第11章 纹理分析

11.1 关于纹理的讨论

11.2 纹理描述的统计方法

11.3 纹理描述的结构方法

11.4 纹理描述的频谱方法

11.5 纹理分割方法

11.1 关于纹理的讨论

1. 什么是纹理

- 纹理是物体表面的固有特征之一
- 是图象区域一种重要的属性
- 目前对纹理尚无正式的（一致的）定义

  人们常可以判断出纹理的存在性
- 对纹理的感受是与心理效果相结合的

  用语言或文字来描述纹理常很困难

自然纹理

人工纹理

遥感图像

11.1 关于纹理的讨论

1. 什么是纹理

11.1 关于纹理的讨论

1. 什么是纹理

11.1 关于纹理的讨论

1. 什么是纹理

- 纹理可认为是灰度（颜色）在空间以一定的形式变化而产生的图案（模式）
- 纹理由许多相互接近的、互相编织的元素构成（它们常富有周期性）
- 纹理特征/特性

  平滑、稀疏、规则性、

  粒度、方向性、重复性

11.1 关于纹理的讨论

11.1 关于纹理的讨论

1. 什么是纹理

- 纹理与尺度有密切联系

  任何物体的表面，如果一直放大下去进行观察的话一定会显现出纹理

- 纹理具有区域性质的特点

  对单个象素来说讨论纹理是没有意义的

  纹理可用来辨识图象中的不同区域

11.1 关于纹理的讨论

2. 纹理研究和应用的内容

(1) 纹理表达和描述

对纹理特点进行刻画，辨认纹理模式

(2) 纹理分割

利用纹理作为特征对图象进行分割

(3) 纹理合成

利用对纹理的描述构建感知上与实际接近的纹理，使图形产生真实感

(4) 由纹理恢复形状

11.1 关于纹理的讨论

3. 纹理分析的方法

(1) 统计法

利用对图象灰度分布和关系的统计规则

(2) 结构法

根据描述几何关系的放置/排列规则来描述纹理基元

(3) 频谱法

根据傅里叶频谱的分布，特别是高能量窄脉冲来描述纹理的全局周期性质

11.1 关于纹理的讨论

3. 纹理分析的方法

(1) 统计法

(2) 结构法

(3) 统计分割检测聚类，再对聚类模式进行结构分析

(4) 结构分析检测纹理基元的聚类，再对聚类模式进行结构分析

11.1 关于纹理的讨论

4. 三类纹理

(1) 全局有序纹理

包含对纹理基元的特定排列

常可用结构方法来分析

(2) 无序纹理

既无重复性也无方向性

用统计法分析比较合适

(3) 局部有序纹理

11.1 关于纹理的讨论

4. 三类纹理

Brodatz纹理相册（1966）

a) D09 Grass　b) D12 Bark　c)D16 Herringbone Weave　d) D24 Calf leather

Brodatz纹理相册中91%的图像可分成上述3类

11.2 纹理描述的统计方法

比较适合描述自然纹理

11.2.1 边缘密度和方向

11.2.2 局部二值模式

11.2.3 自相关函数

11.2.4 灰度共生矩阵

11.2.5 基于共生矩阵的纹理描述符

11.2.6 基于能量的纹理描述符

11.2.7 基于分形的纹理描述

11.2.1 边缘密度和方向

Edge Density and Direction

- 使用边缘检测器
- 固定区域内边缘像素的数量反应了密集程度
- 边缘的方向同样也是纹理的特征

11.2.1 边缘密度和方向

Edge Density and Direction

- 基于边缘的纹理度量
  - 单位区域的边缘数量
    - ✓ $F_{edgeness} = |\{ p \mid gradient_magnitude(p) \geq threshold \}| / N$
    - ✓ N 是单位区域的大小
  - 边缘强度和方向直方图
    - ✓ $F_{mag_dir} = (H_{magnitude}, H_{direction})$
    - ✓ $H_{magnitude}$, $H_{direction}$ 是归一化的梯度强度直方图和梯度方向直方图
- 两个直方图的比较可以通过计算他们的 L_1 或者 L_2距离

11.2.1 边缘密度和方向

Edge Density and Direction

- 左图比右图边缘像素“稠密”
- 边缘强度直方图：2 bins分别表示明、暗两种灰度
- 边缘方向直方图：3 bins分别表示水平、垂直和对角

$F_e = 25/25$ $\quad$ $F_e = 6/25$

$H_m = (6,19)/25$ $\quad$ $H_m = (0,6)/25$

$H_d = (12,13,0)/25$ $\quad$ $H_d = (0,0,6)/25$

n-bin 直方图H_1和H_2可以计算它们之间的L_1或L_2距离进行比较

$$L_1(H_1, H_2) = \sum_{i=1}^{n} \left| H_1[i], H_2[i] \right|$$

11.2.1 边缘密度和方向

Edge Density and Direction

Original Image

Frei-Chen Edge Image

Thresholded Edge Image

11.2.2 局部二值模式

Local Binary Patterns

- 对每个像素 p, 生成一个 8-bit 数 $b_1\ b_2\ b_3\ b_4\ b_5\ b_6\ b_7\ b_8$, b_i = 0 当邻域 i 的值小于等于 p 的值，否则为1。

- 把图像（区域）的纹理表示成这样的直方图。

	1	2	3	
8	100	101	103	4
	40	50	80	
	50	60	90	
	7	6	5	

→ 1 1 1 1 1 1 0 0

LBP码：252

11.2.2 局部二值模式

Local Binary Patterns

- 邻域可以扩展成多尺度环形对称邻域集

P=8, R=1.0 *P=12, R=2.5* *P=16, R=4.0*

- LBP 纹理检测

Spot Spot/flat Line end Edge Corner

11.2.3 自相关

Autocorrelation

- 图像的自相关函数可以用来
  - 检测重复模式的纹理元素 (texture elements)
  - 描述精细和粗糙的纹理 (fineness/coarseness of the texture)

- 位移 d=(dr, dc) 的自相关函数 ρ(dr, dc)

$$\rho(dr, dc) = \frac{\sum_{r=0}^{N}\sum_{c=0}^{N} I[r,c]I[r+dr,c+dc]}{\sum_{r=0}^{N}\sum_{c=0}^{N} I^2[r,c]} = \frac{I[r,c]\circ I_d[r,c]}{I[r,c]\circ I[r,c]}$$

11.2.3 自相关

Autocorrelation

- 自相关的解释
  - 粗糙纹理 → 函数缓慢下降
  - 精细纹理 → 函数快速下降
  - 规则纹理 → 函数有波峰和波谷
  - 随机纹理 → 波峰只发生在原点位置，波峰的宽度反应了纹理的大小

11.2.4 灰度共生矩阵

GLCM (Gray Level Co-ocurrence Matrices)

- 思想
  - 纹理是由灰度分布在空间位置上反复出现而形成
  - 纹理图像在图像空间中相隔某距离的两象素间会存在一定的灰度关系，即灰度的空间相关性(二阶统计分布)
  - 共生矩阵方法用条件概率来反映纹理，是相邻象素的灰度相关性的表现。
- 方法
  - 根据图像像素之间的位置关系（距离，方向），构造一种矩阵，作为纹理的描述
  - 矩阵的行坐标和列坐标表示不同的灰度，考察一对对象素出现的频度，以此作为矩阵中的元素

11.2.4 灰度共生矩阵

- 设 S 为目标区域 R 中具有特定空间联系（可由位置算子确定）的象素对的集合
- 共生矩阵 $\boldsymbol{P}$ 中的元素（#代表数量）

$$p(g_1,g_2)=\frac{\#\{[(x_1,y_1),(x_2,y_2)]\in S \mid f(x_1,y_1)=g_1 \ \&\ f(x_2,y_2)=g_2\}}{\#S}$$

- 分子：具有某种空间关系、灰度值分别为g_1和g_2的象素对的个数
- 分母：象素对的总和个数

11.2.4 灰度共生矩阵

- 位置算子和共生矩阵

位置算子定义所计算象素对的特定空间关系

0	0	0	1	2
1	1	0	1	1
2	2	1	0	0
1	1	0	2	0
0	0	1	0	1

(a)

$$\boldsymbol{P} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4 & 2 & 1 \\ 2 & 3 & 2 \\ 0 & 2 & 0 \end{bmatrix}$$

(b)

图 11.2.1 借助位置算子计算共生矩阵

$g_1=0$, $g_2=1$, $g_3=2$

位置算子W定义为“向右一个像素和向下一个像素”

灰度共生矩阵

共生概率： $P(p,q,d,\theta)$

共生矩阵：

（选定d，θ）

$$P(p,q)=\begin{array}{c|c} & \\ & \\ & \\ & \end{array}\begin{array}{l} 0 \\ 1\text{灰} \\ 2\text{度} \\ 3 \end{array}$$

灰　度　0　1　2　3

共生矩阵往往是对称的（如不区分方向）。

且通常先作灰度级的压缩。

例

图 A

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

图 B

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

$$P_A(d=1,\theta=0^o)=\begin{vmatrix}0 & 8 & 0 & 7\\ 8 & 0 & 8 & 0\\ 0 & 8 & 0 & 7\\ 7 & 0 & 7 & 0\end{vmatrix}$$

$$P_B(d=1,\theta=0^o)=\begin{vmatrix}24 & 4 & 0 & 0\\ 4 & 8 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 12 & 2\\ 0 & 0 & 2 & 4\end{vmatrix}$$

$$P_A(d=1,\theta=45^o)=\begin{vmatrix}12 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 14 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 12 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 12\end{vmatrix}$$

$$P_B(d=1,\theta=45^o)=\begin{vmatrix}18 & 3 & 3 & 0\\ 3 & 6 & 1 & 1\\ 3 & 1 & 6 & 1\\ 0 & 1 & 1 & 2\end{vmatrix}$$

共生矩阵能反映纹理特征的定性说明

- 不同的图像由于纹理尺度的不同其灰度共生矩阵差别很大
- 如果对角线上的元素值很大，说明该方向有相距为d的相同灰度的象素对，如d=1时，则表明有两两灰度相同的象素对，该方向变化不会很快。
- 如果对角线上的元素全部为0，这表明在该方向没有相距为d的相同灰度的象素对，说明该方向有灰度变化，可能存在变化频繁的纹理。
- 对细纹理图像，共生矩阵中的值较为分散；对粗纹理图像，共生矩阵中的值较集中于主对角线附近

纹理图像及其共发矩阵

(a) (b) (c) (d) (e)

细纹理图像及其共生矩阵图

(a) (b) (c) (d) (e)

粗纹理图像及其共生矩阵图

a)原图；b) d=1,θ=0；c) d=1, θ=90； d) d=1, θ=45； e) d=1, θ= -45；

11.2.5 基于共生矩阵的纹理描述符

二阶矩：对应图象的均匀性或平滑性

$$W_M = \sum_{g_1}\sum_{g_2} p^2(g_1, g_2)$$

熵：给出图象内容随机性的量度

$$W_E = -\sum_{g_1}\sum_{g_2} p(g_1, g_2)\log\left[p(g_1, g_2)\right]$$

对比度：反映近邻象素间的反差

$$W_{\mathrm{C}} = \sum_{g_1}\sum_{g_2} |g_1 - g_2| p(g_1, g_2)$$

均匀性：

$$W_{\mathrm{H}} = \sum_{g_1}\sum_{g_2} \frac{p(g_1, g_2)}{k + |g_1 - g_2|}$$

纹理图像示例和纹理特征计算

(a) (b) (c) (d) (e)

表 11.2.1 纹理图像描述符取值示例

描 述 符	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
二阶矩	0.21	$5.42\ E^{-5}$	0.08	$0.17\ E^{-3}$	$1.68\ E^{-4}$
熵	0.84	4.33	2.23	3.90	4.28
对比度	74.66	54.47	101.04	24.30	76.80
均匀性($k=0.0001$)	4131.05	60.53	2820.45	155.04	144.96
均匀性($k=0.5$)	0.83	0.06	0.58	0.13	0.06
均匀性($k=3.0$)	0.14	0.04	0.15	0.07	0.03

11.2.6 基于能量的纹理描述符

利用模板（也称核）计算局部纹理能量

- 设图象为I，模板为M_1，M_2，…，M_N
- 卷积 $J_n = I * M_n$，$n = 1, 2, \ldots, N$ 给出各个象素邻域中的纹理能量分量
- 采用尺寸为$k \times k$的模板，对应第n个模板

$$T_n(x,y) = \frac{1}{k \times k} \sum_{i=-(k-1)/2}^{(k-1)/2} \sum_{j=-(k-1)/2}^{(k-1)/2} \left| J_n(x+i, y+j) \right|$$

- 纹理特征矢量

$$[T_1(x,y) \;\; T_2(x,y) \;\; \ldots \;\; T_N(x,y)]^{\mathrm{T}}$$

11.2.6 基于能量的纹理描述符

1-D模板：

3×3

$$L_3 = [\,1 \quad 2 \quad 1\,]$$
$$E_3 = [-1 \quad 0 \quad 1]$$
$$S_3 = [-1 \quad 2 \quad -1]$$

5×5

$$L_5 = [\,1 \quad 4 \quad 6 \quad 4 \quad 1\,]$$
$$E_5 = [-1 \quad -2 \quad 0 \quad 2 \quad 1]$$
$$S_5 = [-1 \quad 0 \quad 2 \quad 0 \quad -1]$$
$$W_5 = [-1 \quad 2 \quad 0 \quad -2 \quad 1]$$
$$R_5 = [\,1 \quad -4 \quad 6 \quad -4 \quad 1\,]$$

L代表层(level)，E代表边缘(edge)，S代表形状(shape)，W代表波(wave)，R代表纹(ripple)，O代表震荡(oscillation)

11.2.6 基于能量的纹理描述符

- **2-D**模板：可由**1-D**的模板得到，具体是将行模板和列模板卷积：

$$E_5^T L_5 = \begin{bmatrix} -1 \\ -2 \\ 0 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & -4 & -6 & -4 & -1 \\ -2 & -8 & -12 & -8 & -2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 8 & 12 & 8 & 2 \\ 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \end{bmatrix}$$

- 实际应用中，常使用**9**个**5x5**模版。用$\mathbf{L_5}$, $\mathbf{E_5}$, $\mathbf{S_5}$, $\mathbf{R_5}$这**4**个**1-D**矢量获得。

11.2.6 基于能量的纹理描述符

- 令$F_n(i,j)$为用第n个模板在(i,j)位置滤波到的结果，则对应第n个模板的纹理能量图E_n为

$$E_n(r,c)=\sum_{i=c-5}^{c+5}\sum_{j=r-5}^{r+5}|F_n(i,j)|$$

- 4个1-D矢量可以得到16个5×5的2-D模板，进而得到16幅能量图像。合并对称图可以得到9个最终图：

L_5E_5/E_5L_5, L_5S_5/S_5L_5, L_5R_5/R_5L_5, E_5S_5/S_5E_5, E_5R_5/R_5E_5, S_5R_5/R_5S_5, E_5E_5, S_5S_5, R_5R_5

11.2.7 基于分形的纹理描述

□ 分形的引出及其哲理

- 经典的欧几里德几何用直线、圆锥、球等规则的形状去描述人造物体
- 自然界中却存在着许许多多极其复杂的形状，不再具有数学分析中的连续、光滑(可导) 性质
- 这一大类奇形怪状，长期以来被认为是“不可名状的”或“病态的”而很容易被人们忽视
- 美国IBM公司的数学家B. B. Mandelbrot创造出了“分形”(fractal) （1975年）
- Mandelbrot的标新立异之作《自然界中的分形几何》（The Fractal Geometry of Nature)(1982)
- fractal出自拉丁语fractus，含有“碎化、分裂(to break)

几个典型的分形集合

[例 1] 康托(Cantor)集

如图 1.1，可以这样来构造 Cantor 集：将单位线段[0,1]三等分，然后挖去中间三分之一，即$(\frac{1}{3},\frac{2}{3})$，注意，挖掉的是开区间；然后，把剩下的每段再作三等分并挖去各自的中间三分之一；……如此无限次地等分和挖去，最后的极限就是一种 Cantor 集(常称为三分 Cantor 集)。它是一维欧氏空间 *R* 中无穷多个点的集合，该集合中任何一对点之间都有未被填充的空间，形象地说该集合如同“灰尘”一般。

图 1.1 三分 Cantor 集

几个典型的分形集合

[例 2] 科克(H.V.Koch)曲线

设 E_0 是单位长度的线段。把 E_0 三等分，以其中间三分之一为底边作向外凸出的正三角形，然后去掉该底边即得 E_1；再把同样的过程应用到 E_1 的每个线段(包含四个线段)，就得出 E_2；以此类推，直至无穷(图 1.2)，其极限曲线 F 就是科克曲线。因为它很像雪花的外形，所以又称为雪花曲线。

图 1.2 科克(Koch)曲线

几个典型的分形集合

[例 3] 谢尔宾斯基(W.Sierpinski)垫片。又称为谢尔宾斯基三角形。

设 E_0 是 R^2 中的一个正三角形。把它的三边中点相连，就成为四个小三角形，去掉中间一个倒三角形，就得到 E_1；再把同样的过程应用到 E_1 的每个小三角形，就得到 E_2；以此类推（图 1.3），就得到极限集 F，它像是打有许许多多大大小小三角形孔的垫片，简直是“体无完肤”(没有整块面积)。

图 1.3 谢尔宾斯基(W.Sierpinski)垫片

分形数维

- Mandelbrot曾经提出一个著名的问题：“大不列颠的海岸线到底有多长？”
- 一般采用的是折线近似的方法，选择一个单位尺度ε，如果总共有$N(\varepsilon)$段，就认为海岸线的长度为 $L(\varepsilon)=N(\varepsilon)\times\varepsilon$
- 随着ε的越来越小，N(ε)也越来越大

$$\lim_{\varepsilon\to 0} L(\varepsilon)=N(\varepsilon)\times\varepsilon\to\infty$$

- 事实上在对折线近似海岸线的研究中已经得出：

$$N(\varepsilon)\times\varepsilon^{D}=Constant$$

- D不依ε的变化而变化，一般也不是整数，Mandelbrot认为这就是分形维数，它才是海岸线一个真正的特征量。

分形维数

1. 盒计数方法

- 将图象分成尺寸为 $L \times L$的盒
- 对含有感兴趣目标的盒进行计数，记为$N(L)$
- 通过改变L，得到$\log[N(L)]$对$\log(L)$的曲线
- 分形维数是曲线逼近直线的斜率的绝对值

盒子维方法

图 2.1 计算盒子维的方法

分形维数

Koch Curve

图 12.6.1　构建 Koch 三段曲线的初始步骤

图 12.6.2　分形曲线的长度依赖于测量仪器

分形维数

- **Koch Curve**

$N(r) \sim r^{-d}$： r为半径，$N(r)$为个数

$r = 1/2, N(r) = 1$； $r = 1/6, N(r) = 4$； $r = 1/18, N(r) = 16$

表 12.6.1 $N(r)$随 r 变化的情况.

r	$N(r)$	测得的曲线长度
$1/2 = (1/2)(1) = (1/2)(1/3)^0$	$1 = 4^0$	1
$1/6 = (1/2)(1/3) = (1/2)(1/3)^1$	$4 = 4^1$	1.33
$1/18 = (1/2)(1/9) = (1/2)(1/3)^2$	$16 = 4^2$	1.78
……	……	……

- $d = \log(4) / \log(3) \approx 1.26$

分形维数

盒计数方法的讨论

- 分形总是对应一定的有限尺度
- $\log[N(L)]$对$\log(L)$曲线的三段区域

无分形的区域($d \approx 1$)

分形的区域($d > 1$)

约为零维数的区域
($d \approx 0$)

分形维数应用基础

- 分形维数在图像分析中的应用以两点为基础
  - 自然界中不同种类的形态物质一般具有不同的维数
  - A. P. Pentland的假设，自然界中的分形与图像的灰度表示之间有着一定的对应关系，从这一点可以得到分数维应用的一个最大的特点，即分数维是独立于图像一定范围内分辨率比例，独立于视角，而稳定存在的物质的表示量。

Pentland: 分形维数用于图像分割

分形维数存在的不足

- 分形维数不足以刻画不同纹理

a) D09 Grass FD=2.79　b) D12 Bark FD=2.76　c)D16 Herringbone Weave FD=2.70　d) D24 Calf leather FD=2.74

四幅分数维相近的**Brodatz**纹理图像

11.3 纹理描述的结构方法

纹理基元和排列规则

结构法的基本思想：复杂的纹理可由一些简单的纹理基元（基本纹理元素）以一定的有规律的形式重复排列组合而成

(1) 确定纹理基元　　(2) 建立排列规则

设纹理基元为$h(x, y)$，排列规则为$r(x, y)$

纹理$t(x, y)$：$t(x,y) = h(x,y) \otimes r(x,y)$

$$r(x,y) = \sum \delta(x - x_m, y - y_m)$$

在频域：$T(u,v) = H(u,v)R(u,v)$

$$R(u,v) = T(u,v)H(u,v)^{-1}$$

11.3 纹理描述的结构方法

8个重写规则（a：模式，b：向下，c：向左）

(1) $S \to aA$（变量S可用aA来替换）

(2) $S \to bA$（变量S可用bA来替换）

(3) $S \to cA$（变量S可用cA来替换）

(4) $A \to aS$（变量A可用aS来替换）

(5) $A \to bS$（变量A可用bS来替换）

(6) $A \to cS$（变量A可用cS来替换）

(7) $A \to c$（变量A可用常量c来替换）

(8) $S \to a$（变量S可用常量a来替换）

11.3 纹理描述的结构方法

图 11.3.1 不同 2-D 模式的生成

(b): (1), (4), (1), (4), (8)

(c): (1), (4), (1), (5), (3), (6), (3), (4), (1), (4), (2), (6), (3), (6), (1), (4), (8)

11.3 纹理描述的结构方法

纹理镶嵌

在空间以有次序的形式进行纹理单元的镶嵌

规则镶嵌

只用（一种）正多边形

11.3 纹理描述的结构方法

纹理镶嵌

半规则镶嵌

同时使用两种边数不同的正多边形

(a) (4, 8, 8)　　(b) (3, 6, 3, 6)　　(c) (3, 3, 3, 3, 6)

依次列出绕顶点的多边形的边数

11.3 纹理描述的结构方法

纹理镶嵌

排列定义的镶嵌模式与基元定义的镶嵌模式对偶

图 11.3.4 基元镶嵌和排列镶嵌的对偶性

11.3 纹理描述的结构方法

Voronoi多边形

- 令S是纹理基元代表点的集合
- 对S中任意一对点p和q，在它们之间画一条对分线
- 对分线将图象分成两半，其中一半包含与p比较近的点而另一半包含与q比较近的点
- 对所有的q都如上进行，就可得到包含p的多边形
- 相对于p的Voronoi多边形：$V(p)=\bigcap_{q\in S, q\neq p} H^q(p)$

  包含所有与p比S中任何点都近的点

  $H^q(p)$代表与p比较近的那一半

11.3 纹理描述的结构方法

Voronoi多边形

图 11.3.5 一组圆形纹理基元的 Voronoi 多边形

11.4 纹理描述的频谱方法

1. 傅里叶频谱

借助傅里叶频谱的频率特性来描述周期/近乎周期的2-D图象模式的方向性

(1) 傅里叶频谱中突起的峰值对应纹理模式的主方向

(2) 这些峰在频域平面的位置对应模式的基本周期

(3) 利用滤波把周期性成分除去，用统计方法描述剩下的非周期性部分

11.4 纹理描述的频谱方法

1. 傅里叶频谱

极坐标系中频谱函数$S(r, \theta)$

- 对每个确定的方向θ，$S(r, \theta)$是1个1-D函数$S_\theta(r)$
- 对每个确定的频率 r，$S(r, \theta)$是1个1-D函数$S_r(\theta)$

$$S(r) = \sum_{\theta=0}^{\pi} S_\theta(r) \qquad S(\theta) = \sum_{r=1}^{R} S_r(\theta)$$

11.4 纹理描述的频谱方法

1. 傅里叶频谱

分块角特征

$$A(\theta_1,\theta_2)=\sum\sum|F|^2(u,v)$$

$$\theta_1 \le \tan^{-1}(v/u) < \theta_2$$

$$0 < u,\ v \le n-1$$

纹理方向：如果纹理在一个给定的方向 θ 上包含许多线或边缘，$|F|^2$ 的值将会在频率空间中沿 $\theta+\pi/2$ 的方向附近聚集

11.4 纹理描述的频谱方法

1. 傅里叶频谱

分块放射特征

$$R(r_1, r_2) = \sum\sum |F|^2 (u, v)$$

$$r_1^2 \le u^2 + v^2 < r_2^2$$

$$0 \le u,\ v < n - 1$$

纹理粗糙度：光滑的纹理在小半径时有较大的$R(r_1, r_2)$值，而粗糙颗粒的纹理将在大半径时有较大的$R(r_1, r_2)$值

11.4 纹理描述的频谱方法

2. 滤波器组方法

纹理由重复的局部模式组成

1) 发现模式

- 采用模式滤波器(spot, bar, …)
- 计算滤波器的响应

2) 描述局部窗口中模式分布的统计特性

- Mean, standard deviation
- Histogram
- Histogram of “prototypical” feature occurrences

基于滤波器组的纹理描述方法

原始图像

滤波后的图像

	mean d/dx value	mean d/dy value
Win. #1	4	13

⋮

窗口中模式的统计特性

基于滤波器组的纹理描述方法

原始图像

滤波后的图像

	mean d/dx value	mean d/dy value
Win. #1	4	13
Win.#2	18	7

⋮

窗口中模式的统计特性

基于滤波器组的纹理描述方法

原始图像

滤波后的图像

	mean d/dx value	mean d/dy value
Win. #1	4	13
Win.#2	18	7
⋮		
Win.#9	20	20

⋮

窗口中模式的统计特性

基于滤波器组的纹理描述方法

	mean d/dx value	mean d/dy value
Win. #1	4	13
Win.#2	18	7
Win.#9	20	20

窗口中模式的统计特性

基于滤波器组的纹理描述方法

	mean d/dx value	mean d/dy value
Win. #1	4	13
Win.#2	18	7
⋮		
Win.#9	20	20

⋮

窗口中模式的统计特性

基于滤波器组的纹理描述方法

原始图像

滤波后的图像

图像分割结果

基于滤波器组的纹理描述方法

	mean d/dx value	mean d/dy value
Win. #1	4	13
Win.#2	18	7
Win.#9	20	20

窗口中模式的统计特性

基于滤波器组的纹理描述方法

Distance reveals how dissimilar texture from window a is from texture in window b.

基于滤波器组的纹理描述方法

What filters to put in the bank?

- Typically we want a combination of scales and orientations, different types of patterns.

基于滤波器组的纹理描述方法

2. Gabor频谱

- 利用一组2-D的Gabor滤波器将图像分为一系列频率带
- 复2-D Gabor滤波器的脉冲响应

$$G(x,y)=L'(x,y)\exp\left(j(\omega_x x+\omega_y y\right)$$

其中

$$L'(x,y)=\frac{1}{\lambda\sigma^2}L\left(\frac{x\cos\theta+y\sin\theta}{\sigma},\lambda\frac{-x\sin\theta+y\cos\theta}{\sigma}\right)$$

$$L(x,y)=\frac{1}{2\pi}\exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2}\right)$$

基于滤波器组的纹理描述方法

2. Gabor频谱

Gabor变换：用高斯函数作为窗函数的短时傅里叶变换（加窗傅里叶变换）

实际中常使用两个成对的实Gabor滤波器

对称的

$$G_s(x, y) = \cos(k_x x + k_y y)\exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right)$$

反对称的

$$G_a(x, y) = \sin(k_x x + k_y y)\exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right)$$

(k_x, k_y) 是滤波器响应最强的频率

基于滤波器组的纹理描述方法

2. Gabor频谱

图 11.4.3　对称和反对称的 Gabor 滤波器的幅度分布

基于滤波器组的纹理描述方法

2. Gabor频谱

将两个Gabor旋转和缩放可获得一组朝向和带宽均不同的滤波器，以获得Gabor频谱

图 11.4.4　滤波器旋转和放缩所得到的一组滤波器示意

基于滤波器组的纹理描述方法

2. Gabor频谱

图 11.4.5　对称滤波器旋转和放缩所得到的一组滤波器示意

基于滤波器组的纹理描述方法

2. Gabor频谱

图 11.4.6　反对称滤波器旋转和放缩所得到的一组滤波器示意

Filter bank

Kristen Grauman

Kristen Grauman

Kristen Grauman

Kristen Grauman

Kristen Grauman

Kristen Grauman

Kristen Grauman

Kristen Grauman

Kristen Grauman

Kristen Grauman

Kristen Grauman

Kristen Grauman

Kristen Grauman

Kristen Grauman

Kristen Grauman

Kristen Grauman

Kristen Grauman

Kristen Grauman

Kristen Grauman

[r1, r2, …, r38]

We can form a feature vector from the list of responses at each pixel.

11.5 纹理分割方法

人类视觉系统很容易识别与背景均值接近但朝向或尺度不同的模式

灰度不同

灰度相同

模式朝向不同

灰度相近

模式尺度不同

11.5 纹理分割方法

□ 纹理边缘检测

- 边缘一般出现在灰度剧烈变化的地方；但纹理变化也可以表示边缘的存在

不伴随灰度变化的纹理边缘

11.5 纹理分割方法

- 纹理分割方法分为
  - 有监督纹理分割
  - 无监督纹理分割
- 分割方法一般步骤
  - 特征提取
  - 分割或分类（构造分类器）
  - 后处理

有监督纹理分割：基于Gabor滤波器

- 纹理窄带信号模型

$$t(x,y)=2\{c(x,y)\cos[2\pi(Ux+Vy)]+s(x,y)\sin[2\pi(Ux+Vy)]\}$$

- 窄带滤波器(Gabor Filter)

$$h_i(x,y)=g_i(x,y)\cdot\exp\{2\pi j(U_i x+V_i y)\}$$

$$g_i(x,y)=(2\pi\sigma_i^2)^{-1}\cdot\exp\{-(x^2+y^2)/2\sigma_i^2\}$$

- 判决准则

$$(x,y)\in R_n \quad ,\text{if } n=\arg_i\{\max_{1\le i\le N}[t(x,y)*h_i(x,y)]\}$$

有监督纹理分割：基于Gabor滤波器

原有方法框图

有监督纹理分割：基于Gabor滤波器

Narrowband model be the case?

Image	1st peak and frequency	2nd peak and frequency	3rd peak and frequency	4th peak and frequency	Main/all peak number
Vistex-Fabric03	1.0312×10^{6} (9,3)	1.0137×10^{6} (6,15)	8.6607×10^{5} (3,16)	7.3363×10^{5} (11,18)	4/2481
Vistex-Fabric05	2.3476×10^{5} (18,3)	2.2970×10^{5} (27,6)	2.1899×10^{5} (16,6)	2.1796×10^{5} (34,12)	15/2492
Vistex-Fabric06	1.2739×10^{5} (18,3)	1.1363×10^{5} (58,13)	1.1150×10^{5} (28,5)	1.0936×10^{5} (69,13)	13/2453
Vistex-Fabric11	3.4019×10^{5} (6,6)	2.7978×10^{5} (18,19)	2.6974×10^{5} (9,9)	2.6603×10^{5} (21,19)	4/2616
Vistex-Fabric15	4.3155×10^{5} (12,6)	4.2823×10^{5} (12,9)	4.1963×10^{5} (5,9)	4.1077×10^{5} (8,8)	4/2526
Vistex-Fabric16	3.7823×10^{5} (7,5)	3.2218×10^{5} (5,20)	2.8087×10^{5} (14,6)	2.7623×10^{5} (12,15)	4/2557
Brodatz-D15 (Straw)	2.4031×10^{5} (16,30)	2.3686×10^{5} (11,16)	2.2855×10^{5} (17,36)	2.2620×10^{5} (24,16)	27/2442
Brodatz-D29 (Beach Sand)	1.5375×10^{5} (16,9)	1.5152×10^{5} (14,19)	1.5027×10^{5} (33,25)	1.4725×10^{5} (6,6)	28/2537
Brodatz-D38 (Water)	9.3754×10^{4} (13,61)	9.2516×10^{4} (15,56)	9.2297×10^{4} (6,76)	9.1666×10^{4} (13,96)	21/2524
Brodatz-D92 (Pig Skin)	1.3566×10^{5} (21,4)	1.2292×10^{5} (12,7)	1.1731×10^{5} (28,20)	1.1404×10^{5} (18,12)	13/2609

Parameters of texture spectrum in library Brodatz and Vistex.

有监督纹理分割：基于Gabor滤波器

规则纹理(Regular texture)

- 假设规则纹理可表示为纹理基元的规则重复

$$t_{L_xL_y}(m_x,m_y)=t(l_xN_x+n_x,l_yN_y+n_y)=\begin{cases}t(n_x,n_y), & 0\le l_x\le L_x-1,\ 0\le l_y\le L_y-1\\ 0, & \text{else}\end{cases}$$

- 规则纹理的DFT频谱可表示为纹理基元的DFT频谱之间插入若干重复的0

$$T_{L_xL_y}(u,v)=\begin{cases}L_xL_yT(\frac{u}{L_x},\frac{v}{L_y}), & u \bmod L_x=0 \ \text{ and } \ v \bmod L_y=0\\ 0 & ,\ \text{else}\end{cases}$$

有监督纹理分割：基于Gabor滤波器

规则纹理及其DFT频谱

有监督纹理分割：基于Gabor滤波器

纹理多窄带信号模型(Multiple Narrowband Signals Model)

- 纹理可以表示为二维频谱上的多个窄带信号的组合
- 纹理特征向量

$$[(u_{i1}, v_{i1}, T_{i1}), (u_{i2}, v_{i2}, T_{i2}), \cdots (u_{in}, v_{in}, T_{in})]$$

(u_{ik}, v_{ik}) --main frequency

T_{ik} --normalized spectrum intense at main frequency

n --number of main frequency

有监督纹理分割：基于Gabor滤波器

基于多窄带模型的纹理分割框架