

# 灰度共生矩阵纹理特征提取的 Matlab 实现

焦蓬蓬, 郭依正, 刘丽娟, 卫 星

(南京师范大学泰州学院, 江苏 泰州 225300)

**摘 要:** 图像的特征提取是图像的识别和分类、基于内容的图像检索、图像数据挖掘等研究内容的基础性工作, 其中图像的纹理特征对描述图像内容具有重要意义, 纹理特征提取已成为目前图像领域研究的热点。文中深入研究了基于灰度共生矩阵 (GLCM) 的纹理特征提取方法, 给出了基于 Matlab 的简便实现代码, 分析了共生矩阵各个构造参数对构造共生矩阵的影响。分析结果对优化灰度共生矩阵的构造、实现基于灰度共生矩阵 (GLCM) 的特定图像的纹理特征提取等都具有重要参考意义。

**关键词:** 灰度共生矩阵; 纹理特征; Matlab

**中图分类号:** TP391.9

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2012)11-0169-03

## Implementation of Gray Level Co-occurrence Matrix Texture Feature Extraction Using Matlab

JIAO Peng-peng, GUO Yi-zheng, LIU Li-juan, WEI Xing

(Taizhou College of Nanjing Normal University, Taizhou 225300, China)

**Abstract:** The texture feature extraction of image is a foundational work for image recognition and classification, content-based image retrieval, image data mining, etc. The texture feature of image is significant for description of image content. And it is a hot topic in the research of image now. The method of texture feature extraction based on gray level co-occurrence matrix (GLCM) was studied. Analyzed the effect of each parameter on constructing the co-occurrence matrix and implemented the feature extraction using Matlab. The analytical results provide valuable reference for creating GLCM better and extracting texture features of specific kinds of images.

**Key words:** gray level co-occurrence matrix; texture feature; Matlab

### 0 引 言

纹理是图像的一个重要属性,它是图像像素颜色或灰度在空间以一定形式变化而产生的图案<sup>[1]</sup>。图像的纹理特征客观存在,反映了图像本身的属性,对它的直观理解如图1所示。图像纹理特征与其周围的灰度变化规律密切相关,一般而言,图像区域越平滑,其像素灰度彼此也越接近,而粗糙区域的像素灰度变化则较大。纹理分析的研究兴起于20世纪70年代,此后,在图像分割、纹理合成、模式识别等领域都得到了广泛的应用。

纹理特征提取作为图像识别、基于内容的图像检索、图像数据挖掘等研究内容的首要问题,一直是图像领域研究的热点,其中 Haralick 等人提出的灰度共生矩阵法 (GLCM) 是被广泛应用的纹理特征提取算法<sup>[2]</sup>。文中对此做了深入研究,总结了灰度共生矩阵

纹理特征提取的研究进展,并给出了基于 Matlab 的简便实现代码,在此基础上,分析了共生矩阵各个构造参数对构造共生矩阵的影响。

### 1 灰度共生矩阵纹理特征提取的研究进展

Haralick 等人提出的灰度共生矩阵:

1) 计算量较大,在计算的时候要考虑四个变量,计算窗口大小  $N$ , 图像灰度级  $L$ , 方向  $\theta$  (一般有四种取值  $0^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $135^\circ$ ) 和距离  $d$ ;

2) 对包含不同纹理区域的图像,不能很好地表现出各纹理所处的空间位置关系;

3) 提取的特征没能很好地表达图像的全局信息;

4) Haralick 提出的用于分析灰度共生矩阵的14个特征并非都是不相关的,即提取特征存在冗余。

所以后继研究者对该算法的研究和改进有很多。笔者认为这种研究和改进大体可以归为三大类。

一类旨在研究生成共生矩阵时各个参数的最佳选择问题。如文献[3]针对断口图像识别,利用可分性判据,得到最优灰度级为  $L=32$ , 距离  $d=5$  等; 文献

收稿日期: 2012-03-20; 修回日期: 2012-06-24

基金项目: 国家“十一五”计划课题 (FIB070335-B8-04)

作者简介: 焦蓬蓬 (1981-), 女, 硕士, 讲师, 研究方向为数字信号处理。

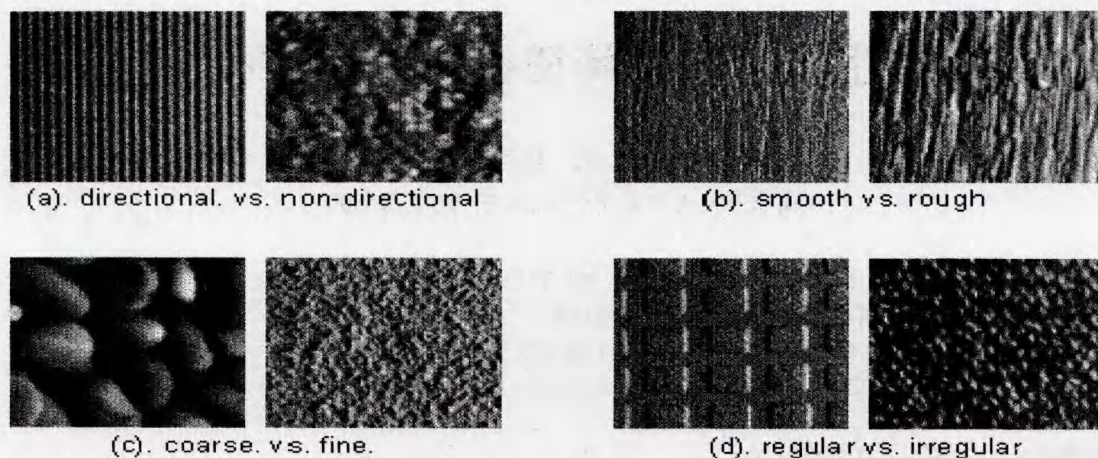


图 1 纹理的示例

[4] 针对 Brodatz 纹理库,绘制了部分特征随参数选取的不同而变化的曲线。

另一类旨在研究提取的特征中哪些具有最大的识别能力。如文献[5]实验并提出基于 GLCM 所提取的纹理特征中逆差矩、对比度和熵具有最大的识别能力;如文献[6]提到在基于 GLCM 的 14 个纹理特征中,仅有 4 个特征(角二阶矩、对比度、逆差分矩、相关性)是不相关的。

还有一类旨在改进传统灰度共生矩阵纹理特征提取方法,以适应各种新需要。如为解决 GLCM 在彩色图像上的应用,文献[7]将彩图转换为灰度图进行分块与压缩,提取了各分块的共生矩阵来表示原图纹理特征。再如,为了减少灰度共生矩阵的计算量,后人提出了灰度共生链表(GLCLL)算法、灰度共生混合结构(GLCHS)算法、灰度共生集成(GLCIA)算法等。

## 2 基于灰度共生矩阵的纹理特征提取

共生矩阵反映了图像灰度分布关于方向、变化幅度和局部领域的综合信息<sup>[8,9]</sup>。其定义为在  $\theta$  方向上,相隔距离  $d$  的一对像素分别具有灰度值  $i$  和  $j$  出现的概率,记为  $P(i,j;d,\theta)$ 。设  $f(x,y)$  为图像像素坐标在  $(x,y)$  的点所对应的灰度值, $L$  表示图像灰度级, $L_r, L_c$  分别为图像行、列的维数。

则像素对  $f(x,y)=i$  和  $f(x',y')=j$  在四个方向上的共生矩阵分别定义如下:

$$P(i,j;d,0^\circ) = \#\{(x,y), (x',y') \in (L_r, L_c) \times (L_r, L_c) \mid x' - x = 0, |y' - y| = d, f(x,y) = i, f(x',y') = j\} \quad (1)$$

$$P(i,j;d,45^\circ) = \#\{(x,y), (x',y') \in (L_r, L_c) \times (L_r, L_c) \mid (x' - x = d, y' - y = d) \text{ or } (x' - x = -d, y' - y = -d), f(x,y) = i, f(x',y') = j\} \quad (2)$$

$$P(i,j;d,90^\circ) = \#\{(x,y), (x',y') \in (L_r, L_c) \times$$

$$(L_r, L_c) \mid |x' - x| = d, y' - y = 0, f(x,y) = i, f(x',y') = j\} \quad (3)$$

$$P(i,j;d,135^\circ) = \#\{(x,y), (x',y') \in (L_r, L_c) \times (L_r, L_c) \mid (x' - x = d, y' - y = -d) \text{ or } (x' - x = -d, y' - y = d), f(x,y) = i, f(x',y') = j\} \quad (4)$$

其中,  $\#$  表示在该集合中的元素的数目。此外,通过  $P'(i,j;d,\theta) = P(i,j;d,\theta)/R$ , 可获得归一化共生矩阵,其中  $R$  为归一化常数<sup>[10]</sup>。

Haralick 提出的用于分析灰度共生矩阵的 14 个特征中,常用的特征参数有<sup>[11]</sup>:

(1) 角二阶矩(能量)  $C_1$ 。

$$C_1 = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} [P(i,j;d,\theta)]^2 \quad (5)$$

(2) 对比度(惯性矩)  $C_2$ 。

$$C_2 = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} (i-j)^2 P(i,j;d,\theta) \quad (6)$$

(3) 逆差分矩(局部平稳性)  $C_3$ 。

$$C_3 = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} \left[ \frac{P(i,j;d,\theta)}{1 + (i-j)^2} \right] \quad (7)$$

(4) 熵  $C_4$ 。

$$C_4 = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} P(i,j;d,\theta) \lg P(i,j;d,\theta) \quad (8)$$

## 3 灰度共生矩阵纹理特征提取实例及 Matlab 实现

下面以一幅  $4 \times 4$  的灰度图像来说明灰度共生矩阵的计算,设灰度级为 4 即  $(0 \sim 3)$ ,如表 1 所示。

当取  $d=1$  时,其四个方向  $(0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ)$  的共生矩阵如下所示<sup>[1]</sup>:

$$P(i,j;1,0^\circ) = \begin{pmatrix} 4 & 2 & 1 & 0 \\ 2 & 4 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 6 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 2 \end{pmatrix}$$

$$P(i,j;1,45^\circ) = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 3 & 0 \\ 1 & 2 & 1 & 0 \\ 3 & 1 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 2 & 0 \end{pmatrix}$$

表 1 一幅 4\*4 的源图像示例

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

$$P(i,j;1,90^\circ) = \begin{pmatrix} 6 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 4 & 2 & 0 \\ 2 & 2 & 2 & 2 \\ 0 & 0 & 2 & 0 \end{pmatrix}$$

$$P(i,j;1,135^\circ) = \begin{pmatrix} 4 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 2 & 0 \\ 0 & 2 & 4 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

编程工具采用 Matlab7.0,对上述  $N=4 \times 4, L=4$  的原始图像,取  $d=1, \theta=45^\circ$ ,提取灰度共生矩阵  $q$  并计算其角二阶矩  $C_1$  特征的源程序如下:

```
tic
pix=[0 0 1 1;0 0 1 1;0 2 2 2;2 2 3 3];
[m n]=size(pix);L=4;
q=double(zeros(L,L));
for i=1:m-1
    for j=1:n-1
        q(pix(i,j)+1,pix(i+1,j+1)+1)=q(pix(i,j)+1,
        pix(i+1,j+1)+1)+1;
    end
end
for i=2:m
    for j=2:n
        q(pix(i,j)+1,pix(i-1,j-1)+1)=q(pix(i,j)+1,
        pix(i-1,j-1)+1)+1;
    end
end
R=2*(L-1)*(L-1);cl=0;
for i=1:L
    for j=1:L
        q(i,j)=q(i,j)/R;
        cl=cl+q(i,j)^2;
    end
end
q
cl
toc
```

其中原程序中还对矩阵  $q$  的归一化处理,理解这段程序时应当注意 Matlab 矩阵下标是从(1,1)

开始的,而图像的灰度值是介于  $0-(L-1)$  之间的。程序运行结果如下,提取的角二阶矩  $C_1=0.1173$ ,用时 0.015 秒。可见,文中使用 Matlab 给出的实现方法简单且快速。

```
q = 0.1111    0.0556    0.1667    0
    0.0556    0.1111    0.0556    0
    0.1667    0.0556    0.0000    0.1111
    0.0000    0.0000    0.1111    0
```

$c_1 = 0.1173$

Elapsed time is 0.015000 seconds.

## 4 结束语

前已述及,计算 GLCM 时要考虑四个变量,计算窗口大小  $N$ ,图像灰度级  $L$ ,方向  $\theta$  和距离  $d$ 。

(1)对于计算窗口  $N$  的选取,不宜过大或过小,过大将导致计算和存储量大,但过小又导致不能包含完整的纹理信息。一般而言,当图像大小确定后,计算窗口就随之确定,除非对图像分块处理或者确定图像的 ROI (Region Of Interest) 区域后再提取 GLCM。

(2)对于灰度级  $L$  的选取,灰度级决定了 GLCM 的计算规模,降低灰度级可以提高计算速度和减少存储空间需求,且适当降低灰度级还可以减少噪声对图像的影响,但过小的灰度级会破坏有用纹理的成分。

(3)对于距离  $d$  的选择,共生矩阵在精细纹理中随距离而快速变化,而在粗糙纹理中随距离则变化缓慢。一般而言,对于平滑纹理用较大的距离,对于粗糙纹理用较小的距离会取得较好的效果。

(4)对于方向  $\theta$  的选择,一般有四种取值  $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ ,通过不同  $\theta$  可以考察不同的纹理,不同  $\theta$  生成的共生矩阵中包含不同的纹理信息,一般而言,在考虑方向时,往往是分别计算四个方向灰度共生矩阵所确定的纹理特征值,然后以各方向特征值的均值作为最终纹理分量。

基于灰度共生矩阵的纹理特征提取是分析图像纹理的有利工具,文中对灰度共生矩阵纹理特征提取的研究进展做了分类,给出了基于 Matlab 的简便实现代码,分析了共生矩阵各个构造参数对构造共生矩阵的影响。分析结果对减少灰度共生矩阵的计算量、合理选取计算共生矩阵时的构造参数、优化基于灰度共生矩阵的图像纹理特征提取等均有重要参考意义。

## 参考文献:

- [1] 郭依正. 基于多特征融合的医学图像识别研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2007.
- [2] Haralick R M, Shanmngam K, Dinstein I. Texture feature for

表 2 实验结果

数据集	测试项	One-against-one	One-against-rest	文中算法
Segment	最优参数 $\gamma = 0.0526$	$C = 45$	$C = 312$	$C = 466$
	训练时间	0.908	1.890	1.234
	测试时间	0.625	0.377	0.328
	分类正确率	97.473%	95.56%	97.033%
satimage	最优参数 $\gamma = 0.0278$	$C = 22$	$C = 45$	$C = 390$
	训练时间	4.687	8.890	8.718
	测试时间	5.343	2.78	2.703
	分类正确率	89.15%	88.8%	88.85%
Vehicle	最优参数 $\gamma = 0.0278$	$C = 87$	$C = 45$	$C = 87$
	训练时间	0.718	0.76	0.812
	测试时间	0.171	0.136	0.125
	分类正确率	91.096%	89.8%	91.781%

4 结束语

文中在简要分析常见 SVM 多分类算法的基础上,分析了基于二叉树 SVM 多分类算法二叉树结构的重要性,在同时考虑分类准确率和分类效率的基础上,并考虑到多分类中类的分布情况,文中定义新的分离度和相似度来衡量两个类的分离程度,并且提出了一中新的基于几何分布二叉树支持向量机多分类算法。实验结果表明该算法有较高的准确率和分类效率。

参考文献:

[1] Vapnik V. The nature of statistical learning theory[M]. New York:Springer-Verlag,1995.  
[2] Weston J, Watkins C. Multi-class support vector machines

[C]//Proc. of ESANN99. Brussels,Belgium:[s. n.],1999.

[3] Krebel U. Pairwise Classification and Support Vector Machines [M]//Advances in Kernel Methods:Support Vector Learning. Cambridge,MA:MIT Press,1999:255-268.  
[4] Bottou L, Cortes C, Denker J, et al. Comparison of classifier methods;a case study in handwriting digit recognition[C]//Proc. of Int. Conf. on Pattern Recognition. [s. l.]:[s. n.], 1994:77-87.  
[5] Platt J, Cristianini N, Shawe-Taylor J. Large Margin DAG's for Multiclass Classification[M]//Advances in Neural Information Processing Systems 12. Cambridge,MA:MIT Press,2000: 547-553.  
[6] 唐发明,王仲东,陈绵云.一种新的二叉树多类支持向量机算法[J].计算机工程与应用,2005,41(7):24-26.  
[7] 赵 晖,荣莉莉,李 晓.一种设计层次支持向量机多类分类器的新方法[J].计算机应用研究,2006(6):34-37.  
[8] Madzarov G, Gjorgjevikj D. Multi-class classification using support vector machines in decision tree architecture[C]//Proceedings of EUROCON. [s. l.]:[s. n.],2009:288-295.  
[9] L Zhigang, L Deren, Q Qianqing. An analytical overview of methods for multi-category support vector machines[J]. Journal of computer engineering and application,2004,40(7):10-13.  
[10] 史朝辉,王晓丹,赵士敏,等.改进的 SVM 决策树分类算法[J].空军工程大学学报:自然科学版,2006(2):32-35.  
[11] 夏思宇,潘 泓,金立左.非平衡二叉树多类支持向量机多分类方法[J].计算机工程与应用,2009,45(17):167-169.  
[12] 唐发明,王仲东,陈绵云.支持向量机多类分类算法研究[J].控制与决策,2005,20(7):746-749.  
[13] 谢志强,高 丽,杨 静.基于球结构的完全二叉树 SVM 多类分类算法[J].计算机应用研究,2008,25(11):3268-3270.

(上接第 171 页)

image classification[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics,1973,3(6):768-780.  
[3] 余丽萍,黎 明,杨小芹,等.基于灰度共生矩阵的断口图像识别[J].计算机仿真,2010,27(4):224-227.  
[4] 苑丽红,付 丽,杨 勇,等.灰度共生矩阵提取纹理特征的实验结果分析[J].计算机应用,2009,29(4):1018-1021.  
[5] Equitz W, Niblack W. Retrieving Images from a Database Using Texture-algorithms from the QBIC System[R]. [s. l.]:[s. n.],1994.  
[6] 王知鸫.基于纹理及光谱信息融合的遥感图像分类方法研究[D].西安:西安电子科技大学,2010.

[7] Takahashi N, Iwasaki M, Kunieda T, et al. Image retrieval using spatial intensity features[J]. Signal Processing: Image Communication,2000,16(1-2):45-57.  
[8] 焦蓬蓬,郭依正.特征级数据融合在医学图像检索中的应用[J].计算机工程与应用,2010,46(6):217-220.  
[9] 姜 鹤,陈丽亚. SVM 文本分类中一种新的特征提取方法[J].计算机技术与发展,2010,20(3):17-19.  
[10] 谢 菲.图像纹理特征的提取和图像分类系统研究及实现[D].成都:电子科技大学,2009.  
[11] Yao H Y, Li B C. Generalized co-occurrence matrix method for content-based image retrieval[J]. Computer Engineering Applications,2004,34(6):98-101.