

一种基于旋转不变性的纹理粗糙度改进算法

张芝齐¹, 吴建平^{1,2,3}, 钱文华¹, 陈培德^{1,2,3}

- (1. 云南大学 信息学院, 云南 昆明 650500;
2. 云南大学 云南省电子计算中心, 云南 昆明 650223;
3. 云南省高校数字媒体技术重点实验室, 云南 昆明 650223)

摘要:少数民族图案纹理粗糙度的提取对少数民族图案的表达和解析提供了有效的数据支撑,也对少数民族图案的合成提供了相应的特征信息。针对原 Rosenfeld 纹理粗糙度算法的量化精度不高和其计算结果旋转不变性不稳定,同时为了适应在不同角度下稳定准确地提取少数民族图案纹理粗糙度的需要,提出了一种基于领域均值差值和分式量化的改进算法。用数学理论推导、证明了分式量化的量化精度为最高,通过计算在不同角度下提取一张少数民族图案的纹理粗糙度的方差来衡量该算法的旋转不变性。结合 Brodatz 纹理图像库和苗族刺绣图案库进行了 Matlab 算法验证实验,实验数据对比结果表明,改进算法旋转不变性得到了显著提高。

关键词:纹理粗糙度;旋转不变性;量化精度;领域均值差值;分式量化

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2018)11-0065-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2018.11.015

An Improved Texture Coarseness Algorithm Based on Rotation Invariant

ZHANG Zhi-qi¹, WU Jian-ping^{1,2,3}, QIAN Wen-hua¹, CHEN Pei-de^{1,2,3}

- (1. School of Information, Yunnan University, Kunming 650500, China;
2. Electron & Computer Center of Yunnan Province, Yunnan University, Kunming 650223, China;
3. Digital Media Technology Key Laboratory of Universities and Colleges in Yunnan Province, Kunming 650223, China)

Abstract: Minority pattern texture roughness extraction provides effective data to support the minority pattern texture and also the corresponding feature information on the synthesis of minority pattern. In the light of the low accuracy of the original Rosenfeld texture coarseness algorithm and the unstable rotation invariant of the results and at the same time in order to adapt to the need of extracting the roughness of the minority pattern and texture steadily and accurately at different angles, we propose an improved algorithm based on field mean difference and pattern of fractional quantization. It is proved that the fractional quantization accuracy is the highest. The rotation invariance of the improved algorithm is measured by calculating the variance of the texture roughness of a minority pattern at different angles. Combined with Brodatz texture image database and the Miao nationality embroidery pattern, it proves the rotation invariant through Matlab simulation experiment. The simulation shows that the improved algorithm has greatly improved in rotation invariant.

Key words: texture coarseness; rotation invariant; quantization precision; field mean difference; fractional quantization

0 引言

纹理是图像表面的一种固有属性,与其他的图像特征不同,虽然目前对纹理尚无正式准确的定义,但一般而言,如果一幅图像在局部区域表现为不规则性,但在图像的整体性上又表现为规律性,就将这幅图像所具有的这种图像特性称为纹理^[1]。纹理特征作为所有

图像固有的属性,尤为重要。Tamura 等^[2]提出了构成纹理视觉模型的6个纹理属性,分别是粗糙度、对比度、方向度、线性度、规则度和粗略度。而粗糙度是最重要、最基本的纹理特征^[3]。从狭义的观点来看,纹理就是粗糙度^[4]。

在少数民族图案中同样存在着各种各样的纹理基

收稿日期:2017-11-13

修回日期:2018-03-07

网络出版时间:2018-05-28

基金项目:国家自然科学基金(61662087);云南省教育科学研究基金(2016CYH03)

作者简介:张芝齐(1994-),男,硕士研究生,研究方向为图形图像技术;吴建平,通信作者,硕士,高级工程师,研究方向为多媒体、信息化技术。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20180525.1558.030.html>

元,许多科研工作者正致力于这些图案纹理特征的研究和分析,而最首要的就是纹理粗糙度,因此这些少数民族图案中的纹理粗糙度的数字化为图案纹理特征的研究和分析提供一种新的方式,同时也能更客观真实地表达这些少数民族图案的深刻内涵并提供相应的数据支撑。记载和传承这些少数民族图案的纹理特征,最重要的就是对粗糙度的数学表达。Rosenfeld 提出了最佳尺寸纹理粗糙度算法,该算法不但可以有效处理显微纹理图像,而且能克服粗糙度对对比度的依赖性^[5]。

但是,通过分析仍然能够发现该算法的不足之处。从该算法的计算过程中可以发现,在计算领域均值差值时会丢掉相当一部分图像信息,因此在不同角度对图像提取纹理粗糙度时其旋转不变性必然会受到影响,同时在选取最佳尺寸时的量化精度还不是最优。因此,文中主要基于旋转不变性对该算法进行改进,提出了一种新的领域均值差值的计算方法和一种新的量化方式。

1 Rosenfeld 纹理粗糙度算法

Rosenfeld 提出的基于最佳尺寸^[6]的纹理粗糙度算法是一种经典的纹理粗糙度算法,其计算结果较为符合人眼的视觉感受。

下面对其计算过程作如下介绍:

步骤一:对每一个像素,计算多尺寸领域均值。选取领域尺寸为 2 的幂次方,如 $2 \times 2, \dots, 32 \times 32$ 。采用的领域尺寸为 2 的幂次方加一,即 $(2^k + 1) \times (2^k + 1)$,其中 $k \geq 1$,像素的领域均值为:

$$A_k(x, y) = \sum_{i=x-2^{k-1}}^{x+2^{k-1}} \sum_{j=y-2^{k-1}}^{y+2^{k-1}} f(i, j) / (2^k + 1)^2 \quad (1)$$

其中, $f(i, j)$ 为像素 (i, j) 的灰度值。

步骤二:对每一个像素,计算在水平方向和垂直方向上关于当前像素对称的领域边缘像素的 2 个领域均值差值。计算公式分别为:

水平方向:

$$E_{k,h}(x, y) = |A_k(x + 2^{k-1}, y) - A_k(x - 2^{k-1}, y)| \quad (2)$$

垂直方向:

$$E_{k,v}(x, y) = |A_k(x, y + 2^{k-1}) - A_k(x, y - 2^{k-1})| \quad (3)$$

取水平和垂直两方向上的最大均值差值为当前像素的领域均值差值。

$$E_k(x, y) = \max(E_{k,h}(x, y), E_{k,v}(x, y)) \quad (4)$$

步骤三:对每一个像素,从多领域尺寸中确定一个最佳尺寸。

$$S_{\text{best}}(x, y) = \arg \min_k E_k(x, y) + 1 \quad (5)$$

使得

$$E_k = E_{\max} = \max(E_1, E_2, \dots, E_L) \quad (6)$$

其中, E 为领域均值差值; L 为领域尺寸个数,即为 k 。

步骤四:计算最佳尺寸 S_{best} 的平均值,作为灰度图像的纹理粗糙度。

$$C = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n S_{\text{best}}(i, j) \quad (7)$$

2 原纹理粗糙度算法的改进

2.1 领域均值差值的改进

从上述 Rosenfeld 纹理粗糙度计算过程中不难发现,步骤二中在计算某点的领域均值差值时其实只用到了关于该点对称的两个点的像素,其领域范围内的其他点都没有用到,这必然会忽略图像的一些信息。因此,针对上述算法中计算领域均值差值的缺陷性,提出了如下改进。

重新计算水平和垂直方向的领域均值差值,具体过程如下:

水平方向:

$$E_{k,h} = \sum_{i=1}^k |A_k(x + 2^i, y) - A_k(x + 2^i - 1, y)| / 2^k \quad (8)$$

如式 1 所示,在 $(2^k + 1) \times (2^k + 1)$ 的尺寸范围内,水平方向上相邻像素灰度值依次作差后取绝对值,则在上述尺寸范围内为 2^{k-1} 组个差值,将这 2^{k-1} 组个差值求和,然后再对其求平均作为新的水平方向的领域均值差值。

同理,垂直方向:

$$E_{k,v} = \sum_{i=1}^k |A_k(x, y + 2^i) - A_k(x, y + 2^i - 1)| / 2^k \quad (9)$$

将上述得到的水平和垂直方向的领域均值差值转入原 Rosenfeld 纹理粗糙度算法继续进行计算。

2.2 尺寸量化精度的提高

一般来说, Rosenfeld 算法有两种量化方式来选取领域尺寸,分别是指数量化和线性量化。原 Rosenfeld 纹理粗糙度算法是根据从不同尺寸中领域均值最大准则来确定最佳尺寸,然后其采用的是指数量化来选取领域尺寸^[7]。后面,相继有专家学者提出线性量化^[1,4-5]来改进原有的量化方式,使其量化精度得到提高。而文中提出一种分式量化,使其量化精度进一步提高,下面从理论上加以论证。

(1) 给出三种量化方式的数学表达。

指数量化:

$$S_E(n) = M^n + 1 \quad (10)$$

线性量化:

$$S_L(n) = M \times n + 1$$

(11)

分式量化:

$$S_F(n) = \frac{n}{M} + 1$$

(12)

其中, $n \geq 1, M \geq 2$ 。

(2) 三种量化方式的精度为:

指数量化精度:

$$\Delta S_E(n) = S_E(n + 1) - S_E(n) = M^{n+1} - M^n = M^n(M - 1)$$

(13)

线性量化精度:

$$\Delta S_L(n) = S_L(n + 1) - S_L(n) = M \times (n + 1) - M \times n = M$$

(14)

分式量化精度:

$$\Delta S_F(n) = S_F(n + 1) - S_F(n) = \frac{n + 1}{M} - \frac{n}{M} = \frac{1}{M}$$

(15)

所以,令 $C = M - 1 \geq 1$, 则

$$\Delta S_E(n) - \Delta S_L(n) = (M - 1)M^n - M = M[(M - 1)M^{n-1} - 1] = M[CM^{n-1} - 1]$$

(16)

由 $n \geq 1, CM^{n-1} - 1 \geq 0$, 则 $\Delta S_E(n) - \Delta S_L(n) \geq 0$, 即 $\Delta S_E(n) \geq \Delta S_L(n)$; 又, $\Delta S_L(n) - \Delta S_F(n) = M \times n - \frac{n}{M} = \frac{n(M^2 - 1)}{M} \geq 0$, 即 $\Delta S_L(n) \geq \Delta S_F(n)$ 。综上, $\Delta S_E(n) \geq \Delta S_L(n) \geq \Delta S_F(n)$ 。

从上述分析中看出, 分式量化的精度要高于线性量化, 线性量化要高于指数量化。

3 旋转不变性实验

3.1 Brodatz 纹理图像库的实验分析

Brodatz^[8-10] 纹理图像库作为一种标准的纹理图像库, 其实验结果具有较高的实验验证价值。将 $D_1 - D_{100}$

这 100 张图片分别用原 Rosenfeld 纹理粗糙度算法和改进后的 Rosenfeld 纹理粗糙度算法^[11-13]进行测试, 对这些图像从 0 度到 90 度每间隔 5 度进行旋转, 则一共为 19 个角度。为了防止旋转产生的黑边对实验结果产生的影响, 将以每幅图像的中心进行图像的截取, 最后形成 181×181 的实验图像进行旋转不变性验证实验, 并用每幅图像 19 个角度所计算出的纹理粗糙度的方差来衡量算法的旋转不变性的性能。结果显示, 用原算法得到的方差均远大于改进后算法得到的方差, 原算法最大方差为 5.018, 方差大于 1 的多达 22 幅图像, 平均方差为 0.658; 而改进后算法的最大方差为 1.657, 方差大于 1 的仅 1 幅图像, 平均方差为 0.153。从上述数据显示, 改进算法的旋转不变性得到了显著增强。

下面选取其中十张 (D_7 、 D_{38} 、 D_{44} 、 D_{60} 、 D_{68} 、 D_{77} 、 D_{85} 、 D_{88} 、 D_{89} 、 D_{92}) 从 0 度到 90 度每间隔 15 度进行旋转 (共 7 个角度) 并编号为 $P_1 - P_{10}$ (如图 1 所示), 大小为 181×181 有代表性的图像进行阐释。

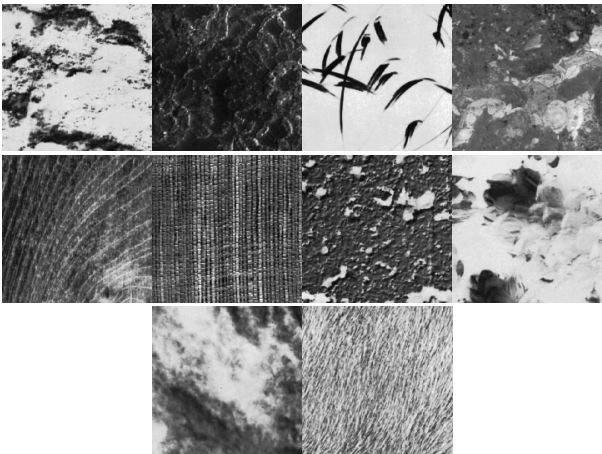


图 1 实验图像 $P_1 - P_{10}$ 计算结果如表 1 和表 2 所示。

表 1 原 Rosenfeld 算法的粗糙度 Brodatz 纹理图像计算结果

转角	0	15	30	45	60	75	90	var
P_1	21.867	22.403	24.417	25.812	25.586	24.308	21.880	2.873
P_2	17.618	21.439	23.559	23.161	22.102	20.456	17.554	6.009
P_3	21.402	18.682	18.410	17.633	19.632	21.707	21.376	2.764
P_4	22.337	21.453	21.189	18.044	17.047	20.953	22.360	4.395
P_5	19.424	15.534	14.327	14.868	16.536	17.237	19.428	4.250
P_6	14.019	16.922	18.765	15.840	14.646	14.328	13.936	3.257
P_7	15.054	17.841	19.137	16.952	15.863	15.165	15.093	2.532
P_8	25.562	24.108	22.953	22.258	22.287	25.684	25.565	2.463
P_9	26.436	24.054	23.983	22.783	21.531	22.666	26.436	3.538
P_{10}	15.851	17.350	14.923	13.830	16.430	18.645	15.851	2.468

表 2 改进后算法的粗糙度 Brodatz 纹理图像计算结果

转角	0	15	30	45	60	75	90	var
P ₁	12.973	12.178	13.780	13.843	15.256	14.133	13.330	0.932
P ₂	10.139	11.674	10.946	11.275	11.554	11.355	10.232	0.382
P ₃	15.371	13.625	12.721	12.226	12.834	13.702	14.086	1.096
P ₄	10.289	10.040	9.663	9.879	9.744	10.210	10.423	0.082
P ₅	9.578	9.640	9.668	9.537	9.524	9.548	9.616	0.003
P ₆	9.423	9.367	9.397	9.355	9.386	9.408	9.287	0.002
P ₇	10.061	10.865	11.167	10.431	10.184	10.218	10.098	0.181
P ₈	14.158	14.574	14.043	12.935	12.592	12.770	13.925	0.617
P ₉	11.869	12.020	12.475	11.274	10.835	10.904	11.320	0.372
P ₁₀	9.340	9.364	9.355	9.442	9.282	9.347	9.337	0.002

从表 1、表 2 可以看出,使用改进后的纹理粗糙度算法得到的结果在不同的角度更稳定,即旋转不变性得到了改进。

3.2 苗族刺绣图案的实验分析

苗族刺绣图案作为少数民族重要的历史文化遗产,对其图案纹理特征,尤其是纹理粗糙度的提取对于少数民族图案的检索和分类^[14-15]有着重要的意义。同时,通过提取的这些纹理粗糙度可以数字化地记载少数民族图案的符号特征,为更准确有效地分析少数民族图案的特征提供了有力的数据支撑,对少数民族文化的研究也具有十分重要的意义。下面通过 4 幅具有

代表性的苗族刺绣图案(mi₁-mi₄)进行描述(见图 2)。同样地,对这 4 幅苗族刺绣从 0 度到 90 度每间隔 15 度进行旋转(共 7 个角度),其大小也为 181×181 并灰度化,通过实验进一步验证改进后算法的旋转不变性得到增强。

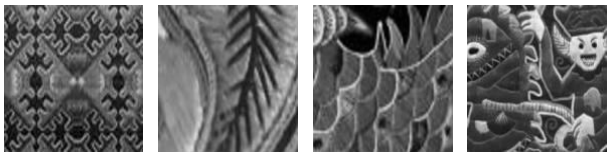


图 2 苗族刺绣图案 mi₁-mi₄
计算结果如表 3 和表 4 所示。

表 3 原 Rosenfeld 算法的粗糙度苗族刺绣图案计算结果

转角	0	15	30	45	60	75	90	var
mi ₁	15.485	18.054	17.734	17.346	17.799	18.266	15.491	1.398
mi ₂	20.856	22.616	24.000	24.578	23.282	22.446	20.840	2.079
mi ₃	17.965	20.475	18.330	17.505	16.354	18.012	17.981	1.522
mi ₄	19.353	17.033	15.550	16.309	15.159	17.812	19.378	2.910

表 4 改进算法的粗糙度苗族刺绣图案计算结果

转角	0	15	30	45	60	75	90	var
mi ₁	5.459	5.462	5.466	5.465	5.430	5.490	5.446	0.000
mi ₂	5.823	5.684	5.994	6.437	6.199	5.775	5.784	0.074
mi ₃	5.854	6.115	6.101	6.176	6.031	5.928	5.880	0.016
mi ₄	5.803	5.715	5.701	5.763	5.674	5.800	5.848	0.004

从表 3 和表 4 的测试结果中不难得出,改进算法对不同角度提取纹理粗糙度有更强的适应能力,在保留小数点后三位的情况下,对 mi₁ 这一图案的纹理粗糙的提取结果的方差可以直接为 0,从实际的应用图案中也可以进一步说明改进算法的旋转不变性更强。

4 结束语

从计算领数均值差值和尺寸量化方式改进了原

Rosenfeld 纹理粗糙度算法的旋转不变性和量化精度,并通过 Matlab 实验进行了相关数据的论证,证实了改进算法的旋转不变性确实得到了提高。通过少数民族图案中苗族刺绣的纹理粗糙度在不同角度的提取具有很高的旋转不变性,能够客观精确地表达相应的图案纹理特征,为少数民族图案纹理特征的研究提供了良好的技术支持,对少数民族图案这一历史文化遗产的

参考文献:

- [1] 熊永平,孙利民,牛建伟,等. 机会网络[J]. 软件学报, 2009,20(1):124-137.
- [2] CASTEIGTS A, FLOCCINI P, MANS B, et al. Measuring temporal lags in delay-tolerant networks[J]. IEEE Transactions on Computers, 2014, 63(2):397-410.
- [3] 乔震,刘光杰,李季,等. 移动自组织网络安全接入技术研究综述[J]. 计算机科学, 2013, 40(12):1-8.
- [4] 赵广松,陈鸣. 自私性机会网络中激励感知的内容分发的研究[J]. 通信学报, 2013, 34(2):73-84.
- [5] WU Jie, WANG Yunsheng. Social feature-based multi-path routing in delay tolerant networks[C]//Proceedings IEEE INFOCOM. Orlando, FL, USA; IEEE, 2012:1368-1376.
- [6] VAHDAT A, BECKER D. Epidemic routing for partially connected Ad hoc networks[R]. Durham, North Carolina: Duke University, 2000.
- [7] LINDGREN A, DORIA A, SCHELEN O. Probabilistic routing in intermittently connected networks[J]. ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, 2003, 7(3):19-20.
- [8] HUI Pan, CROWCROFT J, YONEKI E. Bubble rap: social-based forwarding in delay-tolerant networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2011, 10(11):1576-1589.
- [9] MTIBAA A, MAY M, DIOT C, et al. PeopleRank: social op-

- portunistic forwarding[C]//Proceedings IEEE INFOCOM. San Diego, CA, USA; IEEE, 2010:1-5.
- [10] 刘期烈,胡春风,朱德利,等. 机会网络节点兴趣社区检测及路由策略[J]. 北京邮电大学学报, 2014, 37(3):62-66.
- [11] MOREIRA W, MENDES P, SARGENTO S. Opportunistic routing based on daily routines[C]//Proceedings 2012 IEEE international symposium on a world of wireless, mobile and multimedia networks. San Francisco, CA, USA; IEEE, 2012:1-6.
- [12] 刘浩,陈志刚,张连明. 自私性移动 P2P 网络中节点激励策略研究[J]. 电子与信息学报, 2017, 39(8):1986-1992.
- [13] BIGWOOD G, HENDERSON T. IRONMAN: using social networks to add incentives and reputation to opportunistic networks[C]//Proceedings 2011 IEEE third international conference on privacy, security, risk and trust and 2011 IEEE third international conference on social computing. Boston, MA, USA; IEEE, 2011:65-72.
- [14] KERÄNEN A, OTT J, KÄRKKÄINEN T. The ONE simulator for DTN protocol evaluation[C]//Proceedings of the 2nd international conference on simulation tools and techniques. Rome, Italy; ICST, 2009:55-65.
- [15] KIM E H, LEE M K, CHO Y Z. Probability-based message forwarding scheme with buffer management for spray and wait routing protocol[J]. KIPS Transactions on Computer and Communication Systems, 2016, 5(7):153-158.

(上接第 68 页)

传承和发扬提供了一种有效的记载方式。下一步可以针对少数民族图案保存中图案的失真度较高和图案的记载信息庞大这一现状,通过对算法的抗噪性能及运算效率加以改进和提高来适应实际工程的应用。

参考文献:

- [1] 赵海英,徐光美,彭宏. 纹理粗糙度度量算法的性能比较[J]. 计算机科学, 2001, 38(6):288-292.
- [2] TAMURA H, MORI S, YAMAWAKI T. Textural features corresponding to visual perception[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1978, 8(6):460-473.
- [3] 刘伟成,孙吉红. 基于内容的图像信息检索综述[J]. 情报科学, 2002, 20(4):431-433.
- [4] 许元飞. 基于纹理的图像检索算法研究[J]. 西安科技大学学报, 2013, 33(4):471-474.
- [5] 孙兴华. 基于内容的图像检索研究[D]. 南京:南京理工大学, 2001.
- [6] 赵爱罡,王宏力,杨小冈,等. 纹理粗糙度在红外图像显著性检测中的应用[J]. 光学精密工程, 2016, 24(1):220-228.
- [7] 章毓晋,徐寅,刘忠伟,等. 通过抽取的特征进行图像检索的算法测试平台[J]. 中国图象图形学报, 2001, 6(5):

439-443.

- [8] BHARATI M H, LIU J J, MACGREGOR J F. Image texture analysis: methods and comparisons[J]. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 2004, 72(1):57-71.
- [9] 高源,宋辉,张志佳. 基于 Tamura 特征的虹膜结构密度计算方法[J]. 计算机技术与发展, 2016, 26(3):36-39.
- [10] PORAT M, ZEEVI Y. Localized texture processing in vision: analysis and synthesis in the Gaborian space[J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 1989, 36(1):115-129.
- [11] 刘丽,匡纲要. 图像纹理特征提取方法综述[J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(4):622-635.
- [12] OJALA T, PIETIKAINEN M, MAENPAA T. Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(7):971-987.
- [13] HARALICK R M, SHANMUGAM K, DINSTEN I H. Textural features for image classification[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1973, 3(6):610-621.
- [14] 胡海峰. 基于激光散斑图像的零件表面粗糙度测量[D]. 南京:南京信息工程大学, 2015.
- [15] 葛静祥. 图像纹理特征提取及分类算法研究[D]. 天津:天津大学, 2010.