

位图是通过许多像素点表示一幅图像，每个像素具有颜色属性和位置属性。

位图分成如下四种：二值图像 (binary images) 亮度图像 (intensity images)

索引图像(indexed images) RGB 图像(RGB images)。

1. 二值图像 (binary images)

二值图像只有黑白两种颜色，一个像素仅占 1, 0 表示黑，1 表示白，或相反。

2. 亮度图像(intensity images)

在亮度图像中，像素灰度级用 8 表示，所以每个像素都是介于黑色和白色之间的 256 (=256) 种灰度中的一种。

3. 索引图像(indexed images)

颜色是预先定义的 (索引颜色)。索引颜色的图像最多只能显示 256 种颜色。

4. RGB 图像(RGB images)。

“真彩色”是 RGB 颜色的另一种叫法。在真彩色图像中，每一个像素由红、绿和蓝三个字节组成，每个字节为 8，表示 0 到 255 之间的不同的亮度值，这三个字节组合可以产生 1670 万种不同的颜色。

**空间分辨率：**它是图像中可辨别的最小细节，取样值是决定图像空间分辨率的主要参数。线对：由一条线与它紧邻的线组成的、每单位距离可分辨的最小线对数目。

**灰度级分辨率：**在灰度级别中可分辨的最小变化、高度主观过程。它是表示图像亮度强弱的指数标准。

**像素之间距离函数的定义**

对于像素 p、q 和 z，分别具有坐标 (x, y)，(s, t)，和 (v, w)，D 是距离函数或称度量，当： $D(p, q) \geq 0$  ( $D(p, q)=0$ ，当且仅当  $p=q$ ) 两点之间距离大于等于 0； $D(p, q)=D(q, p)$ ，距离与方向无关； $D(p, z) \leq D(p, q) + D(q, z)$ ，两点之间直线距离最短。

## 1.线性点运算

GST函数 $f(D)$ 为线性，即

$$D_B = f(D_A) = \alpha D_A + b$$

显然，

\*若 $a = 1, b = 0$ , 图象像素不发生变化；

\*若 $a = 1, b \neq 0$ , 图象所有灰度值上移或下移；

\*若 $a > 1$ ，输出图象对比度增强；

\*若 $0 < a < 1$ , 输出图象对比度减小；

\*若 $a < 0$ , 暗区域变亮，亮区域变暗，图象求补。



**lenna.bmp**



$$D_B = D_A + 50$$



$$D_B = 1.5 \times D_A$$



$$D_B = 0.8 \times D_A$$



$$D_B = -1 \times D_A + 255$$

## 几何运算两个独立的算法：

空间变换算法和灰度级插值算法。

### 1.空间变换算法

- 问题描述：图像的平移、放缩和旋转。
- 解题工具：线性代数中的齐次坐标。

step1: 图像的平移

$$a(x, y) = x + x_0$$

$$b(x, y) = y + y_0$$

$$\begin{bmatrix} a(x, y) \\ b(x, y) \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & x_0 \\ 0 & 1 & y_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

step2: 图象在 $x$ 方向放大 $c$ 倍,  $y$ 方向放大 $d$ 倍。

$$a(x, y) = cx \quad b(x, y) = dy$$

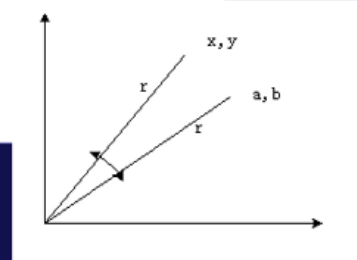
$$\begin{bmatrix} a(x, y) \\ b(x, y) \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c & 0 & 0 \\ 0 & d & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$



step3: 图象绕原点顺时针旋转 $\theta$ 角。

$$a(x, y) = x \cos(\theta) - y \sin(\theta) \quad b(x, y) = x \sin(\theta) + y \cos(\theta)$$

$$\begin{bmatrix} a(x, y) \\ b(x, y) \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$



1. 图像采样、量化组成了图像数字化的两个过程, 经过数字化后就可得到一幅图像的数字表示, 即数字图像。
2. 图像信号的采样定理。
3. 灰度直方图是图像处理中最简单和最有用的一种工具。
4. 图像点运算、代数运算、几何运算是图像处理空域中的基本算法。
  - **点运算**对单幅图像做处理, 不改变像素的空间位置;
  - **代数运算**对多幅图像做处理, 也不改变像素的空间位置;
  - **几何运算**对单幅图像做处理, 改变像素的空间位置。

## JPEG图像文件格式

JPEG标准委员会没有对JPEG文件格式作出明确的定义，现在被广泛采用的是1992年9月由C-Cube Microsystems公司提出的JPEG文件交换格式（JPEG File Interchange Format, JFIF），版本号为1.02。JFIF文件格式直接使用JPEG标准为应用程序定义的许多标记，因此JFIF格式成了事实上JPEG文件交换格式标准。

JEPG文件大体上可以分成两个部分：标记码（tag）和压缩数据。标记码部分给出了JPEG图像的所有信息，如图像的宽、高、Huffman表、量化表等等。

傅里叶变换有两个好处：

- 1) 可以得出信号在各个频率点上的强度。
- 2) 可以将卷积运算化为乘积运算。





4. 利用傅里叶变换的可分离性求

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$F(u, v) = ?$$

答:

$$F(u, v) =$$

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

## 本章学习目标

1. 图像增强技术的目的
2. 灰度图像增强原理
3. 频域图像增强原理
4. 直方图均衡化
5. 直方图规定化
6. 图像平滑
7. 图像锐化

图像增强指按特定的需要突出一幅图像中的某些信息，同时削弱或去除某些不需要的信息的处理方法。

#### 一、目的：

1. 改善图像视觉效果，便于观察和分析
2. 便于人工或机器对图像的进一步处理

注意：(1)图像信息有损无增；

(2)图像增强一般是一个复杂图像处理系统的主要的“预处理”环节。

#### 二、特点：

1. 人为地突出图像中的部分细节，压制另外一部分信号  
图像增强并不能增强原始图像的信息，只能增强对某种信息的辨别能力。
2. 在不考虑图像降质原因的条件下，用经验和试探的方法进行加工
3. 尚无统一的质量评价标准，无法定量衡量处理效果的优劣；

需要注意的问题：

- 处理时应考虑人眼的视觉特性和硬件的表现能力，达到合理的匹配
- 处理时必须考虑处理目的，选用合适的方法

## 第二节 空域变换增强

❖ 直接灰度变换

❖ 直方图处理

### ➤ 点处理与区域处理

$$g(x,y)=T(f(x,y))$$

当参与运算的是 $1\times 1$ 邻域时,  $T$ 称为灰度变换(映射). 一般被表示为:

$$S=T(r)$$

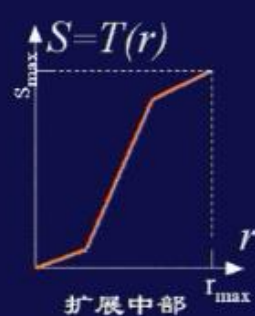
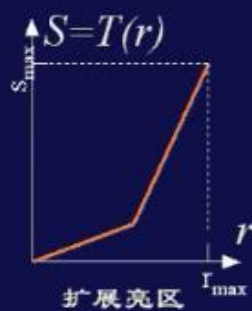
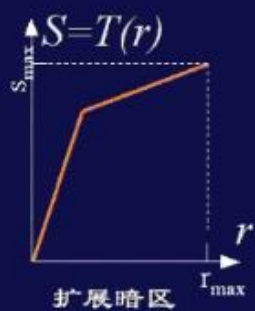
设 $r$ 和 $s$ 分别表示图象增强过程中, 源图象与目标图象的灰度级, 并假定在源图象中的像素值为 $r$ 的像素的像素值, 在目标图象中变为 $s$ 。 $r$ 与 $s$ 之间的关系由变换函数 $T$ 表示, 则 $s=T(r)$ 称为灰度变换(映射)。

图象反转:  $s=L-1-r$

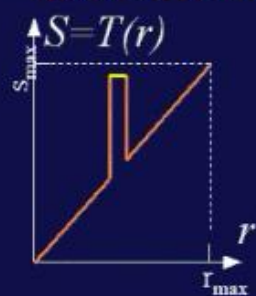
对数变换:  $s=c\log(1+r)$

幂次变换:  $s=cr^{\gamma}$

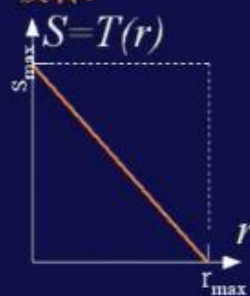
区域扩展:



检测某灰度范围:

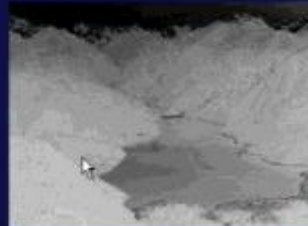
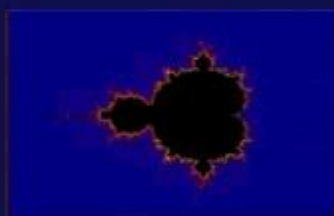
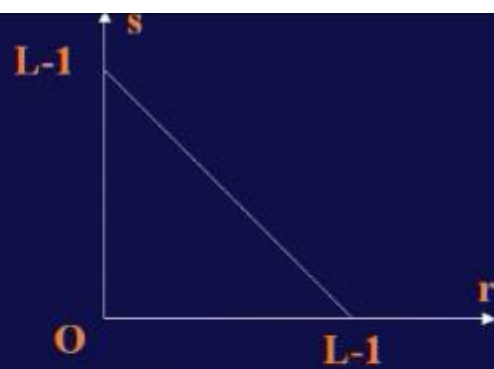


反转:



❖ 灰度求反

$$s = (L-1) - r$$



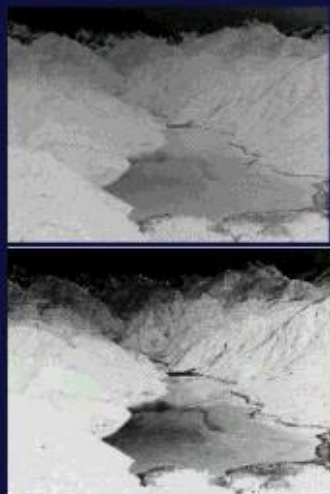
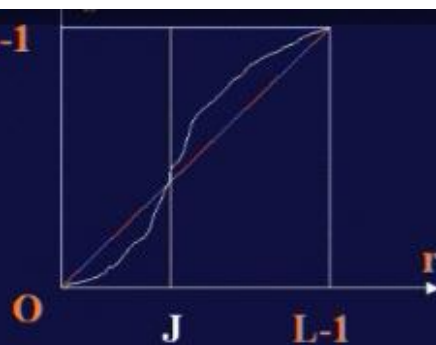


## ❖ 增强对比度（对比度扩展） L-1

使亮的更亮，暗的更暗

$$s=r$$

$$s=T(r)$$



## ❖ 灰度切分

将某个灰度范围变得较突出



## 二、直方图处理

灰度直方图：图像中像素灰度分布的概率密度函数，反映一幅图像中的灰度级与出现这种灰度的概率之间的关系的图形。

### 数字图像

$$p(s_k) = \frac{n_k}{n}$$

$n$ 是图像中像素总数

$s_k$ 代表离散灰度级

$$\text{且: } \sum_{k=0}^{K-1} p(s_k) = 1$$

$n_k$ 为图像中出现 $s_k$ 这种灰度的像素数

$s_k$ 与 $p(s_k)$ 之间的关系图形称为直方图

：

图像灰度直方图是反映一幅图像中的灰度级与出现这种灰度级的像素的概率之间的关系的图形

### ➤直方图的作法

#### a)将图像的灰度级归一化

若图像的灰度级为 $0, 1, \dots, L-1$ , 则令

$$r_k = \frac{k}{L-1}, k = 0, 1, \dots, L-1$$

则 $0 \leq r_k \leq 1$ .  $L$ 为灰度级层次数,  $\Delta L_k = r_{k+1} - r_k$ 为灰度间隔

#### b)计算各灰度级的像素频数(或概率)

设 $n_k$ 为灰度级为 $r_k$ 的像素的个数,  $n$ 为总的像素个数, 令

$$p_r(r_k) = \frac{n_k}{n}$$

$n_k$ 是像素值为 $k$ 的像素的频数,  $p_r(r_k)$ 为其出现的概率

### c)作图

建立直角坐标系，横轴表示 $r_k$ 的取值，纵轴表示 $p_r(r_k)$ 的取值，作 $p_r(r_k)$ 的函数图

### 举例



### 灰度直方图的性质

- ❖ 不包含图像灰度 分布的空间信息，因此无法解决目标形状问题
- ❖ 具有不唯一性，即不同图像可能对应相同的直方图
- ❖ 具有可加性，即图像总体直方图等于切分的各个子图像的直方图之和

## （一）直方图的均衡化

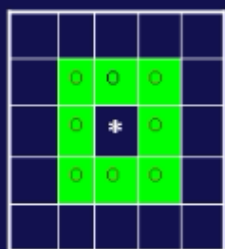
## 二、直方图处理

**均衡化：**将原始图像的直方图变换为均匀分布的形式，从而增加像素灰度值的动态范围，达到增强图像整体对比度的效果。

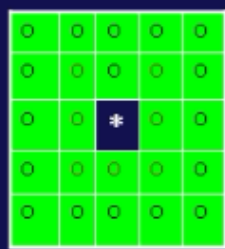
**方法：**计算累积分布函数(Cumulative Distribution Function, CDF)，并将其作为灰度变换函数 $t=EH(S_k)$ ，从而将原始图像的关于灰度  $s$  的分布直方图，转换为 关于灰度  $t$  的均匀分布。

取整  $t_k = \text{int}[(N-1)t_k + 0.5]$

**邻域：**在一定意义下，与该像素相邻的像素的集合



3×3邻域



5×5邻域



4邻域



8邻域

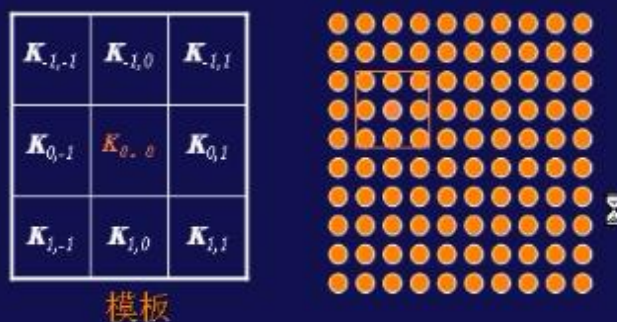
**3×3邻域**={ $(x+1,y)$ ,  $(x,y+1)$ ,  $(x-1,y)$ ,  $(x,y-1)$ }





## (二) 空域线性滤波的算法 — 模板操作

1. 将模板在图中漫游，并将模板中心与某像素重合
2. 将模板系数与模板下对应像素相乘
3. 将所有乘积相加
4. 将上述求和结果赋予模板中心对应像素



## (三) 空域线性滤波运算的原理 — 空域卷积

$$g(x, y) = \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 f(x-i, y-j) k(i, j)$$

根据卷积定理知，空域内的卷积等价于空间频率域内的滤波。因此模板的作用可以通过分析其频率特性而知。

#### (四) 模板的可分解性

0	$-\alpha$	0
$-\alpha$	$1+4\alpha$	$-\alpha$
0	$-\alpha$	0

0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	$\alpha$	$-\alpha$	$-\alpha$	$\alpha$	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0

## 二、 图像平滑

### (一) 平滑的目的:

- ❖ 抑制或消除噪声
- ❖ 作为其它处理的前处理

### (二) 线性平滑滤波器: 邻域平均: G1

0	1/5	0
1/5	1/5	1/5
0	1/5	0

1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9

邻域平均

邻域平均法在一定程度上抑制噪声，但是邻域平均法的平均作用会引起模糊现象，模糊程度与邻域半径成正比。



邻域平均

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

阈值邻域平均

$T$ 为某一阈值

$$g(i, j) = \begin{cases} \frac{1}{N \times N} \sum_{(x, y) \in A} f(x, y), & \left| f(i, j) - \frac{1}{N \times N} \sum_{(x, y) \in A} f(x, y) \right| > T \\ f(i, j), & \text{其它} \end{cases}$$

如果某个像素的灰度值大于其邻域像素的平均值，且达到了一定水平，则判断该像素为噪声，继而用邻域像素的均值取代这一像素值，这样可以大大减少模糊的程度。



(a) 3%椒盐噪声干扰的噪声图像



用3×3大小窗口邻域平均法  
对(a)图进行滤波



用3×3窗口阈值邻域平均法  
对(a)图进行滤波

### “阈值邻域平均法”比一般邻域平均法的效果好

在对窗口的大小及门限的选择要慎重， $T$ 太小，噪声消除不干净； $T$ 太大，易使图像模糊。

在实际应用中我们一般用 $3 \times 3$ 窗口，而且还可以对邻域中各个像素乘以不同的权重然后再平均，由此得到不同的加权矩阵，以下给出常用的几种**加权矩阵**。

$$H_1 = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H_2 = \frac{1}{10} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H_3 = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H_4 = \frac{1}{8} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$



(三) 非线性平滑滤波器 — 中值滤波，百分比滤波，最大值滤波，最小值滤波：G2

#### **中值滤波**

中值滤波是将选定的奇数像素窗口内的各像素灰度按大小排队，用中间的灰度值代替窗口中原图像中间位置的像素。因此是一种非线性滤波。

**举例：**下图列出一幅数字图象（没有注明灰度级的背景均为4），采用 $3 \times 3$ 方形窗口中值滤波，试计算滤波后的结果。



4	4	4	4	4	4	4	4
4	4	4	48	4	4	4	4
4	4	64	64	64	64	4	4
4	17	64	64	96	64	4	4
4	4	64	85	64	64	8	4
4	4	64	64	64	64	4	4
4	56	4	4	23	4	4	4
4	4	4	4	4	4	4	4

4	4	4	4	4	4	4	4
4	4	4	4	4	4	4	4
4	4	48	64	64	4	4	4
4	4	64	64	64	64	4	4
4	4	64	64	64	64	4	4
4	4	56	64	64	23	4	4
4	4	4	4	4	4	4	4
4	4	4	4	4	4	4	4

4	4	4	4	4	4	4	4
4	4	4	48	4	4	4	4
4	4	64	64	64	64	4	4
4	17	64	64	96	64	4	4
4	4	64	85	64	64	8	4
4	4	64	64	64	64	4	4
4	56	4	4	23	4	4	4

64, 64, 64, 64, 48, 17, 4, 4, 4	4	4	4	4	4	4	4
96, 64, 64, 64, 4, 4, 4, 4, 4	4	4	4	4	4	4	4
	4	4	48	64	64	4	4
	4	4	64	64	64	64	4
	4	4	64	64	64	64	4
	4	4	56	64	64	23	4
	4	4	4	4	4	4	4
	4	4	4	4	4	4	4

## 使用中值滤波器滤除噪声的方法很多

- ✓ 可以先使用小尺度的窗口，然后逐渐加大窗口尺寸；
- ✓ 和前面的阈值邻域平均法一样，即当某个像素的灰度值超过窗口中像素灰度值排序中间的那个值，且达到一定水平时，则判断该点为噪声，用灰度值排序中间的那个值来代替；否则还是保持原来的灰度值。

### 百分比滤波

与中值滤波类似，是将选定的奇数像素窗口内的各像素灰度按大小排队，用最接近某个亮度百分比的灰度值代替窗口中原图像中间位置的像素。

### 最大值滤波

方法与上述类似，用于检测图像中最亮的点。

### 最小值滤波

方法与上述类似，用于检测图像中最暗的点。

### 三、图像锐化

#### (一) 锐化的目的:

- ❖对正常图像, 通过锐化提取边缘、轮廓、线条等信息, 供进一步识别
- ❖通过加重图像轮廓克服降质, 以达到更好的视觉效果

#### (二) 锐化算法的一般考虑

图像平滑: 空域处理法

主要是邻域平均

类似于积分过程

图像边缘、细节模糊

微分产生相反的效应

图像尖锐化

常用梯度法



## 图像锐化

增强图像边缘及灰度跳变部分

#### ❖微分

设函数 $z=f(x,y)$ 满足可微条件, 则在 $(x,y)$ 处的各阶微分的表达式可以写为:

$$dz = \frac{\partial f}{\partial x} dx + \frac{\partial f}{\partial y} dy$$
$$d^2z = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} dx^2 + 2 \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} dx dy + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} dy^2$$

## ❖ 梯度

向量  $\text{grad}[f(x, y)] = [\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y}]$  称为函数  $f(x, y)$  在  $(x, y)$  处的梯度

向量  $\text{grad}[f(x, y)]$  指向  $f(x, y)$  的最大增加率的方向

梯度的模为  $\|\text{grad}[f(x, y)]\| = G[f(x, y)] = [(\frac{\partial f}{\partial x})^2 + (\frac{\partial f}{\partial y})^2]^{\frac{1}{2}}$

## ❖ 差分

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

$$\Delta_x f = f(x+1, y) - f(x, y)$$

$$\text{或者} f(x, y) - f(x-1, y)$$

$$\Delta_y f = f(x, y+1) - f(x, y)$$

$$\text{或者} f(x, y) - f(x, y-1)$$

一阶差分

$$\Delta_x^2 f = \Delta_x f(x+1, y) - \Delta_x f(x, y)$$

$$= [f(x+1, y) - f(x, y)] - [f(x, y) - f(x-1, y)]$$

$$= f(x+1, y) + f(x-1, y) - 2f(x, y)$$

$$\Delta_y^2 f = f(x, y+1) + f(x, y-1) - 2f(x, y)$$

二阶差分



### ❖ 梯度算子

$$\text{令 } G(f) = \sqrt{(\Delta_x f)^2 + (\Delta_y f)^2} = \sqrt{(f(x+1, y) - f(x, y))^2 + (f(x, y+1) - f(x, y))^2}$$

则称  $G(f)$  为  $f$  的离散梯度。

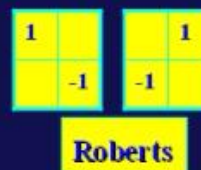
为了加快运算速度，通常改造  $G(f)$ ，一般地有以下几种方法：

$$G(f) = |f(x, y) - f(x+1, y)| + |f(x, y) - f(x, y+1)|$$

$$G(f) = \max_{(x', y') \in N_8(x, y)} |f(x, y) - f(x', y')| \quad \boxtimes$$

$$G(f) = |f(x, y) - f(x+1, y+1)| + |f(x+1, y) - f(x, y+1)|$$

这种交叉梯度称为 **Roberts 梯度**。



原图像



利用 Roberts 算子  
进行边缘提取的  
结果

## ❖ 梯度算子锐化

$$g(x, y) = G[f(x, y)]$$

(平滑区域变成了暗区)

$$g(x, y) = \begin{cases} G[f(x, y)] & G[f(x, y)] \geq T \\ f(x, y) & G[f(x, y)] < T \end{cases}$$

(不破坏平滑区的灰度值的前提下，能有效地强调图象的边缘)



$$g(x, y) = \begin{cases} L_G & G[f(x, y)] \geq T \\ f(x, y) & G[f(x, y)] < T \end{cases}$$

(给边缘处的像素值规定一个特定的灰度级)

$$g(x, y) = \begin{cases} G[f(x, y)] & G[f(x, y)] \geq T \\ L_B & G[f(x, y)] < T \end{cases}$$

(给背景像素的像素值规定一个特定的灰度级)

$$g(x, y) = \begin{cases} L_G & G[f(x, y)] \geq T \\ L_B & G[f(x, y)] < T \end{cases}$$

(强调边缘的位置)

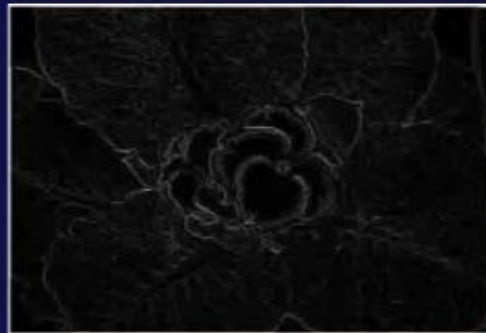


## 举例

```

a=imread('a.jpg');
b=double(a);
c=b;
xy=imfinfo('a.jpg');
x=xy.Width;
y=xy.Height;
for j=3:x-2,
    for i=3:y-2,
        c(i,j)=abs(b(i,j)-b(i+1,j+1))
            +abs(b(i+1,j)-b(i,j+1)) ;
    end
end
imshow(c,[0 256],'notruesize');

```



## ➤拉普拉斯算子锐化

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

用差分来近似，则得拉普拉斯算子的离散形式

$$\begin{aligned} \nabla^2 f &= \Delta_x^2 f + \Delta_y^2 f \\ &= f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1) - 4f(x, y) \end{aligned}$$

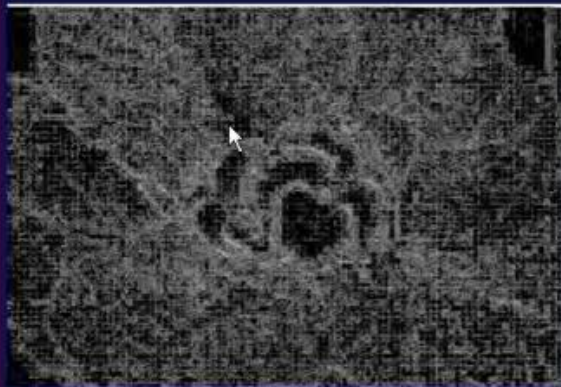
$f(x-1, y-1)$	$f(x-1, y)$	$f(x-1, y+1)$
$f(x, y-1)$	$f(x, y)$	$f(x, y+1)$
$f(x+1, y-1)$	$f(x+1, y)$	$f(x+1, y+1)$

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

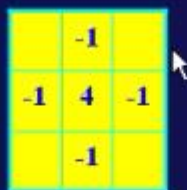
```

a=imread('a.jpg');
b=double(a);
c=b;
xy=imfinfo('a.jpg');
x=xy.Width;
y=xy.Height;
for j=3:x-2,
    for i=3:y-2,
        c(i,j)=abs(b(i+1,j)+b(i,j+1)
            +b(i-1,j)+b(i,j-1)-4*b(i,j)) ;
        if c(i,j)>5
            c(i,j)=c(i,j)+100;
        end
    end
end
imshow(c,[0 256],'notruesize');

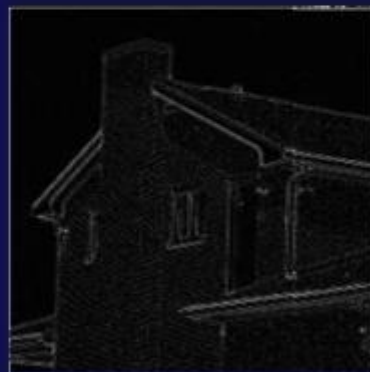
```



## 拉普拉斯算子



原图像



利用拉普拉斯算子进行  
边缘提取的结果



## Sobel算子

$$S = (d_x^2 + d_y^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$d_x = [f(x-1, y-1) + 2f(x, y-1) + f(x+1, y-1)] -$$

$$[f(x-1, y+1) + 2f(x, y+1) + f(x+1, y+1)]$$

$$d_y = [f(x+1, y-1) + 2f(x+1, y) + f(x+1, y+1)] -$$

$$[f(x-1, y-1) + 2f(x-1, y) + f(x-1, y+1)]$$

-1		1	1	2	1
-2		2			
-1		1	-1	-2	-1

Sobel



原图像



利用Sobel算子进行边缘提取的结果

## Prewitt算子

$$S_p = (d_x^2 + d_y^2)^{\frac{1}{2}}$$

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

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

-1		1	1	1	1
-1		1			
-1		1	-1	-1	-1

Prewitt



原图像



利用Prewitt算子进行边缘提取的结果

## 四种低通滤波器的比较

类 别	振铃程度	图像模糊程度	噪声平滑效果
ILPF	严重	严重	最好
TLPF	较轻	轻	好
ELPF	无	较轻	一般
BLPF	无	很轻	一般

用低通滤波器进行平滑处理可以去噪，同时对有用高频成份也滤除，这种去噪的美化处理是以牺牲清晰度为代价的。

## 第五节 图像复原

### 一、引言

- ❖ 图像的质量变坏叫做退化。退化的形式有图像模糊、图像有干扰等
- ❖ 无论是由光学、光电或电子方法获得的图像都会有不同程度的退化
- ❖ 如果我们对退化的类型、机制和过程都十分清楚，那么就可以利用其反过程来复原图像

### 图像复原与图像增强

相同点：改善图像的视觉质量

不同点：前者根据退化模型和知识复原原始图像；  
后者借助人的视觉特性改善视觉效果。

## 1. 基本概念

- 图像复原是要将图像退化的过程加以估计, 并补偿退化过程造成的失真, 以便获得未经干扰退化的原始图像或原始图像的最优估值, 从而改善图像质量的一种方法。
- 因此, 图像复原是图像退化的逆过程。在图像退化确知的情况下, 图像退化的逆过程还有可能进行。
- 但实际情况往往是退化过程并不知晓, 这种复原称为盲目复原, 是十分困难。
- 加之, 图像模糊的同时, 噪声和干扰也会同时存在, 这也为复原过程也带来了困难和不确定性。
- 图像复原是寻求在一定优化准则下的原始图像的最优估计。因此, 不同的优化准则会获得不同的图像复原。

36

## 第六章 图像压缩与编码

### 第一节 图像压缩编码概述

#### 一、图像编码的目的和应用:

**目的:** 在可能的情况下尽量减少图像数据的尺寸, 以便于传输、存储、管理、处理和应用。

**图像数据量举例:**

视频图像:  $512 \times 512 \times 8 \times 25$

$\text{bits/s} \approx 150\text{Mbit/s} \approx 19\text{MByte/s} \approx 70,000\text{MB/hr}$

VCD: 650M, 74Min, 约需要压缩100倍!

传输带宽: Cable	————→	1.5~10Mbps
ATM	————→	Up to 34Mbps
Mobil communication	————→	10Kbs~1Mbps

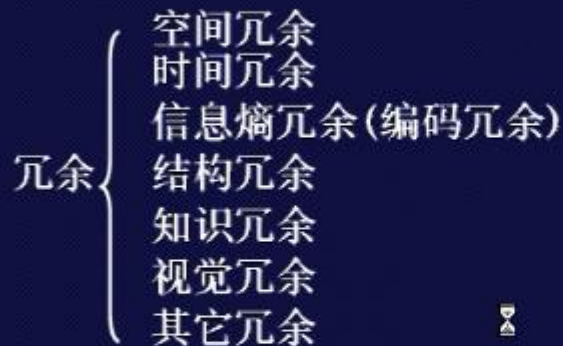
播放速度:

2



## 二、压缩的可能性与图像保真度

### 1. 图像中的数据冗余



### 2. 图像在一些情况下允许一定程度的失真



**直方图**：一个关于图像灰度级别的离散函数。该离散函数是图像中具有相同灰度值的像素出现的概率密度函数。描述的是图像中具有该灰度级别的像素的个数；体现了像素的频率特性，丢失了像素点位置信息特性。直方图存在缺陷——空间信息丢失

**直方图均衡化特点**：①变换后直方图趋向平坦，灰级减少，灰度合并；②有展开输入图像直方图的一般趋势，直方图均衡化后的图像灰度级能跨越更大范围；③实际视觉能够接收的信息量大大的增强了；④方图均衡化能自动地确定变换函数，该函数寻求产生有均匀直方图的输出图像，得到的结果可预知，操作简单。

**思考题**：为什么变换后直方图趋向平坦，达不到完全平坦？——由于离散图像的直方图也是离散的，其灰度累积分布函数是一个不减的阶梯函数。如果映射后的图像仍然能取到所有灰度级，则不发生任何变化。如果映射的灰度级小于 256，变换后的直方图会有某些灰度级空缺。即调整后灰度级的概率基本不能取得相同的值，故产生的直方图不完全平坦。

**乘**——可用掩膜图象乘某一幅图象可以遮住图象中的某些部分；**减**——去除不需要的加性图案（缓慢变换的背景，周期性的噪声，附加污染），**检查变化**；**加**——求平均值去除加性噪声；**除**——可产生对彩色或多光谱图象十分重要的比率图象。

**平滑线性滤波器——均值滤波器（线性滤波算法）**

效果：用于模糊化和减少噪声；以滤波器所定义的邻域内像素平均灰度值取代原灰度值；对于锐利的边缘也有模糊的负效果；用于去除图像中不相干细节（指与滤波掩模尺寸相比较小的像素区域）。

**邻域平均法** 一像素及其指定邻域内的像素的平均值或加权平均值作为该像素的新值，以便去除突变的像素点，从而滤除一定噪声。



**统计排序滤波器—中值滤波器（非线性滤波算法）**将像素值用该邻近区域像素的“中间值”代替；适用于椒盐噪声（脉冲噪声），不宜于线、尖顶等细节多的图像。

**一阶二阶微分的特点**（拉普拉斯抗噪性能最差）

一阶微分产生的边缘宽，对灰度阶梯反应强烈；二阶微分对细节反应强烈如细线、孤立点，对灰度阶梯变化产生双响应；二阶微分在图像中灰度值变化相似时，对于点的响应比线强而对于阶梯的响应最弱；在大多数应用中，对图像增强来说，二阶微分比一阶微分好一些，因为形成增强细节的能力好一些。

**锐化空间滤波器结论：**常数或变化平缓的区域，结果为 0 或很小，图像很暗，亮度被降低了；在暗的背景上边缘被增强了；图像的整体对比度降低了；计算时会出现负值，归 0 处理为常见。

**移中性：**对  $f(x, y)$  直接作 DFT，原点在  $(0, 0)$ ，图像低频集中在四个角；图像移中后进行傅里叶变换，则变换后主要能量（低频分量）集中在频率平面的中心  $(M/2, N/2)$ ；DFT 的原点，即  $F(0, 0)$  被设置在  $u=M/2$  和  $v=N/2$  上；DFT 的原点，即  $F(0, 0)$  被设置在  $u=M/2$  和  $v=N/2$  上；如果是一幅图像，在原点的傅里叶变换  $F(0, 0)$  等于图像的平均灰度级，也称作频率谱的直流成分。**可分离性：**二维变换可以通过两次一维变换来实现；

**空间**

**域滤波和频率域滤波之间的对应关系：**①组成傅立叶变换对，成份均为实高斯函数；②高斯曲线直观且易于操作； $H(u)$  有很宽轮廓时， $h(x)$  有很窄轮廓；③频域越宽，滤除的频率成份越少，空域越窄，模板越小，平滑作用越弱；对于低通滤波器，频域越窄，滤除的频率成份越多，空域越宽，模板越大，图像越模糊；对于高通，频率域滤波器越宽，滤除的频率成份越多，在空间域意味着滤波器越窄，模板越小，检测边缘越少；频域越窄，空域越宽，模板越大，检测边缘越多。（**低通滤波器**，空域用带正系数模版实现低通滤波；**高通滤波器**用带有正有负的系数模版实现高通滤波）**空域作平滑，相当于平域作低通；空域作锐化，相当于平域作高通；去掉高频分量，背景接近黑色，定标后接近灰色；变化剧烈的轮廓边缘变成白色。**

**理想滤波器缺点：**物理上不可实现，有抖动现象和振铃现象；滤除高频成分使图像变模糊。**优点：**处理效果好。**平滑效果比较：**理想滤波器 > 巴特沃斯 > 高斯；**振铃比较：**高斯（无振铃）> 巴特沃斯（与阶数有关，阶数越大，越接近理想，振铃越明显；越小越接近高斯）> 理想（振铃最明显，截止频率点半径越小，振铃越明显）**锐化效果：**理想滤波器 > 巴特沃斯 > 高斯；**振铃比较：**高斯 > 巴特沃斯 > 理想

**同态滤波：**低频成分与照度相联系，照度变化幅度大，使图像灰度动态范围宽（低频压缩）；反射分量往往引起突变，特别在不同物体的连接部分，导致图像对数的傅立叶变换高频成分与反射相联系；反射灰度变化小，感兴趣部分细节不清（高频扩展）

**图像增强**的目标是改进图片的质量，例如增加对比度，去掉模糊和噪声，修正几何畸变等；

**图像复原**是在假定已知模糊或噪声的模型时，试图估计原图像的一种技术。图像复原是将图像退化的过程加以估计，并补偿退化过程造成的失真，以便获得未经干扰退化的原始图像或原始图像的最优估值，从而改善图像质量的一种方法；图像复原是图像退化的逆过程；

**图像增强和图像复原的区别：**①图像增强是为了突出图像中感兴趣的特征，增强后的图像可能与原始图像存在一定的差异。②评判图像增强质量好坏的是主观标准。③图像复原是针对图像退化的原因做出补偿，使恢复后的图像尽可能接近原始图像。④评判图像复原质量好坏的是客观标准。

**图像退化：**在景物成像过程中，由于目标的高速运动、散射、成像系统畸变和噪声干扰，致使最后形成的图像存在种种恶化，称之为“退化”。

**图像退化原因：**成像系统镜头聚焦不准产生的散焦；相机与景物之间的相对运动；成像系统存在的各种非线性因素以及系统本身的性能；射线辐射大气湍流等因素造成的照片畸变；成像系统的像差、畸变、有限带宽等；底片感光图像显示时会造成记录显示失真；成像系统中存在的各种随机噪声。

**点扩展函数  $h(x, y)$  的确定：**图像观察估计法、试验估计法、模型估计法——根据导致模糊的物理过程（先验知识）来确定  $h(x, y)$  或  $H(u, v)$ ；根据物理、数学机理来建立退化模型：**大气湍流、光学系统散焦；照相机与景物相对运动。**

**信源编码器组成：**1 转换器（T）——将输入数据转换为可以减少图像中像素间冗余的格式或将图像变换使后续阶段更容易找到冗余压缩；2 量化器（Q）——将输出精度调整到与预设的保真度准则相一致，减少心理视觉冗余，不可逆；3 符号编码器（C）——生成一个定长或变长编码用于表示量化器输出并将输出转换为与编码相一致，减少编码冗余。

**什么是数据冗余？数字图像中存在哪几种冗余？各有何特点？如何减少或消除？**

解答：代表无用信息或重复表示了其他数据已经表示过的信息的数据称为数据冗余。数据冗余主要有编码冗余、像素间冗余和心理视觉冗余三种。不同的编码方法可能会有不同的平均码字长度。包括 相对编码冗余（不同的编码方法会形成不同的平均码字长度，平均码字长度大的编码相对于平均码字长度小的编码就存在相对编码冗余）；绝对编码冗余（若平均码字长度的下限存在，则使平均码字长度大于其下限的编码存在绝对编码冗余。）。由于像素间存在相关性，那么对于任一给定的像素值，原理上都可以通过它的相邻像素值预测得到。因此像素间的相关性，带来了像素间的冗余。通过某种变换来消除像素间的相关性达到了消除像素间冗余的目的。由于人的心理视觉特点，即人观察图像是基于目标物的特征而不是像素，这就使得某些信息显得不重要，表示这些不重要信息的数据就称为心理视觉冗余。对于数据冗余，通过改变信息的描述方法，可以压缩掉这些冗余，进行无损压缩；对于心理视觉冗余，忽略一些视觉不太明显的微小差异，即进行有损压缩。

**简述无损预测编码与有损预测编码的异同。**

解答：两者都是利用原图像与其预测图像的差值代替原图像进行编码。两者区别是有损预测编码中增加了一个数字量化器，以用较小的信息损失换来较大的压缩比。而无损预测编码是不需要量化器的。

**霍夫曼编码特点瞬时：**符号串中每个码字无需参考后继符号就可解码；**惟一可解码：**任何符号串只能以一种方式解码；**块编码：**每个信源符号都映射到一个编码符号的固定序列中。**无损预测编码基本思想：**通过对每个像素新增的信息进行提取和编码，来消除在空间上较为接近像素之间的冗余信息。

**有损预测编码的失真分为：**快速变化区——斜率过载；相对平滑区——颗粒噪声。  
**变换编码——变换域方法：**将图像经过某种可逆线性变换映射到变换系数集，对这些系数进行量化和编码；大多数图像，大量系数数量级很小，可进行不精确的量化（或完全丢弃），几乎不会产生多少失真。

**有损基本编码系统的步骤 压缩过程：**水平偏移→以  $8 \times 8$  的图像块为基本单位进行编码→DCT 计算→量化→变长编码（对直流系数(DC)进行编码，使用差分脉冲编码调制；对于交流分量，先进行 Z 形编码）→哈弗曼编码。

**染色体的统计与识别** 先通过低通滤波去噪音；提取边缘；通过腐蚀去粘连；统计连通区域的个数，得到染色体的数量。

**说明二值开运算和闭运算对图像处理的作用及其特点。**

解答：（1）两种运算的作用主要是：开运算可用来平滑图像中物体的边界，消除图像中比结构元素小的颗粒噪声，在纤细点处分离物体等。闭运算可用来填充图像中比结构元素小的小孔，连接狭窄的间断，填充狭窄的缝隙等。（2）两种运算的特点主要是：开运算与闭运算具有对偶性。开运算具有磨光物体外边界的作用。闭运算可以使物体的轮廓线变得光滑，具有磨光物体内部边界的作用。

**2、开运算与腐蚀运算相比有何优越性？**

解答：腐蚀运算和开运算都具有消除图像中小于结构元素的成分的作用。但腐蚀运算在消除图像中比结构元素小的成分的同时，会使图像中目标物体收缩变小；而开运算在消除图像中比结构元素小的成分的同时，能较好的保持图像中目标物体大小不变。这是开运算相对于腐蚀运算的优越性。

**3、闭运算与膨胀运算相比有何优越性？**

解答：膨胀运算和闭运算都具有填充图像中小于结构元素的小孔和狭窄缝隙的作用。但膨胀运算在填充图像中比结构元素小的小孔和狭窄缝隙的同时，会使图像中目标物体扩大；而闭运算在填充图像中比结构元素小的小孔和狭窄缝隙的同时，能较好的保持图像中目标物体大小不变。这是闭运算相对于膨胀运算的优越性。

基于灰度值的图像分割的两个基本特性：不连续性（区域之间寻找边缘，包括间断检测边缘连接与检测）；相似性（区域内部通过选择找到灰度值相似区域，包括门限处理区域分离和聚合）。

**JPEG 算法中 DCT 系数采用 Z 字形重排有何作用？**DCT 系数左上角（第 1 行第 1 列）为直流分量（DC 系数），对  $8 \times 8$  子块矩阵进行 Z 字形编排则可将其余的交流分量（AC 系数）按“频率”从低到高排列，形成  $1 \times 64$  的矢量。这样排列可以增加“0”系数的游程长度，提高压缩效率。

DCT 相对 DFT 优点：图像本身为实数，DCT 为实数；DCT 去相关能量集中，效果更好。

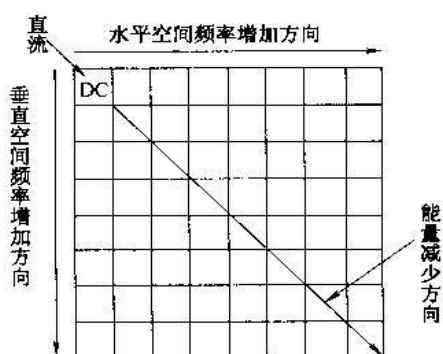
**膨胀：**它会使得图像扩大，是一种小于结构元素的填充；**腐蚀：**运用于图像收缩，去桥接部分。**图像分割：**图像分割就是把图像分成若干个特定的、具有独特性质的区域并提出感兴趣目标的技术和过程。它是由图像处理到图像分析的关键步骤。

**边缘检测：**是图像处理和计算机视觉中的基本问题，边缘检测的目的是标识数字图像中亮度变化明显的点。**图像压缩编码的目的**节省图像存储容量；减少传输信道容量；缩短图像加工处理时间。

4.18 能否想出一个用傅里叶变换计算（或部分计算）在图像微分中使用的梯度数值的方法？解答：回答是“否”。因为傅里叶变换是线性的，而梯度运算有求平方根所以属于非线性运算，所以傅里叶变换不能被用于计算梯度。平方（平方根会绝对值）运

算可被直接在空域计算。4.21 频率域过滤时需要图像延拓，需要延拓的图像在图像中行和列的末尾要填充 0 值，见图 4-8(a)。你认为如果把图像放在中心，四周填充结果不会有区别。答：需要延拓的图像要补零，再进行傅里叶变换，傅里叶变换具有周期性，当 0 值的总数不变时，如对图 4-8(a) 进行多次复制，在 xy 平面上将出现交错，每一次的平方只是黑色部分延伸，若对图 4-8(b) 用相同方法处理，结果不会有区别。

二维 8×8DCT 变换系数的空间频率分布和能量分布。



解答：对一个  $N \times N$  的像素块进行二维 DCT 变换，从物理概念来理解，它是将空间像素的几何分布，变换为空间频率分布；经变换后的系数，左上角为直流项（DC 项）；水平方向，从左到右表示水平空间频率增加的方向；垂直方向，从上到下表示垂直空间频率增加的方向；绝大部分的能量集中在直流分量和少数的低频分量上。大致可认为：以左上角为圆心，在相同半径的圆弧上的系数其能量基本相等，越远离圆心，能量越小，如图 6-1 所示。

3.13 现有两幅图像 a 和 b，它们的灰度等级都

布在全部  $0 \sim 255$  之间。

- (1) 如果我们不断的从图像 a 中减去 b，最终将得到什么结果；
- (2) 如果交换两幅图像是否会得到不同的结果。

解答：(1) 因为两幅图像灰度分布在全部  $0 \sim 255$  之间，并且我们假设两幅图像是不相关的，那么  $a-b$  的结果将分布在  $-255 \sim 255$  之间，所以每次减法操作可以表示为下式： $a(n+1) = [a(n) - b + 255] / 2$  如果随着  $n$  趋于无穷， $a(n)$  趋于一个稳定的图像 A，那么  $A = (A - b + 255) / 2$  所以  $A = 255 - b$ ，最终得到的是图像 b 的负像；(2) 不同，最终得到的是 a 的负像。

用差值检测变化的方法有三个基本条件需要满足：

- (1) 准确地图像配准；
- (2) 光照条件的控制；
- (3) 噪声水平足够低。

例题：设有一幅  $8 \times 8$  图像，其灰度级分布见下图所示。对其进行 Huffman 编码，给出编码过程和码字，并计算平均码字长、信息熵、编码效率和压缩比。

解答：计算每个符号（灰度级）出现的概率：

$$P(1) = 8/64,$$

$$P(2) = 2/64,$$

$$P(3) = 31/64,$$

$$P(4) = 16/64,$$

$$P(5) = 7/64,$$

$$f(m,n) = \begin{bmatrix} 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 1 \\ 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 1 \\ 3 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 3 & 1 \\ 3 & 4 & 5 & 5 & 5 & 4 & 3 & 1 \\ 3 & 4 & 2 & 5 & 2 & 4 & 3 & 1 \\ 3 & 4 & 5 & 5 & 5 & 4 & 3 & 1 \\ 3 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 3 & 1 \\ 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$



编码过程如下图所示

- 获得的码字见下表:

灰度级(i)	1	2	3	4	5
概率P(i)	8/64	2/64	31/64	16/64	7/64
码字(M)	001	0001	1	01	0000
码字长度 (L(i))	3	4	1	2	4

- 平均码字长度为:

$$L_{\text{avg}} = \sum_{i=1}^5 P(i)L(i) = (8/64) \times 3 + (2/64) \times 4 + (31/64) \times 1 + (16/64) \times 2 + (7/64) \times 4 \\ = 1.921875$$

- 信息熵为:

$$H(f) = - \sum_{i=1}^5 P(i) \log_2 P(i) \\ = -[(8/64) \log_2 (8/64) + (31/64) \log_2 (31/64) + (16/64) \log_2 (16/64) \\ + (7/64) \log_2 (7/64) + (2/64) \log_2 (2/64)] \\ = 1.887$$

- 编码效率为:

$$\eta = \frac{H}{L_{\text{avg}}} = \frac{1.887}{1.921875} = 0.9819$$

- 压缩比为:

$$C_R = \frac{m}{L_{\text{avg}}} = \frac{3}{1.921875} = 1.56$$