第3章 图像分析—
3.5纹理描述

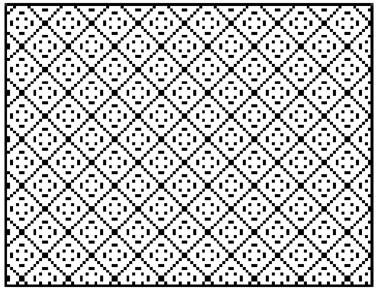
信控学院 蔡利梅

3.5.1纹理图像与纹理描述

纹理图像： 图像分析中常用的概念，类似于砖墙、布匹、草地等**具有重复性结构的图像；**

特点： 灰度分布一般具有某种**周期性**，即便灰度变化是随机的，也具有一定的统计特性，周期长纹理显得粗糙，周期短纹理细致。

纹理描述： 用数据表达这种灰度的分布




3.5.2联合概率矩阵法

- 定义

对图像所有像素进行统计调查，描述其灰度分布的方法。

取图像中点(x,y)及偏离点$(x+\Delta x, y+\Delta y)$，设该点对的灰度值为(f_1,f_2)，移动点(x,y)，得到各种(f_1,f_2)值。设灰度值级数为L，则f_1与f_2的组合共有L^2种。对于整个画面，统计出每一种(f_1,f_2)值出现的次数，排列成方阵，归一化为(f_1,f_2)出现的概率$p(f_1,f_2)$，称方阵为联合概率矩阵，也称为灰度共生矩阵。

■ 示例

2	6	10	14	2	6	10
6	10	14	2	6	10	14
10	14	2	6	10	14	2
14	2	6	10	14	2	6
2	6	10	14	2	6	10
6	10	14	2	6	10	14
10	14	2	6	10	14	2

0	1	2	3	0	1	2
1	2	3	0	1	2	3
2	3	0	1	2	3	0
3	0	1	2	3	0	1
0	1	2	3	0	1	2
1	2	3	0	1	2	3
2	3	0	1	2	3	0

$$
\begin{array}{cc} & f_2 \quad 0 \quad\; 1 \quad\; 2 \quad\; 3 \\ f_1 \begin{array}{c} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{array} & \begin{pmatrix} 0 & 10 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 11 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 11 \\ 10 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{array}
$$

$$(\Delta x = 1, \Delta y = 0)$$

f_1, f_2分别取值为0、1、2、3，将(f_1, f_2)各种组合出现的次数排列起来，得联合概率矩阵

$$
\begin{pmatrix} 0 & 10/42 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 11/42 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 11/42 \\ 10/42 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}
$$

(Δx, Δy)取不同的数值组合，得到不同的联合概率矩阵：

$$\begin{array}{c|c} & \begin{matrix} 0 & 1 & 2 & 3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 9 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 10 \\ 9 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 8 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{array} \quad \begin{pmatrix} 0 & 0 & 9/36 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 10/36 \\ 9/36 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 8/36 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$(\Delta x = 2, \Delta y = 0)$$

$$\begin{array}{c|c} & \begin{matrix} 0 & 1 & 2 & 3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 8 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 9 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 9 \end{pmatrix} \end{array} \quad \begin{pmatrix} 8/36 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 9/36 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 10/36 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 9/36 \end{pmatrix}$$

$$(\Delta x = 1, \Delta y = 1)$$

Δx, Δy的取值要根据纹理周期分布的特性来选择，较细的纹理选取较小的差分值。

■ 基于联合概率矩阵的特征

角二阶矩(能量)：

$$ASM=\sum_{f_1}\sum_{f_2}[p(f_1,f_2)]^2$$

区域越不平滑，*ASM*越低

1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1

$$\begin{pmatrix}0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 1 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0\end{pmatrix}$$

$$(\Delta x=1,\Delta y=0)$$

0	1	0	1	0	0
2	0	2	0	2	2
0	3	0	3	0	0
1	3	1	3	1	1
2	1	2	1	2	2
3	2	3	2	3	3

$$\frac{1}{30}\begin{pmatrix}2 & 2 & 2 & 2\\ 2 & 1 & 2 & 2\\ 2 & 2 & 2 & 2\\ 2 & 2 & 2 & 1\end{pmatrix}$$

$$(\Delta x=1,\Delta y=0)$$

平滑图像，*ASM*=1

不平滑图像，*ASM*很小

对比度：

$$CON=\sum_k k^2\left[\sum_{f_1}\sum_{\substack{f_2\\k=|f_1-f_2|}} p(f_1,f_2)\right]$$

图像像素值变化很快，则CON会有较大取值

0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3
1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2

$$\frac{1}{30}\begin{pmatrix}5&0&0&0\\0&10&0&0\\0&0&10&0\\0&0&0&5\end{pmatrix}$$

$$(\Delta x=1,\Delta y=0)$$

对角线取值大，亮度变化慢，CON小

0	2	0	2	0	2
1	3	1	3	1	3
2	0	2	0	2	0
3	1	3	1	3	1
0	2	0	2	0	2
1	3	1	3	1	3

$$\frac{1}{30}\begin{pmatrix}0&0&8&0\\0&0&0&8\\7&0&0&0\\0&7&0&0\end{pmatrix}$$

$$(\Delta x=1,\Delta y=0)$$

非对角线取值大，亮度变化快，CON较大

倒数差分矩：

$$IDM = \sum_{f_1}\sum_{f_2}\frac{p(f_1, f_2)}{1+|f_1 - f_2|}$$

图像像素值均匀相等时，IDM就会取较大的值。相反，区域越不平滑，IDM值越小

熵：

$$ENT = -\sum_{f_1}\sum_{f_2} p(f_1, f_2)\log_2 p(f_1, f_2)$$

平滑图像熵值小

相关系数：

$$COR = \frac{\sum_{f_1}\sum_{f_2}(f_1 - \mu_{f_1})(f_2 - \mu_{f_2})p(f_1, f_2)}{\sigma_{f_1}\sigma_{f_2}}$$

$$\mu_{f_1} = \sum_{f_1} f_1 \sum_{f_2} p(f_1, f_2)$$

$$\mu_{f_2} = \sum_{f_2} f_2 \sum_{f_1} p(f_1, f_2)$$

$$\sigma_{f_1}^2 = \sum_{f_1}(f_1 - \mu_{f_1})^2 \sum_{f_2} p(f_1, f_2) \qquad \sigma_{f_2}^2 = \sum_{f_2}(f_2 - \mu_{f_2})^2 \sum_{f_1} p(f_1, f_2)$$

实例

打开一幅灰度图像，生成联合概率矩阵并计算参数

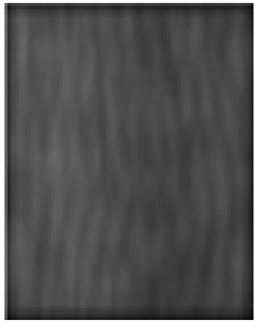
status1 =

Contrast: 0.6303

Correlation: 0.7874

Energy: 0.0901

Homogeneity: 0.7628



status2 =

Contrast: 0.0893

Correlation: 0.9606

Energy: 0.2396

Homogeneity: 0.9553

平滑后图像对比度降低，自相关性增强，角二阶矩和倒数差分矩增大。

3.5.3灰度差分统计法

- 定义

灰度差分： 图像中一点(x,y)，与另一点$(x+\Delta x, y+\Delta y)$的灰度差值：$g(x,y)=|f(x,y)-f(x+\Delta x, y+\Delta y)|$

在画面上移动点(x,y)，累计出$g(x,y)$取各个数值的次数，作出$g(x,y)$的直方图，进而计算$g(x,y)$取值的概率$p_g(i)$。

当采用较小i值的概率$p_g(i)$较大时，说明纹理较粗；概率较平坦时，说明纹理较细。

示例

$$\Delta x = 1, \Delta y = 0$$

0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3
1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2

原图像

0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	

灰度差分图像

$$p_g(0) = 1;\ p_g(1) = 0;\ p_g(2) = 0;\ p_g(3) = 0;$$

水平方向上纹理较粗

0	1	2	3	2	1
1	3	1	3	1	3
0	3	0	3	0	3
2	2	2	2	2	2
0	0	0	1	2	3
1	3	1	3	0	3

原图像

1	1	1	1	1	
2	2	2	2	2	
3	3	3	3	3	
0	0	0	0	0	
0	0	1	1	1	
2	2	2	3	3	

灰度差分图像

$$p_g(0) = 7/30;\ p_g(1) = 8/30;$$

$$p_g(2) = 8/30;\ p_g(3) = 7/30;$$

水平方向上纹理较细

基于灰度差分统计的特征参数

对比度：$CON = \sum_i i^2 p_g(i)$

角度方向二阶矩：$ASM = \sum_i [p_g(i)]^2$

熵：$ENT = -\sum_i p_g(i) \log_2 p_g(i)$

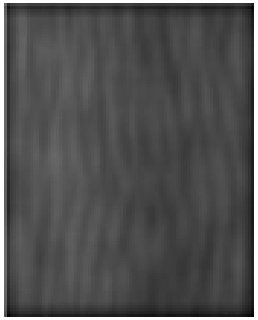
平均值：$MEAN = \frac{1}{m} \sum_i i p_g(i)$

$p_g(i)$较平坦时，ASM较小，ENT较大；若$p_g(i)$分布在原点附近，则MEAN值较小。

■ 实例

打开一幅灰度图像，进行灰度差分统计描述纹理

CON: 208.0318
ASM: 0.2528
ENT: 3.6673
MEAN: 0.0336



CON: 79.4376
ASM: 0.6718
ENT: 1.0036
MEAN: 0.0065

平滑后图像对比度降低，熵降低

3.5.4行程长度法

- 定义

行程长度：在同一方向上具有相同灰度值的像素个数

行程长度矩阵：设点(x,y)的灰度值为f，统计从任一点出发沿θ方向上连续n个点都具有灰度值f的概率，记为$p(f,n)$。把(f,n)在图像中出现的次数表示成矩阵第f行第n列的元素，构成行程长度矩阵

- 示例

有4个灰度级，对于2个方向0°、45°，定义相应的行程长度矩阵M_{RL}。

$$f=\begin{pmatrix}0&0&2&2\\1&1&0&0\\3&2&3&3\\3&2&2&2\end{pmatrix}\qquad M_{RL}(0^\circ)=\begin{pmatrix}0&2&0&0\\0&1&0&0\\1&1&1&0\\2&1&0&0\end{pmatrix}\qquad M_{RL}(45^\circ)=\begin{pmatrix}4&0&0&0\\2&0&0&0\\6&0&0&0\\4&0&0&0\end{pmatrix}$$

使用灰度级行程长度的特征

短行程补偿

$$SRE = \frac{\sum_f \sum_n \left(\frac{M_{RL}(f,n)}{n^2} \right)}{\sum_f \sum_n M_{RL}(f,n)}$$

长行程补偿

$$LRE = \frac{\sum_f \sum_n \left(M_{RL}(f,n) n^2 \right)}{\sum_f \sum_n M_{RL}(f,n)}$$

粗糙图像短行程较多，*SRE*大；平滑图像长行程较多，*LRE*大。

行程百分比

$$RP = \frac{\sum_f \sum_n M_{RL}(f,n)}{N}$$

具有较长线纹理时，总的行程情况数较少，RP较小。

使用灰度级行程长度的特征

灰度级非均匀性

$$GLD=\frac{\sum_{f}\left[\sum_{n}\left(M_{RL}(f,n)\right)\right]^{2}}{\sum_{f}\sum_{n}M_{RL}(f,n)}$$

若各灰度各种行程情况出现较均匀，*GLD*较小，表明纹理较细，变化剧烈；
若某种灰度出现较多，则*GLD*较大，表明纹理较粗，变化平缓。

行程长度非均匀性

$$RLD=\frac{\sum_{n}\left[\sum_{f}\left(M_{RL}(f,n)\right)\right]^{2}}{\sum_{f}\sum_{n}M_{RL}(f,n)}$$

各行程的频数相近，则*RLD*较小；当某些行程长度出现较多时，则*RLD*较大。

■ 使用灰度级行程长度的特征

$$
f=\begin{bmatrix}
0 & 1 & 2 & 3 & 0 & 1 & 2\\
1 & 2 & 3 & 0 & 1 & 2 & 3\\
2 & 3 & 0 & 1 & 2 & 3 & 0\\
3 & 0 & 1 & 2 & 3 & 0 & 1\\
0 & 1 & 2 & 3 & 0 & 1 & 2\\
1 & 2 & 3 & 0 & 1 & 2 & 3\\
2 & 3 & 0 & 1 & 2 & 3 & 0
\end{bmatrix}
$$

$$
M_{RL}(45^\circ)=\begin{array}{c|c}
 & n\quad 1\quad 2\quad 3\quad 4\quad 5\quad 6\quad 7\\
f & \begin{array}{c} 0\\1\\2\\3\end{array}\begin{pmatrix}
2 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0\\
0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0\\
0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 1\\
0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0
\end{pmatrix}
\end{array}
$$

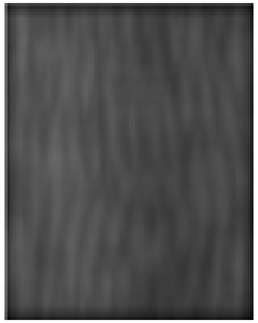
$$
SRE=\frac{\left[\left(2+\frac{2}{5^2}\right)+\left(\frac{1}{2^2}+\frac{1}{4^2}+\frac{1}{6^2}\right)+\left(\frac{2}{3^2}+\frac{1}{7^2}\right)+\left(\frac{1}{2^2}+\frac{1}{4^2}+\frac{1}{6^2}\right)\right]}{13}=0.23
$$

$$
LRE=\frac{\left[\left(2+2\times5^2\right)+\left(2^2+4^2+6^2\right)+\left(2\times3^2+7^2\right)+\left(2^2+4^2+6^2\right)\right]}{13}=17.77
$$

$$
GLD=\frac{4^2+3^2+3^2+3^2}{13}=3.308 \qquad RLD=\frac{2^2+2^2+2^2+2^2+2^2+2^2+1^2}{13}=1.9 \qquad RP=\frac{13}{49}=0.26
$$

- 实例

编程计算树皮图像45°方向行程长度矩阵及参数



	SRE	*LRE*	*GLD*	*RLD*	*RP*
原图像	0.9846	1.0651	257.0163	3.3197e+04	0.3970
平滑图像	0.8186	141.2293	971.0011	2.4555e+04	0.2193

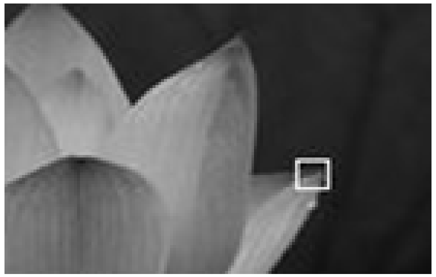
平滑后图像行程增多，LRE增大，变化缓慢，GLD增大

3.5.5LBP特征

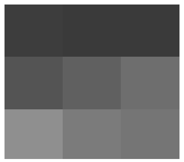
LBP（Local Binary Pattern），局部二元模式

- **LBP特征提取**

3×3的窗口内，灰度值大于中心像素的位置记为1，否则为0，产生8位无符号二进制数，转换为十进制数，即为该窗口中心像素点的LBP值



→



→

61	58	58
84	96	110
143	123	117

→

0	0	0
0		1
1	1	1

→

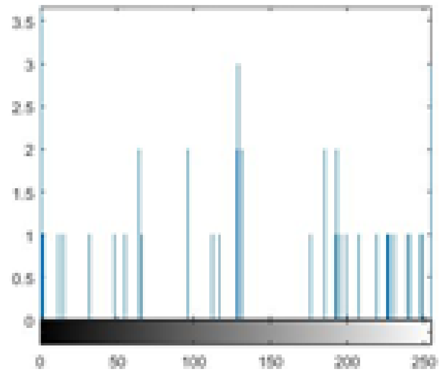
$$(00011110)_{10} = 30$$

通常将图像分为n×n的子区域，对子区域内的像素点计算LBP值，并统计其直方图，以直方图作为其判别特征。

计算Lena图像的LBP特征图

原图

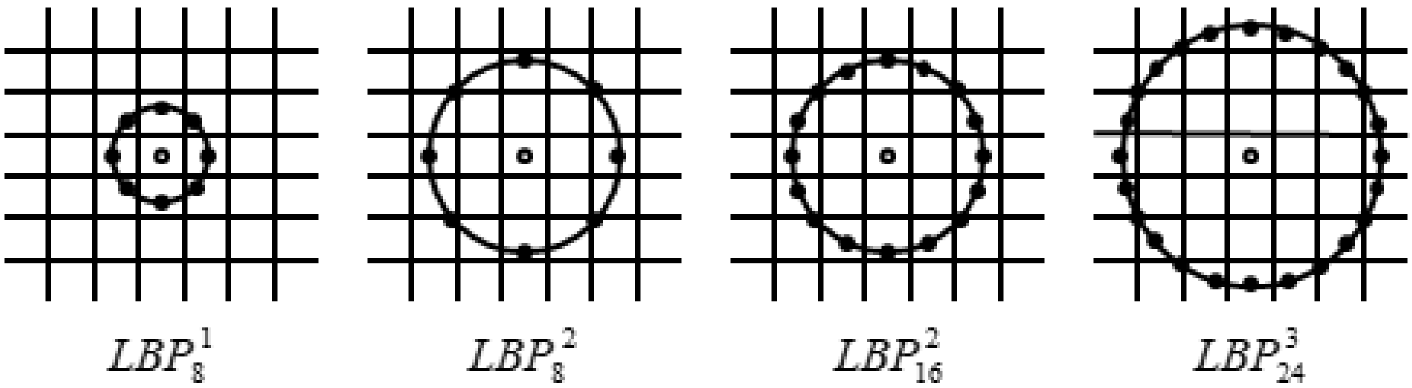
LBP特征图



第一个8×8子区域LBP直方图

圆形LBP算子

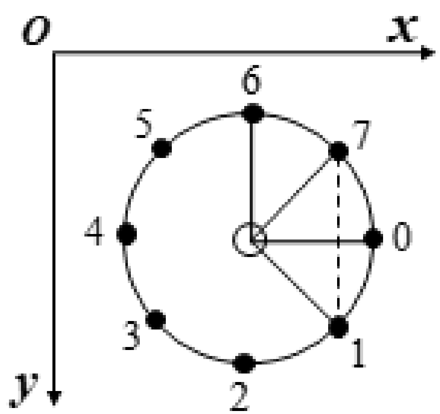
用圆形邻域，半径为R 的圆形邻域内有P个采样点



圆形LBP算子

设中心像素点为(x_c,y_c)，黑色采样点为$(x_k,y_k), \mathrm{k}=0,1,\cdots,P-1$，采样点为非整数像素，用插值方法确定其像素值

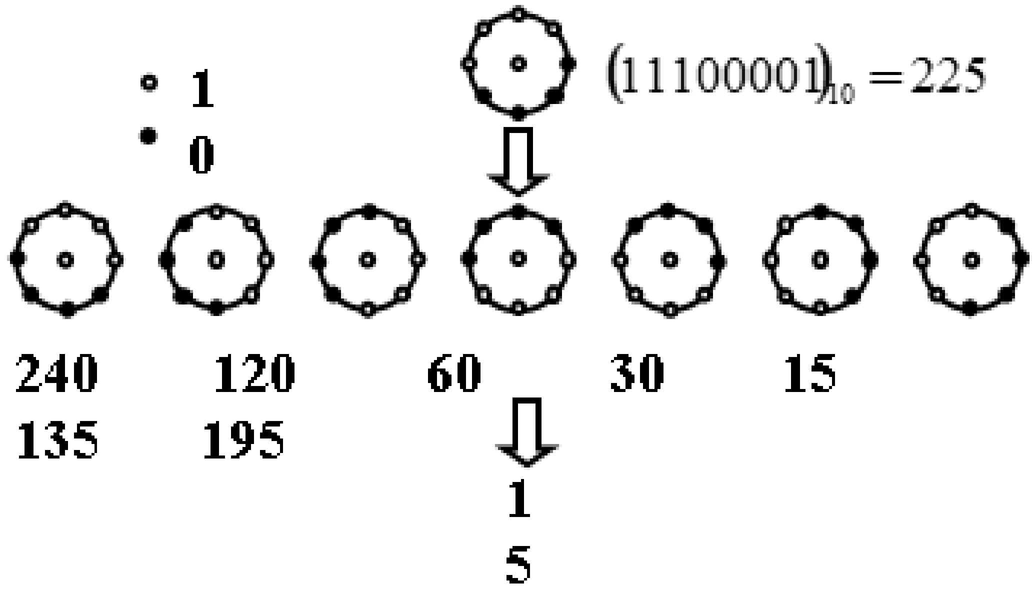
$$\begin{cases} x_k = x_c + R \times cos\left(\dfrac{2\pi k}{P}\right) \\ y_k = y_c + R \times sin\left(\dfrac{2\pi k}{P}\right) \end{cases}$$



圆形LBP采样点

■ LBP旋转不变模式

不断的旋转圆形邻域内的LBP特征，得到一系列LBP值，选择值最小的作为中心像素点的LBP值



■ 实例

计算Lena图像的LBP旋转模式特征图

LBP_4^3

LBP_8^1

LBP_8^2

LBP_{16}^2