac{1}{3}I(1 - S + 3SH) \quad , \quad B = \frac{1}{3}I(1 - S)$$

当H为1到2:

$$R = \frac{1}{3}I(1 - S) \quad , \quad G = \frac{1}{3}I(1 + 5S - 3SH) \quad , \quad B = \frac{1}{3}I(1 - 4S + 3SH)$$

当H为2到3:

$$R = \frac{1}{3}I(1 - 7S + 3SH) \quad , \quad G = \frac{1}{3}I(1 - S) \quad , \quad B = \frac{1}{3}I(1 + 8S - 3SH)$$



多光谱增强-K-L变换

K—L变换原理:

K-L变换又称为主成分变换。原理如下:

对某一**n**个波段的多光谱图像实行一个线性变换，即对该多光谱图像组成的光谱空间乘以一个线性变换矩阵**A**，产生一个新的光谱空间**Y**，产生一个新的**n**个波段的多光谱图像

表达式为 $Y=AX$

其中**X**为变换前的像元矢量；**Y**为变换后的主分量空间的像元矢量；**A** 为一个**n*n**的线性变换矩阵。



- ❖ 根据主成分变换的数学原理， A 是 X 空间的协方差矩阵 Σ^x 的特征向量矩阵的转置矩阵，即

$$A = \Phi^T = \begin{pmatrix} \varphi_{11} & \varphi_{12} & \cdots & \varphi_{1n} \\ \varphi_{21} & \varphi_{22} & \cdots & \varphi_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \varphi_{n1} & \varphi_{n2} & \cdots & \varphi_{nn} \end{pmatrix}$$



因此 $Y=AX$ 可以写成

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_i \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \varphi_{11} & \varphi_{12} & \cdots & \varphi_{1n} \\ \varphi_{21} & \varphi_{22} & \cdots & \varphi_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \varphi_{n1} & \varphi_{n2} & \cdots & \varphi_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_i \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}$$

A的作用实际上是对各分量加一个权重系数，实现线性变换。

www.bjcugb.com 北地论坛



KL变换的特点

- ❖ 由于KL变换是正交线性变换，所以变换前后的方差总和保持不变，只是把原来的方差不等量地再分配到新的主成分图像中。
- ❖ 第一主成分包含了总方差的绝大部分（一般在80%以上）
- ❖ KL变换是去相关、消除数据冗余的有效方法。