

纹理粗糙度量算法的性能比较

赵海英^{1,2} 徐光美³ 彭宏¹

(新疆师范大学计算机科学技术学院 乌鲁木齐 830054)¹ (北京科技大学信息工程学院 北京 100083)²
(北京联合大学信息学院 北京 100101)³

摘要 纹理粗糙度是纹理最高层次的视觉感知特征,对底层图像特征向高层语义特征转化具有最要意义,为此,提出了大量的度量纹理粗糙度的算法,但是这些方法往往是基于不同的应用背景,没有总体比较和评价,多局限于灰度共生矩阵的选用和改进,算法普遍存在计算量过大、误差较大、应用能力模糊的缺点。基于常用的 5 种度量纹理粗糙度的算法,在不同图像源以及噪声图像上进行实验,测试不同度量方法所具有的纹理分辨能力、旋转不变性以及算法鲁棒性,进而给出选择度量纹理粗糙度算法的参考模型。

关键词 纹理粗糙度,纹理分辨能力,旋转不变性,鲁棒性

中图法分类号 P391.4 **文献标识码** A

Performance Evaluation for the Algorithms to Measure Texture Coarseness

ZHAO Hai-ying^{1,2} XU Guang-mei³ PENG Hong¹

(College of Computer Science and Technology, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China)¹

(School of Information Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)²

(Information College of Beijing Union University, Beijing 100101, China)³

Abstract Texture coarseness is the highest level of texture feature of visual perception. It is very important that lower features are transformed to higher semantic features. Many measure texture coarseness algorithms of image were proposed based on different application background. But they are lack of comparison and evaluation of the overall and are only limited to the selection of the GLCM method. This paper made a testing among these methods in different images and noise images. The experimental results show that five kinds of texture coarseness measurement algorithm have different textural performance, rotation invariance and algorithm robustness. A reference model was given to select different algorithm of texture coarseness measurement algorithm based on different application.

Keywords Textural coarseness, Textural performance, Rotation invariance, Robustness

1 引言

纹理是图像的重要特征之一,但在大多数情形下,其概念是模糊的、不精确的^[1]。纹理常指图像反复出现的局部模式和它们的排列规则,反映宏观意义上灰度变化的一些规律。人类可以借助模糊的纹理概念,如“粗/细”、“方向性”、“规整性”等对纹理进行描述^[2]。从人的感知经验可知,粗糙度、对比度和方向性是人们区分纹理时所用的 3 个主要特征,其中粗糙度是最基本、最重要的纹理特征^[3],对图像的分析、识别和解释有着重要的意义。从狭义的观点来看,纹理就是粗糙度,是用肉眼能感知并很容易辨识出来的。最早报道对纹理视觉感知研究的是 Julesz^[4]和 Bergen^[5],但是在这些研究中,不是发展纹理的度量方法,而是研究人造纹理图像的视觉感知差异。研究表明纹理感知的不同在更大层面上取决于第二

统计特征的不同。进一步的研究发现,对纹理粗糙度进行有效的数学描述,是正确应用纹理粗糙度的关键。已有许多文献研究基于图像的纹理粗糙度和表达方法,提出了度量算法。目前在各种学科领域中应用比较多的方法是:Rosenfeld^[6]提出的基于最佳尺寸纹理粗糙度算法,该方法不但克服了粗糙度对度量尺度的依赖,而且能有效地处理显微纹理图像;Karu和 Tamura^[7]等学者基于 Rosenfeld 纹理粗糙度算法,提高了度量纹理粗糙度的算法的速度;文献[8]提出了用分形维数作为度量一幅图像纹理粗糙度的方法;文献[9]提出利用纹理的二阶或高阶统计特性提取纹理区域的粗糙度分量的方法;文献[10]提出了基于共生矩阵的纹理粗糙度算法;文献[11]提出了图像的自相关函数法;从另一个角度,文献[12]分析了与人的感知相吻合的基于自相关的纹理感知特征;文献[13]提出了功率谱的定义来度量纹理粗糙度。以上各方法分别基

到稿日期:2010-08-20 返修日期:2010-12-08 本文受国家自然科学基金项目(60863010),973 前期计划专项课题项目(2010CB334709),新疆自然科学基金项目(2010211a19)资助。

赵海英(1969—),女,博士生,副教授,主要研究方向为模式识别和图像处理, E-mail: zhaohaiying2008@gmil.com;徐光美(1977—),女,博士,讲师,主要研究方向为图像处理、数据挖掘, E-mail: xxtguangmei@buu.edu.cn(通信作者);彭宏(1972—),男,硕士,高级工程师,主要研究方向为模式识别和图像处理。

于不同的应用背景提出,没有进行总体比较和评价。更重要的是图像纹理粗糙度具有人类视觉感知的特征,所提出的度量算法必须吻合人类的视觉感知,如果度量方法精度不够,纹理粗糙度的计算就会有偏差。因此,共生矩阵以简单易理解受到人们的青睐,大多改进算法也都是对共生矩阵的改进。本文目的不是改进或提出度量图像纹理粗糙度的算法,而是基于不同图像源以及噪声图像,对最常用的5种度量算法进行实验比较,给出各种方法的纹理分辨能力和噪声适用范围,并提供有价值的结论和应用参考模型。

2 相关工作

粗糙度作为度量图像纹理的一种特征指标,保持了与人类视觉感知的一致性,受到广泛应用^[14]。1973年R. M. Haralick提出灰度共生矩阵GLCM,并首次将纹理特征应用于图像分类;1976年A. Rosenfeld对纹理模型,如共生矩阵、差值统计、灰度游程长度统计等进行了比较,提出了最佳尺寸纹理粗糙度量算法;1979年Haralick又对纹理各种统计和结构分析方法进行了总结和评论^[15];接着Laws于1980年提出度量纹理特征的纹理能量法^[16]。在这些方法中,由于应用领域和图像背景的差别,人们提出了不同的改进算法,但其主要限于对GLCM和Rosenfeld度量算法的改进,原因是GLCM算法简单易于实现(如matlab工具箱自带),但通常要选取多个参数,从而会影响算法的精度和应用范围;Rosenfeld提出的度量算法因与人的视觉感知相吻合而深受应用者的欢迎。对于GLCM方法来说关键在于如何设置不同参数来计算共生矩阵,并能对计算提供简化支持。为此,焦李成^[17]带领的研究小组进行了算法改进,提出了约简的共生矩阵计算方法,并从理论上保证纹理计算的完整性和简约性。在Rosenfeld提出度量纹理粗糙度算法之后,Tamura引用了该算法,并最早考虑了人类视觉感知对度量纹理特征的影响,但其研究工作只是评价了单个度量粗糙度算法和人类感知度的关系,而没有给出不同粗糙度量算法之间的纹理可辨性和鲁棒性的差异^[3]。最近的论文中也缺少这方面的研究工作^[18]。文献^[19]对Rosenfeld纹理粗糙度算法在选取邻域尺寸和计算邻域均值差值这两方面进行了改进,从而增强了纹理分辨能力并使其具有更好的旋转不变性;文献^[20]发现Rosenfeld算法计算所得的图像粗糙度是整幅图像各个部分粗糙度的平均值,这必然会导致粗糙度分布信息的丢失。为了将图像中具有不同粗糙度的纹理图案分布信息体现在提取的特征向量中,对Rosenfeld算法进行了改进,从而提出了分布式度量纹理粗糙度的方法;文献^[21]基于Rosenfeld是寻求最佳尺寸纹理粗糙度算法,提出了多尺度变换的纹理粗糙度的度量算法;文献^[22]利用非子模的轮廓变换(NSCT)组合3个尺度和8个方向的度量纹理特征;文献^[23]组合纹理粗糙度和Gabor小波特征,并应用于纹理图像的分类。最近N. Abbadeni^[24]结合原图像和相关函数的两种表示方法,提出了一套改进的纹理感知特征的度量方法。

随着大量度量纹理粗糙度算法的提出,研究各类度量算法的性能也引起了关注。Abbadeni^[25]对各类感知特征进行了比较分析,给出了对定性分析的方法;文献^[26]对Tamura纹理粗糙度量算法的应用进行了综述;文献^[27]利用模糊集理论给出了纹理粗糙度的分析。但真正比较度量纹理粗糙

度的研究较少。文献^[28]从纹理图像分类的角度进行了两类Gabor算子的比较;文献^[29]同样从纹理图像分类角度对纹理粗糙度的全局和局部特性进行了分析与比较。虽然文献^[30]比较了17种度量纹理粗糙的算法,但最根本的问题是,所提的17种方法并不都是粗糙度的度量,并且没有给出算法的选取依据;文献^[31]试图从小波分析角度对纹理粗糙度的度量进行比较,但论文的目标是图像分割。同样文献^[32,33]的研究介入粗糙度,但更重要的是对某种应用(分类、分割)的度量结果的比较,而不是更多地考虑人类对纹理特征的感知。

综上所述,大多数的纹理粗糙度方法侧重于在不同应用背景设计不同的纹理模式和规则描述,并没有对不同背景下所提取的这些纹理粗糙度量算法进行一个整体的比较与分析。本文重点针对不同背景下提取的5种纹理粗糙度的度量算法进行多角度分析与比较,并通过实验分析算法性能,给出不同应用背景下选用纹理粗糙度量算法的推荐模型。

3 5种基于纹理粗糙度的特征提取实验算法

实验所用的纹理粗糙度算法及简称如表1所列。

表1 算法与缩写

纹理粗糙度算法	程序名称	缩写
灰度共生矩阵	texture_cooccur_matrix	GLCM_ASM
分形地毯覆盖法	texture_fd_carpet	FD_carpet
Tamura 纹理模型	texture_Tamura	Tamura
空间自相关函数	texture_AutoCorren	AutoCorr
傅里叶功率谱	texture_FFTSpectrum	FFT_PS

3.1 灰度共生矩阵

假定一幅图像 $f(x, y)$ 由水平方向的 M 个像素、垂直方向的 N 个像素组成,像素的最大灰度为 L 。灰度共生矩阵就是从图像 $f(x, y)$ 的灰度为 i 的像素出发,统计它与距离为 d 、方向为 θ 、灰度为 j 的像素同时出现的概率 $p(i, j, d, \theta)$ 。

灰度共生矩阵反映了图像灰度关于方向、相邻间隔、变化幅度的综合信息,可以作为分析图像基元和排列结构的依据。根据纹理分析的特征量,可以在灰度共生矩阵的基础上提取纹理特征。

3.2 地毯覆盖法

把灰度图像想象成一个在三维空间中的分形曲面^[34],所要估计的图像区域的分形维数 D 即为纹理粗糙度特征值,将由式(1)确定:

$$A(r) = F_r^{(2-D)} \quad (1)$$

式中, $A(r)$ 为分形的曲面的表面积, r 为度量时所使用的面积元尺度, D 为曲面的分形维数, F 是一个常数。

3.3 Tamura 纹理特征

基于人类对纹理视觉感知的心理学研究,Tamura等人提出了纹理特征的表达^[7]。Tamura纹理特征的6个分量对应于心理学角度上纹理特征的6种属性,分别是粗糙度(Coarseness)、对比度(Contrast)、方向度(Directionality)、线性度(Linearity)、规整度(Regularity)和粗糙度(Roughness)。其中,前3个分量对于图像特征提取尤其重要,本文重点分析比较纹理的粗糙度特征。

3.4 图像的自相关函数法

若有一幅图像 $f(i, j)$,其中 $i, j = 0, 1, \dots, N-1$,则该图像的自相关函数^[11]定义为:

$$\rho(x,y) = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} f(i,j) f(i+x,j+y)}{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} f(i,j)^2} \quad (2)$$

自相关函数 $\rho(x,y)$ 随 x,y 大小而变化,其变化与图像中纹理粗细的变化有着对应的关系,因而依次描述纹理的粗糙度特征。定义 $d=(x^2+y^2)^{\frac{1}{2}}$, d 为位移矢量, $\rho(x,y)$ 可记为 $\rho(d)$ 。在 $x=0,y=0$ 时,从自相关函数定义可以得到, $\rho(d)=1$ 为最大值。对于不同的纹理图像, $\rho(x,y)$ 随 d 变化的规律是不同的。当纹理较粗时, $\rho(d)$ 随 d 的增加下降速度较慢;当纹理较细时, $\rho(d)$ 随着 d 的增加下降速度较快。

3.5 频域方法

若图像 $f(x,y)$ 的傅里叶变换为 $F(u,v)$, 则其功率谱定义^[13]为:

$$|F(u,v)|^2 = F(u,v)F^*(u,v) \quad (3)$$

式中, $F^*(u,v)$ 为复共轭。如果一幅图像纹理粗糙,即图像灰度变化较慢,则在较小的 $d = \sqrt{u^2+v^2}$ 处 $|F(u,v)|^2$ 有较大值。反之,若纹理细腻,则在较大的 d 处 $|F(u,v)|^2$ 有较大值。因此可用 $|F(u,v)|^2$ 随 d 的变化情况来检测纹理的粗糙度特征。

4 实验结果及分析

实验图像来自 Brodatz^[35] 图像数据库,其中每幅自然纹理图像为 640×640 大小的 256 级灰度图像。为检验算法的旋转不变性和抗噪声能力,也分别对加入随机噪声和进行随机旋转后的纹理图像进行了粗糙度提取,并对 5 种算法在图像集上的试验结果进行了分析比较。

4.1 5 种纹理粗糙度的特征提取

根据 5 种纹理粗糙度的提取算法,对图 1 的三组图像分别提取纹理特征。

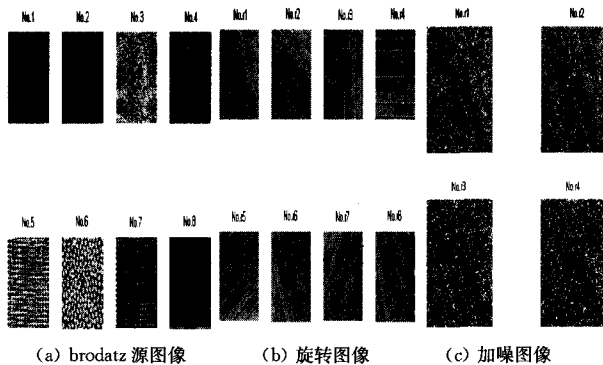


图 1 不同图像源以及噪声图像

4.2 不同纹理粗糙度提取算法的性能分析与比较

分析表 2,比较 5 种算法对不同图像源的纹理粗糙度的度量结果,如图 2 所示。

表 2 利用不同纹理粗糙度算法提取图 1(a)的特征值

Number	GLCM_ASM	Tamura	FD_carpet	AutoCorr %	FFT_PS
No. 1	0.09213	6.5303	3.4628	2.944368	6.621
No. 2	0.14005	7.9062	3.0085	2.277863	3.7757
No. 3	0.3779	7.5555	3.6223	2.569996	4.7098
No. 4	1.7417	12.2769	2.3617	2.77221	3.3458
No. 5	3.2214	12.108	2.9019	2.217745	2.0248
No. 6	5.0127	16.5753	2.6154	2.259622	2.6354
No. 7	7.2801	10.9065	2.7277	1.326635	0.79599
No. 8	15.181	15.6789	2.2027	1.278158	0.51249

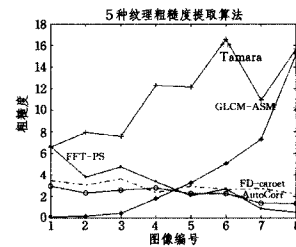


图 2 比较表 2 中不同纹理粗糙度量方法性能

分析图 2 可知,不同的纹理粗糙度算法对图像的粗糙的分辨能力不同,算法 GLCM 的纹理分辨能力最强,分形维数的分辨能力最弱。观察图 1(a),视觉可感知:位于上面的 4 幅图像的纹理要细于位于下面的 4 幅图像纹理,而从理论出发,即从计算机仿真上看:粗糙度最粗的是图像 No. 8,最细的是 No. 1。5 种纹理粗糙度算法都表现出视觉感知与理论计算值相吻合的结果。图像纹理粗糙度的理论计算结果排序如表 3 所列。

表 3 纹理粗糙度从细到粗的顺序排列

GLCM	Tamura	FD	AutoCorr	FFT_PS
No. 1	No. 1	No. 3	No. 1	No. 1
No. 2	No. 3	No. 1	No. 4	No. 3
No. 3	No. 2	No. 2	No. 3	No. 2
No. 4	No. 7	No. 5	No. 2	No. 4
No. 5	No. 5	No. 7	No. 6	No. 6
No. 6	No. 4	No. 6	No. 5	No. 5
No. 7	No. 8	No. 4	No. 7	No. 7
No. 8	No. 6	No. 8	No. 8	No. 8

4.3 5 种纹理粗糙度量算法对图像旋转、加入噪声的性能分析与比较

分析表 4,比较 5 种算法对旋转图像的纹理粗糙度的度量结果,如图 3 所示。

表 4 利用不同纹理粗糙度算法提取图 1(b)的特征值

Number	GLCM_ASM	Tamura	FD_carpet	AutoCorr %	FFT_PS
No. r1	5.1525	14.7442	2.6474	2.795443	4.0334
No. r2	5.0754	14.7067	2.6715	2.7693671	2.8983
No. r3	4.5401	14.3946	2.6566	2.798253	1.0628
No. r4	5.3661	14.3921	2.6971	2.7846349	6.5878
No. r5	5.0816	14.389	2.6711	2.7542977	7.4243
No. r6	4.7717	14.3875	2.6499	2.7887132	2.4752
No. r7	5.2148	14.3786	2.654	2.7699253	6.2703
No. r8	5.2189	14.3529	2.6616	2.8026866	2.8752

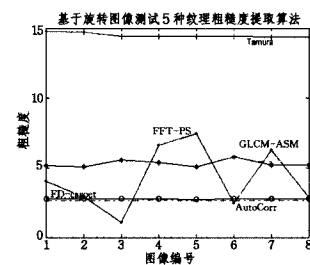


图 3 对旋转图像的纹理粗糙度量

分析表 5,比较 5 种算法对加噪图像的粗糙度量结果,如图 4 所示。

表5 利用不同纹理粗糙度算法提取图1(c)的特征值

Number	GLCM_ASM	Tamura	FD_carpet	AutoCorr %	FFT_PS
No. n1	3.0914	7.3124	4.8188	2.214716	3.5586
No. n2	2.5768	7.6558	5.5395	2.377091	2.1732
No. n3	7.6022	6.3886	4.6882	1.792074	9.842
No. n4	2.482	6.6694	5.1054	1.966004	2.3928

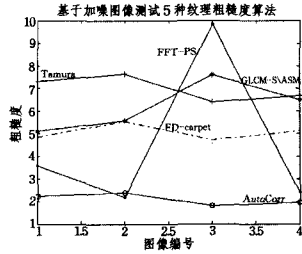


图4 加入噪声的图像纹理粗糙度量

4.4 实验结果分析

(1)分析图2,不同提取特征算法具有不同纹理粗糙度值,但基本与人类视觉感知的粗糙度(从细到粗的顺序)保持一致。相比而言,GLCM纹理特征模型对粗糙度具有较强的纹理分辨能力,其次是分形模型和Tamura。

(2)分析图3,5种提取算法对旋转都表现出较强的鲁棒性,相比而言,Tamura纹理特征模型具有较好的旋转不变性,其次是图像的自相关函数法。

(3)分析图4,5种提取算法对噪声都表现出较强的鲁棒性,相比而言,鲁棒性较好的算法是分形模型,其次是图像的Tamura纹理特征模型。

(4)值得一提的是借助多尺度理论空间可引入多尺度纹理粗糙度的度量方法是一种较具应用价值的方法。

根据上述分析,在纹理粗糙度特征提取算法的选择上,无论是考虑与人类视觉感知粗糙度相一致,还是纹理分辨能力、旋转不变性以及算法的鲁棒性,Tamura纹理特征模型、分形模型以及GLCM这3个算法都是人机识别纹理粗糙度相一致的最佳模型。

讨论:在许多应用中,如特征提取、分类等,人眼对纹理粗糙度的分辨能力是有限的,换言之,人眼对某些低粗糙度的小变化无法觉察。如何适应这个视觉特性,首先想到的是计算图像的共生矩阵来实现对纹理粗糙度的度量。实验结果表明,所提各种算法对估算高粗糙度纹理的敏感度并不是非常高,不同应用背景的效果也不同;再有,如果引入小波分解图像,由于数据信息量的减少,计算速度可能提高,但计算粗糙度有很大的出入,原因可能就是分解后,失去了一部分信息,不能从综合的角度来评价;但如果是应用在某一个分量方向还是可以的,同时也说明应对其进行改进,借助多尺度理论的度量来减少纹理粗糙度的偏差,这是未来研究的主要方向之一。

结束语 共生矩阵模型可测纹理粗糙度的适用范围大,但计算量也大,尤其用大邻域来覆盖,运算时间过长;盒子维计算时间适中,但当图像的分形维数很高时会低估图像的FD,因而有一定的使用限制。结合适用范围和计算量及准确度3方面来考虑,Tamura纹理特征模型和盒子维法较好。

此外,图像分类系统应该选择可靠性高、可区别性强和独立性好的少量特征作为分类的依据^[2]。针对不同图像的纹理特点,选取可反映纹理分辨能力、旋转不变性以及算法的鲁棒性较好的算法。基于在不同的纹理图像下不同特征所表现的

能力不同,论文的研究有待于在评估纹理方向性和均匀性方面继续深入。对理粗糙度、方向性、均匀性等重要特征进行评估,将对纹理型图像的定量分析大有帮助。

参考文献

- [1] Lin H, Chiu C, Yang S. Finding textures by textual descriptions, visual examples, and relevance feedbacks[J]. Pattern Recognition Letters, 2003, 24(14): 2255-2267
- [2] Rao A R, Lohse G L. Identifying high level features of texture perception[J]. Graphical Models and Image Processing, 1993, 55(3): 218-233
- [3] Ohanian P, Dubes R C. Performance evaluation for four classes of texture features[J]. Pattern Recognition, 1992, 25: 819-833
- [4] Julesz B. Experiments in the Visual Perception of Texture[J]. Scientific American, 1976, 232(4): 34-44
- [5] Bergen J R, Adelson E H. Early Vision and Texture Perception, Nature, 1988, 333(6171): 363-364
- [6] Rosenfeld A, Troy E B. Visual texture analysis, C[R]. TR-116. Opt. Sci. Center, Univ. Maryland, College Park, June 1970
- [7] Tamura H, Mori S, Yamawaki T. Psychological and computational measurements of basic textural features and their comparison[C]//Proc. 3rd Int. Joint Conf. Pattern Recognition, 1976: 273-277
- [8] Pentland P. Fractal based description of natural scenes[J]. IEEE Transactions on Pattern analysis and Machine Intelligence, 1984, 6(6): 661-674
- [9] Julesz B, Bergen J R. Textons, the fundamental elements in pre-attentive vision and perception of textures [J]. Bell System Technical Journal, 1983, 62: 1691-1645
- [10] Haralick R M, Shanmugam K, Dinstein I. Textural features for image classification[J]. IEEE Transactions on System, Man, Cybernetics, 1973, SMC-3: 610-621
- [11] Kaizer E. On a simple algorithm to calculate the "energy" of a signal[C]// Proc. Int. Conf. Acoustic, Speech, Signal Processing '90, 1990: 381-384
- [12] Abbadeni N, Ziou N, Wang D S. Auto-covariance based perceptual textural features corresponding to human visual perception [C]// Proc. of 15th International Conference on Pattern Recognition. vol. 3, 2000: 901-904
- [13] Jain R, Kasturi R, Schunck B G. Machine Vision[M]. McGraw-Hill, 1995
- [14] Schwartz W R, Pedrini H. Texture Classification Based on Spatial Dependence Features Using Co-occurrence Matrices and Markov Random Fields[C]//Image Processing, ICIP' 04, 2004, 1: 230-242
- [15] Haralick R M. Statistical and structural application to texture [J]. Proc of IEEE, 1979, 67(5)
- [16] Laws K I. textural image segmentation[D]. Dept of E E, Univ. of Southern California, 1980
- [17] 薄华, 马缚龙, 焦李成. 图像纹理的灰度共生矩阵计算问题的分析[J]. 电子学报, 2006, 1(34): 155-158
- [18] Fujii K, Sugi S, Ando Y. Textural properties corresponding to visual perception based on the correlation mechanism in the visual system[J]. Psychological Research, 2003, 67(3): 197-208
- [19] 孙兴华, 杨静宇, 郭丽. 基于改进纹理粗糙度的图像检索研究 [J]. 计算机工程, 2002, 1(28): 144-146
- [20] 万晓燕, 徐国庆, 万晓燕. 基于纹理特征的图像检索研究与实现

- [J]. 广西师范学院学报:自然科学版,2007;24-29
- [21] 王成儒,吴娅辉. 旋转不变广义粗糙度特征结合自适应加权距离在纹理检索中的应用[J]. 中国图象图形学报,2005,6(10):762-766
- [22] Vo A P N, Nguyen T T, Oraintara S. Texture Image Retrieval Using Complex Directional Filter Bank[C]//IEEE International Symposium on Circuits and Systems. 2006;5495-5498
- [23] Jian Mu-wei, Dong Jun-yu, Gao Da-wei, et al. New texture features based on wavelet transform coinciding with human visual perception[C]//Proceedings-SNPD 2007; Eighth ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed Computing. vol. 1, 2007;369-373
- [24] Abbadeni N. Computational Perceptual Features for Texture Representation and Retrieval[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2011, 20(1): 236-246
- [25] Abbadeni N, Ziou D, Wang S. Perceptual textural features corresponding to human visual perception[C]// Proceedings of the 13th Vision Interface Conference. 2000;365-372
- [26] Wu W J, Ma L Z, Xiao X Z. Method of Tongue Image Segmentation Based on Luminance and Roughness Information[J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(s11): 374-379
- [27] Chamorro-Martinez J, Galan-Perales E, Sanchez D, et al. Prados-Suarez. A fuzzy approach to image texture representation applied to visual coarseness description[C]//2006 IEEE International Conference on Fuzzy Systems. Sheraton Vancouver Wall Centre Hotel, Vancouver, BC, Canada, 2006;1099-1104
- [28] Zhan Xu, Sun Xing-bo. Comparison of two gabor texture descriptor for texture classification[C]//2009 WASE International Conference on Information Engineering. 2009;52-56
- [29] Zhang Yang, He Rongyi. Comparison of Two Methods For Texture Image Classification[C]//2009 Second International Workshop on Computer Science and Engineering. 2009;65-68
- [30] Chamorro-Martinez J, Martinez-Jimenez P. A comparative study of texture coarseness measures [C] // Image Processing 2009 16th IEEE International Conference (ICIP). 2009;1337-1340
- [31] Dogra D P, Tripathy K, Majumdar A K, et al. A Comparative Study on Texture Features Used for segmentation of Images Rich in Texture[C]//2009 IEEE International Conference on Signal and Image Processing Applications. 2009;336-339
- [32] Singh M, Singh S. Spatial texture analysis; a comparative study [C]//IEEE Proc. on 16th Inter. Conf. on Pattern Recognition. vol. 1, 2002;676-679
- [33] Chang K I, Bowyer K W, Sivagurunath M. Evaluation of texture segmentation algorithms [C] // Proc. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. vol. 57, 2003;294-299
- [34] 赵海英,徐丹. 图像分形维数计算方法的比较[J]. 云南大学学报:自然科学版,2004,26(5A):56-59
- [35] Brodatz Texture Database[EB/OL]. <http://www.ux.uis.no/~tranden/brodatz.html>

(上接第 287 页)

的非局部变分方法,同简单的波原子阈值不同,不是简单地将小于阈值的系数置为零,而是在非局部变分意义下对小于阈值的系数做适当的修正后再进行恢复。需要说明的是,此处用非局部变分而不用简单的局部变分的原因是非局部变分对纹理图像的细节保护方面明显优于通常的局部变分,当然它们对图像中出现的伪吉布斯现象都有很好的抑制作用。对于非局部变分计算量大的缺点也是不可避免的,可以考虑用分裂的 Bregman^[12]等方法对其进行加速,这也是我们下一步值得研究的。

表 1 不同方法信噪比(dB)的比较

图像	Fingerprint			Barbara		
	5	10	15	5	10	15
噪声	12.56	7.18	4.58	13.20	7.75	5.07
软阈值	15.24	10.73	8.51	17.49	13.56	11.33
非局部 TV	15.35	11.17	8.35	17.68	13.92	11.65
新方法	15.48	11.23	8.80	17.70	14.15	11.73

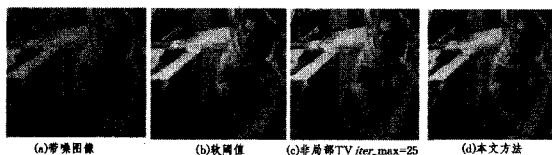


图 1 $\sigma=10$ 带噪的 Barbara 图像和 3 种方法去噪图像

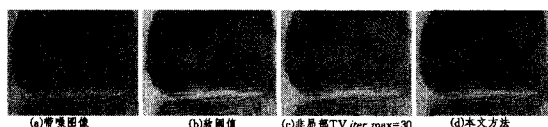


图 2 $\sigma=15$ 带噪的 Fingerprint 图像和 3 种方法去噪图像

参考文献

- [1] Donoho D L. Orthonormal ridgelet and linear singularities[J]. SIAM Journal on Mathematical Analysis, 2000, 31(5): 1062-1099
- [2] Candes E J, Donoho D L. Curvelets; a surprisingly effective non-adaptive representation for objects with edges[C]//Curves and Surfaces Fitting, Saint-Malo 1999. Nashville, TN, 2000; 105-120
- [3] Candes E J, Donoho D L. New tight frames of curvelets and optimal representations of objects with C singularities[J]. Communications on Pure and Applied Mathematics, 2004, 57(2): 219-266
- [4] 刘国军,冯象初,郝彬彬. 代曲线波图像恢复模型及其算法[J]. 西安电子科技大学学报, 2009, 36(6): 1092-1097
- [5] Demanet L, Ying L X. Wave atoms and sparsity of oscillatory patterns[J]. Applied and Computational Harmonic Analysis, 2007, 23(3): 368-387
- [6] Durand S, Froment J. Reconstruction of wavelet coefficients using total variation minimization[J]. SIAM Sci. Comput, 2003, 24: 1754-1767
- [7] Kindermann S, Osher S, Jones P W. Deblurring and Denoising of Images by Nonlocal Functionals[R]. UCLA Report, December 2004
- [8] Lou Yi-fei, Zhang Xiao-qun, Osher S. Image Recovery via Nonlocal Operators[Z]. UCLA, Manuscript, November 2008
- [9] Buades A, Coll B, Morel J-M. A non-local algorithm for image denoising[R]. 2005
- [10] Liu Yan-li, Wang Jin. A Robust and Fast Non-local Means Algorithm for Image Denoising[J]. Journal of Computer Science and Technology, 2008, 23(2): 270-279
- [11] Gilboa G, Osher S. Nonlocal Operators with Applications to Image Processing [J]. Multiscale Model. Simul., 2008, 7(3): 1005-1028
- [12] Zhang Xiao-qun, Burger M. Bregmanized Nonlocal Regularization for Deconvolution and Sparse Reconstruction[R]. CAM report, 2009-03