

不同对比度纹理结构特征的多粒度分解及描述

冯 霞^{1,2}, 周 勃^{2,3}, 崔卫红²

(1. 湖北省标准化与质量研究院, 湖北 武汉 430061;

2. 武汉大学, 湖北 武汉 430079;

3. 武汉市规划研究院, 湖北 武汉 430014)

摘 要:纹理是一种普遍存在的视觉现象,在图像处理、三维重建和模式识别中都具有非常重要的作用。由于纹理具有多粒度特性,基于单一尺度的结构基元已经不足以准确地描述纹理特征,而在数学形态学运算中,利用不同大小的结构元素迭代进行形态学运算,可以获得不同粒度下的结构信息。基于上述考虑,给出了一种基于形态学开运算的纹理结构的多粒度分解形式,并提出了一种整体对比度不同而结构相同的纹理结构特征的多粒度描述方法。为了验证该方法的有效性,以 Brodatz 数据库和 MIT VisTex 数据库的 20 幅纹理图像为实验数据,将提出的多粒度描述方法与基于灰度共生矩阵的纹理描述方法和基于 Gabor 滤波的纹理描述方法进行比较。实验结果表明,该方法优于上述两种方法。

关键词:纹理结构特征;数学形态学;开运算;多粒度分解;多粒度描述

中图分类号:TP301

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2017)12-0085-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2017.12.019

Multi-granularity Decomposition and Description of Texture Features with Different Contrast

FENG Xia^{1,2}, ZHOU Bo^{2,3}, CUI Wei-hong²

(1. Hubei Standardization and Quality Institution, Wuhan 430061, China;

2. Wuhan University, Wuhan 430079, China;

3. Wuhan Planning & Design Institute, Wuhan 430014, China)

Abstract:Texture is a kind of common visual phenomena, which plays a very important role in image processing, 3D reconstruction and pattern recognition. Due to the multi-granularity characteristic of texture, structural primitives based on single size are not enough to describe texture features accurately. However, based on different size structural elements for iterative morphological operations in the mathematical morphology, the structure information with different granularity can be obtained. On this basis, a multi-granularity decomposition of the texture structure based on morphological opening operation is put forward, and a multi-granularity description method of texture features with different overall contrasts and the same structure is proposed. In order to verify its effectiveness, with 20 texture images from Brodatz database and MIT VisTex database as experimental data, the proposed method is made a comparison with texture description method based on gray level co-occurrence matrix and based on Gabor filtering. The experiment shows that it is better than the other two methods.

Key words:texture structure feature; mathematical morphology; opening operation; multi-granularity decomposition; multi-granularity description

0 引 言

纹理是一种普遍存在的视觉现象,是目标结构的反映。目前,对于纹理的精确定义还未形成统一认识,没有统一的数学模型。但是,这并不影响纹理在图像处理和模式识别中的重要性。纹理分析与描述得到了

广泛研究,提出了大量的纹理特征描述方法。ZHANG 等对目前存在的纹理不变分析方法进行了研究,并将其分为三类:基于统计的方法、基于模型的方法、基于结构的方法^[1]。统计方法利用几个统计量来刻画纹理的性质,如灰度共生矩阵^[2-6]、LBP(Local Binary Pat-

收稿日期:2016-11-27

修回日期:2017-03-28

网络出版时间:2017-09-27

基金项目:国家“973”重点基础研究发展计划项目(2012CB719903)

作者简介:冯 霞(1986-),女,博士,研究方向为模式识别及标准化。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20170927.0957.004.html>

tern)^[7-10]。基于模型的方法将纹理定义为一种概率模型,或是一组基函数的线性组合,用模型的系数来刻画纹理特征,如小波变换^[11]、Gabor 滤波^[12]。基于结构的方法研究纹理单元及其在空间的排列规则。数学形态学是一种重要的基于结构的纹理描述方法。

基于结构方法的纹理特征描述中,结构单元大小的选择是一个非常重要的问题。由于纹理具有多粒度特性,基于单一尺度的结构单元不足以描述纹理特征,所以需要纹理结构进行多粒度分解和描述。基于数学形态学的开运算,给出了一种纹理结构空间的多粒度分解形式,并提出了一种整体对比度不同而结构相同的纹理特征的多粒度描述方法。

1 基于数学形态学的纹理多粒度分解

数学形态学是一种基于集合论、微分几何和格代数的非线性图像处理方法,有着严格的数学理论基础。数学形态学包括三个基本元素:处理对象、形态学运算和结构元素。结构元素用于提取或抑制图像中的特定结构。利用不同大小的结构元素,迭代进行形态学运算,可以获得不同粒度下的结构信息。数学形态学提供了像素团空间关系的分析,弥补了传统的基于单像素的图像分析方法的不足^[13]。

在频域中,利用傅里叶变换可以将一维函数分解为正、余弦函数的线性组合,利用小波变换可以对一维函数进行多尺度分解。借鉴一维函数的分解思想,基于数学形态学的开运算对二维纹理结构空间进行多粒度分解。如图 1 所示, $\Phi_i = I_0 * B_i$ 为对图像 I_0 迭代进行 * 形态学运算,其中 * 为开算子, B_i 为尺度不断增大的结构元素。

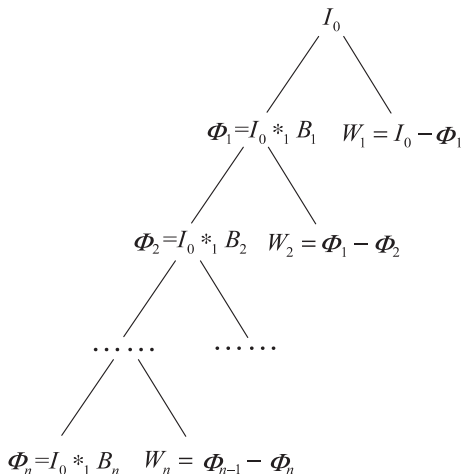


图 1 基于开运算的纹理结构的多粒度分解

图像 I_0 的多粒度分解形式为:

$$I_0 = (W_1, W_2, \dots, W_n, \Phi_n) \quad (1)$$

经开运算后,可以移除形状不大于结构元素的目标,所以 W_1 含有形状不大于 B_1 的粒度信息, W_2 含有

形状大于 B_1 且小于等于 B_2 的粒度信息,类似的, W_n 含有形状大于 B_{n-1} 且小于等于 B_n 的粒度信息, Φ_n 含有形状大于 B_n 的粒度信息。

2 纹理特征多粒度描述

在进行形态学运算时,需要选择结构元素。目前,存在很多关于最优或自适应结构元素分析及选择的研究^[14-15]。文中只是将结构元素作为一种携带了形状信息的“度量工具”对整幅纹理图像进行度量。每幅图像多粒度下的信息都是基于“度量工具”进行测量的,所以必须对所有的纹理结构使用相同的“度量工具”,否则没有比较的意义。“度量工具”的选择可以是任意的,文中选择了圆形结构元素。

2.1 问题分析

开运算是一种常见的形态学算子,其对偶形式为闭运算。当将开运算作用于结构相同、整体对比度不同的两幅纹理图像时,得到了不同的结果。

图 2 中的两幅图像具有相同的纹理结构,但是目标与背景的对比度不同。

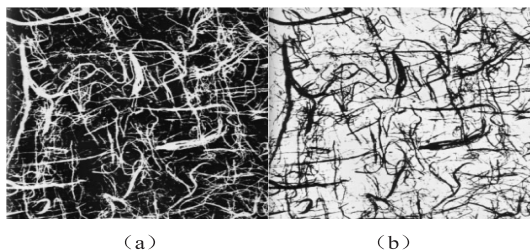


图 2 原图像

图 3 为采用相同的圆形结构元素(半径分别为 4、6)对图 2(a)、(b)进行开运算的结果。通过图 3 发现,

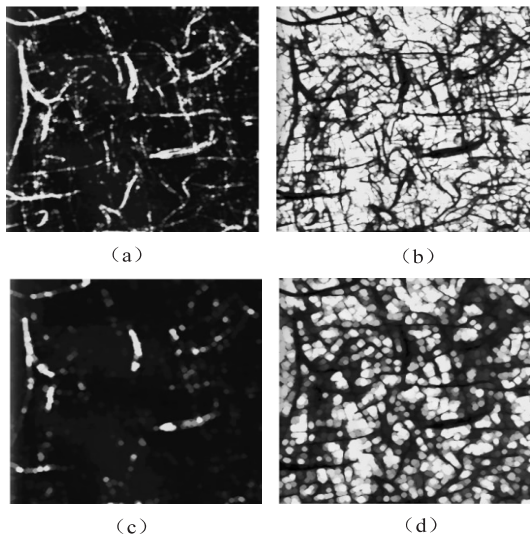


图 3 对图 2(a)、(b)进行开运算的结果

注:(a)使用半径为 4 的圆形结构元素对图 2(a)进行开运算的结果;(b)使用半径为 4 的圆形结构元素对图 2(b)进行开运算的结果;(c)使用半径为 6 的圆形结构元素对图 2(a)进行开运算的结果;(d)使用半径为 6 的圆形结构元素对图 2(b)进行开运算的结果。

图 2(a) 和 (b) 虽然具有相同的纹理结构,但是由于整体对比度不同,对其进行相同的形态学运算,得到了不同的结果。图 4 为采用与图 3 中相同的结构元素对图 2(a)、(b) 的补图像进行开运算的结果。补图像的定义为:若 I_0^c 为图像 I_0 的补图像,则 $I_0^c(x) = t_{\max} - I_0(x)$ 。其中, t_{\max} 为图像数据类型的最大值。

比较图 3、图 4 发现,图 2(a) 与图 3(b)、图 2(c) 与图 3(d)、图 2(b) 与图 3(a)、图 2(d) 与图 3(c) 具有相同的纹理结构,即对 (a) (或 (b)) 进行开运算的结果与对 (b) (或 (a)) 的补图像进行开运算的结果具有相同的纹理结构。所以可以通过对纹理结构相同,整体对比度不同的两幅纹理图像中的一幅采用开运算,对另一幅图像的补图像采用开运算,使得运算后两幅图像具有相同的纹理结构。

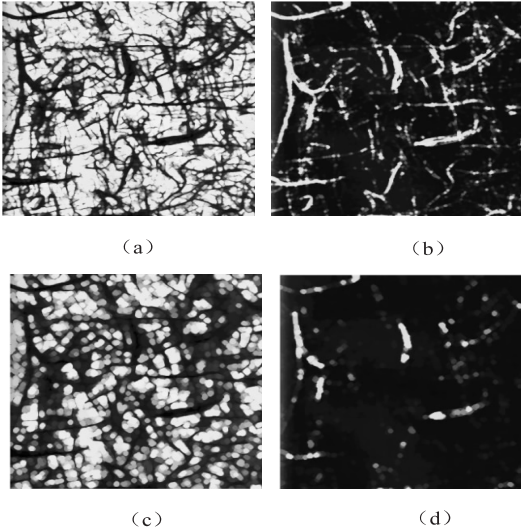


图 4 对图 2(a)、(b) 的补图像进行开运算的结果

注:(a) 对图 2(a) 的补图像使用半径为 4 的圆形结构元素进行开运算的结果;(b) 对图 2(b) 的补图像使用半径为 4 的圆形结构元素进行开运算的结果;(c) 对图 2(a) 的补图像使用半径为 6 的圆形结构元素进行开运算的结果;(d) 对图 2(b) 的补图像使用半径为 6 的圆形结构元素进行开运算的结果。

2.2 不同对比度纹理结构描述方法

对图像采用开运算还是其补图像采用开运算,取决于目标与背景的对比度。若图像中目标比背景亮,则需要迭代使用不同尺度的结构元素进行开运算,抑制不同大小的亮目标,然后通过计算两个相邻尺度下的开运算的差,得到不同尺度下的目标信息。反之,对其补图像进行开运算。对图像每个粒度下的信息描述与比较之前,先获得相同的纹理结构。文中采用一种简单的方法确定对图像还是其补图像使用开运算。

设 I_0 为待分析的纹理图像,若满足

$$\text{mean}(I_0) > \text{mean}(255 - I_0) \quad (2)$$

则对原图像使用开运算,否则对其补图像使用开运算。其中 $\text{mean}(\cdot)$ 为取均值算子。

纹理具有多粒度特性,只利用单一粒度下的信息,无法很好地描述纹理结构,所以需要纹理结构进行多粒度描述。文中形态学运算使用的多尺度结构元素按式(3)计算:

$$B_i = B_{i-1} \oplus B_1 \quad (3)$$

其中, \oplus 为形态学膨胀运算; B_1 为选择的第一个结构元素。

模式谱^[16]是一种纹理特征描述方法,应用广泛。文中借鉴模式谱的描述,计算每个粒度下的特征值。

特征计算公式定义如下:

$$FX_1(i) = \begin{cases} \frac{|W_i|}{|I_0| * \lambda_i}, i = 1, 2, \dots, n \\ \frac{|\Phi_n|}{|I_0| * \lambda_n}, i = n + 1 \end{cases} \quad (4)$$

特征值的计算将基于文中提出的多粒度分解,式(4)中的变量与式(1)中的变量定义相同, $|\cdot|$ 为求灰度和算子, n 为分解层数,最终得到的纹理描述子为 $n + 1$ 维向量。

$$FX_1 = \left(\frac{|W_1|}{|I_0| * \lambda_1}, \dots, \frac{|W_n|}{|I_0| * \lambda_n}, \frac{|\Phi_n|}{|I_0| * \lambda_n} \right) \quad (5)$$

3 实验与分析

为了验证文中方法的有效性,采用两组数据进行实验。数据 1 为 Brodatz 纹理图像库的 10 幅纹理图像 (D1、D22、D46、D49、D56、D57、D62、D75、D95、D101); 数据 2 为 MIT VisTex 数据库中的 10 幅纹理图像 (Bark. 0001、Fabric. 0001、Fabric. 0007、Fabric. 0008、Fabric. 0013、Fabric. 0014、Fabric. 0017、Fabric. 0018、Food. 0000、Sand. 0000)。对于每幅图像,使用 $150 * 150$ 的滑动窗口,获得部分重叠的 100 幅样本图像,最终每组数据含有 10 类,每类 100 个样本图像。将每类样本图像前 20 个作为训练数据,后 80 个作为测试数据,并从每类训练数据和测试数据中随机选择 5 个,用其补图像替换,获得结构相同、整体对比度不同的样本。采用支持向量机分类法 (SVM) 对纹理图像进行分类,并且将文中方法与基于灰度共生矩阵的纹理描述方法和基于 Gabor 滤波的纹理描述方法进行比较。

图 5 为两组数据分解层数对分类精度的影响曲线。虚线和实线分别为数据 1 和数据 2 分解层数对分类精度的影响曲线。对于数据 1,随着分解层数的增大,分类精度逐渐提高,当分解层数大于 6 时,分类精度趋向于平稳;对于数据 2,当分解层数为 3 时,分类精度达到最大值,并且当分解层数大于 6 时,分类精度曲线趋向于水平。

将文中方法分别与基于灰度共生矩阵的四个纹理量、基于 Gabor 的纹理量进行比较,其中灰度共生矩阵

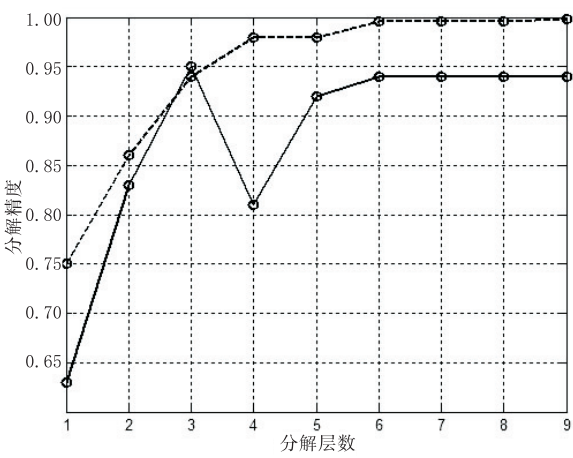


图 5 数据 1 和数据 2 分解层数对分类精度的影响曲线

取垂直和水平两个方向,步长取 1,四个特征量分别为能量、对比度、相关性和熵。Gabor 滤波频率数为 4,方向数为 6。分类精度的计算采用文献[17]的方法。表 1 为三种方法对应的分类精度。通过比较得出,文中方法对两组数据的分类精度都优于另外两种方法。

表 1 三种方法的分类精度

方法	分类精度/%	
	数据 1	数据 2
文中方法	99.75	94.89
Gabor 纹理特征	90.63	82
灰度共生矩阵	90.25	91.25

4 结束语

纹理描述作为纹理分析和应用的基础,一直都是研究的热点。结合纹理的多粒度特点,并且借鉴一维函数的分解思想,提出了一种结构相同、整体对比度不同的纹理特征的多粒度描述方法。将该方法与基于灰度共生矩阵的纹理描述和基于 Gabor 的纹理描述进行了比较,实验结果表明,该方法具有更好的鉴别能力。

数学形态学作为一种非线性图像处理方法,在研究初期得到了广泛的应用,但是近几年应用较少,笔者认为主要是因为结构元素的非自适应选择抑制了其在图像处理领域的应用。形态学算子的自对偶性也是一种非常重要的性质,具有自对偶性的算子可以恒等地处理背景和前景。基于上述考虑,后面将继续研究图像处理中结构元素的自适应选择问题和自对偶算子对结构相同、局部对比度不同的纹理特征的描述问题。

参考文献:

[1] ZHANG J,TAN T. Brief review of invariant texture analysis

methods[J]. Pattern Recognition,2002,35(3):735-747.

[2] HARALICK R,SHANMUGAM K,DINSTEIN I. Texture features for image classification[J]. IEEE Transactions on Systems,Man and Cybernetics,1973,3(6):610-621.

[3] 王宏光,刘义范. 基于灰度共生矩阵的影像纹理特征研究[J]. 测绘通报,2013(2):28-30.

[4] 甄宗坤,岳建平. 基于 LOG 算子和灰度共生矩阵的影像纹理特征提取[J]. 测绘通报,2013(9):31-34.

[5] 田艳琴,郭平,卢汉清. 基于灰度共生矩阵的多波段遥感图像纹理特征的提取[J]. 计算机科学,2004,31(12):162-163.

[6] 苑丽红,孙爽滋,付丽. 灰度共生矩阵检索纹理图像的算法研究[J]. 计算机科学,2009,36(11):300-302.

[7] 韩延斌,尹建芹,李金屏. 基于图元旋转不变性和相位统计信息的 LBP 算法在纹理分类中的研究[J]. 计算机学报,2011,34(3):583-592.

[8] 周书仁,殷建平. 基于 Haar 特性的 LBP 纹理特征[J]. 软件学报,2013,24(8):1909-1926.

[9] 刘毅,黄兵,孙怀江,等. 结合 CS-LBP 纹理特征的快速图割算法[J]. 计算机学报,2013,40(5):300-302.

[10] OJALA T,PIETIKAINEN M,HARWOOD D. A comparative study of texture measures with classification based on feature distributions[J]. Pattern Recognition,1996,29(1):51-59.

[11] ARIVAZHAGAN S,GANESAN L. Texture classification using wavelet transform[J]. Pattern Recognition Letters,2003,24(9-10):1513-1521.

[12] BIANCONI F,FERNANDEZ A. Evaluation of the effects of Gabor filter parameters on texture classification[J]. Pattern Recognition,2007,40(12):3325-3335.

[13] SOILLE P,PESARESI M. Advances in mathematical morphology applied to geosciences and remote sensing[J]. IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing,2002,40(9):2042-2055.

[14] VES E D,BENAVENT X,AYALA G,et al. Selecting the structuring element for morphological texture classification[J]. Pattern Analysis and Applications,2006,9(1):48-57.

[15] ASANO A,OHKUBO T,MUNEYASU M,et al. Primitive and point configuration texture model and primitive estimation using mathematical morphology[C]//Proceedings of 13th Scandinavian conference on image analysis. [s. l.]:[s. n.],2003:178-185.

[16] ASANO A,MIYAGAWA M,FUJIO M. Texture modeling by optimal gray scale structuring elements using morphological pattern spectrum[C]//Proceedings of 15th international conference on pattern recognition. Barcelona,Spain:IEEE,2000.

[17] CONGALTON R G. Review of assessing the accuracy of classification of remotely sensed data[J]. Remote Sensing of Environment,1991,37(1):35-46.