

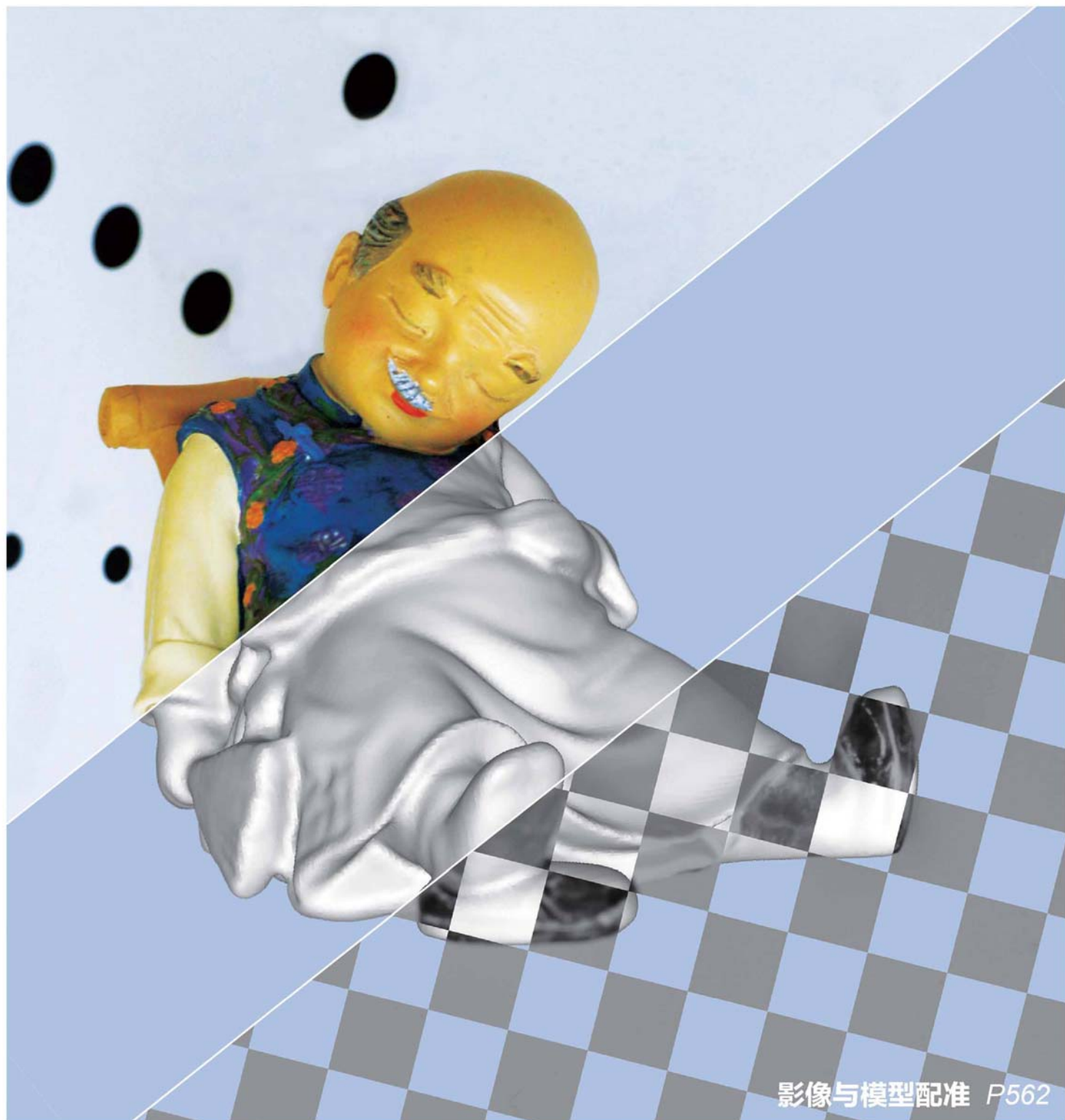


主办: 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

2014
04
VOL.19

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



影像与模型配准 P562



第19卷第4期（总第216期）

2014年4月16日

中国精品科技期刊
中国国际影响力优秀学术期刊
中国科技核心期刊

版权声明

凡向《中国图象图形学报》投稿，均视为同意在本刊网站及CNKI等全文数据库出版，所刊载论文已获得著作权人的授权。本刊所有图片均为非商业目的使用，所有内容，未经许可，不得转载或以其他方式使用。

Copyright

All rights reserved by Journal of Image and Graphics, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS. The content (including but not limited text, photo, etc) published in this journal is for non-commercial use.

主管单位 中国科学院

主办单位 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版《中国图象图形学报》编辑出版委员会

邮政信箱 北京9718信箱

邮 编 100101

电子信箱 jig@irsa.ac.cn

电 话 010-64807995

网 址 www.cjig.cn

广告经营许可证 京朝工商广字第0361号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

海外发行 中国国际图书贸易集团有限公司
(邮政信箱：北京399信箱 邮编：100048)

印刷装订 北京科信印刷有限公司

Journal of Image and Graphics

Title inscription: Song Jian

Monthly, Started in 1996

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS
China Society of Image and Graphics

Institute of Applied Physics and Computational Mathematics

Editor-in-Chief LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of
Image and Graphics

P.O.Box 9718, Beijing, P.R.China

Zip code 100101

E-mail jig@irsa.ac.cn

Telephone 010-64807995

Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Overseas China International Book Trading Corporation
(P.O.Box 399, Beijing 100048, P.R.China))

Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

CN 11-3758/TB

ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

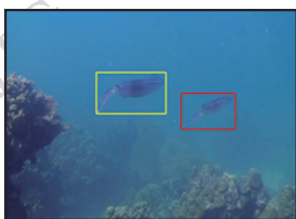
国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

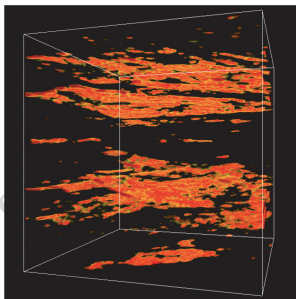
国内定价 50.00元



面泊松融合结合色彩变换的无缝纹理辐射处理(第512页)



融合视觉深度的特征计算与水下目标跟踪(第534页)



针对全空子数据体的GPU体绘制(第577页)

图像处理和编码

- 梯度矢量扩散控制实现边缘保持的彩色图像去噪
贾迪, 孟祥福, 张一飞, 董娜, 李思慧 0493
- 联合矩阵F范数的低秩图像去噪
刘新艳, 马杰, 张小美, 胡钊政 0502
- 面泊松融合结合色彩变换的无缝纹理辐射处理
周漾, 郑顺义, 黄荣永, 马电 0512
- 改进的局部方向模式纹理表示方法
刘海军, 常东超, 张凌宇 0520
- 图像插值空间大容量可逆数字水印算法
王继军 0527

图像分析和识别

- 融合视觉深度的特征计算与水下目标跟踪
王慧斌, 程勇, 陈哲 0534
- 融合颜色属性和空间信息的显著性物体检测
徐丹, 唐振民, 徐威 0541
- 采用人工鱼群的改进广义Hough变换目标定位
李志, 谢强 0549
- 非规则弯曲形变的不变量表示
李国祥, 夏国恩 0556

图像理解和计算机视觉

- 小物体3维重建中影像与几何模型的配准
郑顺义, 王晓南 0562
- 像素聚类改进二进制描述子鲁棒性
惠国保, 李东波 0569

计算机图形学

- 针对全空子数据体的GPU体绘制
李国和, 段忠祥, 吴卫江, 洪云峰, 刘智渊, 程远 0577

医学图像处理

- 基于无损水印的医学图像篡改检测和质量恢复
邓小鸿, 陈志刚, 毛伊敏 0583

遥感图像处理

- 特征点和不变矩结合的遥感图像飞机目标识别
曾接贤, 付俊, 符祥 0592
- 结合稀疏识别的自适应Wallis滤波在高分辨率影像控制点匹配中的应用
耿蕾蕾, 孙权森, 纪则轩, 刘佑鑫, 袁凯 0603

第9届和谐人机环境联合学术会议专栏

- 局部特征点的3维模型变换域水印算法
张建明, 周小梅, 王新宇, 詹永照 0613
- 足球视频搜索引擎中的用户偏好挖掘
胡雨成, 于俊清, 黄贤强, 何云峰, 管涛 0622
- 随机亮度差量化的二进制特征描述
庄东晔, 张冬明, 张勇东, 李锦涛 0630
- L_1 优化在网格去噪中的应用
王鹏, 王胜法, 曹俊杰, 李楠楠, 李波, 苏志勋 0637
- 多视点视频双向实时转码技术的设计与实现
孙立峰, 蔡飞飞, 杨士强 0645

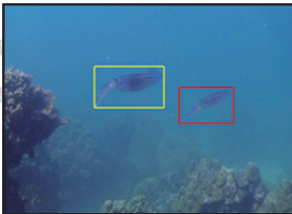
- 第五届数字地球高峰论坛征文通知 封三

CONTENTS

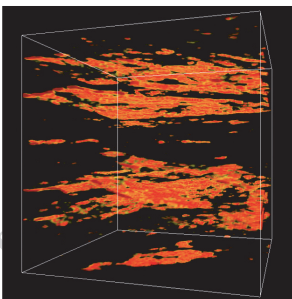
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Face-wise Poisson blending with color transfer in seamless texturing(P512)



Visual depth based feature calculation and underwater target tracking(P534)



GPU-based volume rendering for full-empty subdata blocks(P577)

Image Processing and Coding

Edge preserving denoising of color image through controlling the gradient vector Jia Di, Meng Xiangfu, Zhang Yifei, Dong Na, Li Sihui	0493
Image denoising of low-rank matrix recovery via joint Frobenius norm Liu Xinyan, Ma Jie, Zhang Xiaomei, Hu Zhaozheng	0502
Face-wise Poisson blending with color transfer in seamless texturing Zhou Yang, Zheng Shunyi, Huang Rongyong, Ma Dian	0512
Improved local directional pattern texture descriptor Liu Haijun, Chang Dongchao, Zhang Lingyu	0520
High capacity reversible watermarking for image interpolation space Wang Jijun	0527

Image Analysis and Recognition

Visual depth based feature calculation and underwater target tracking Wang Huibin, Cheng Yong, Chen Zhe	0534
Combining color names with spatial information for salient object detection Xu Dan, Tang Zhenmin, Xu Wei	0541
Improved generalized Hough transform using artificial fish swarm algorithm in target location Li Zhi, Xie Qiang	0549
The global descriptor for bending non-rigid shapes Li Guoxiang, Xia Guoen	0556

Image Understanding and Computer Vision

Images and geometric model registration in 3D reconstruction of small objects Zheng Shunyi, Wang Xiaohan	0562
Robust descriptor structured by pixel clustering Hui Guobao, Li Dongbo	0569

Computer Graphics

GPU-based volume rendering for full-empty subdata blocks Li Guohe, Duan Zhongxiang, Wu Weijiang, Hong Yunfeng, Liu Zhiyuan, Chen Yuan	0577
--	------

Medical Image Processing

Lossless watermarking algorithm for medical image's tamper detection and recovery with high quality Deng Xiaohong, Chen Zhigang, Mao Yimin	0583
---	------

Remote Sensing Image Processing

Aircraft target recognition in remote sensing images based on distribution of the feature points and invariant moments Zeng Jiexian, Fu Jun, Fu Xiang	0592
Adaptive enhancement via sparse recognition for automatic control point extraction in high-resolution images Geng Leilei, Sun Quansen, Ji Zexuan, Liu Jixin, Yuan Kai	0603

Special Issue on HHME 2013

Transform domain watermarking scheme of 3D models based on local feature points Zhang Jianming, Zhou Xiaomei, Wang Xinyu, Zhan Yongzhao	0613
User preference mining for soccer video search engine Hu Yucheng, Yu Junqing, Huang Xianqiang, He Yunfeng, Guan Tao	0622
Novel binary feature from intensity difference quantization Zhuang Dongye, Zhang Dongming, Zhang Yongdong, Li Jintao	0630
The application of l_1 -optimization in mesh denoising Wang Peng, Wang Shengfa, Cao Junjie, Li Nannan, Li Bo, Su Zhixun	0637
The design and implementation of real time MVC transcoding Sun Lifeng, Cai Feifei, Yang Shiqiang	0645

中图法分类号: TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2014)04-0520-07

论文引用格式: 刘海军, 常东超, 张凌宇. 改进的局部方向模式纹理表示方法[J]. 中国图象图形学报, 2014, 19(4): 520-526. [DOI:10.11834/jig.20140404]

改进的局部方向模式纹理表示方法

刘海军^{1,2,3}, 常东超³, 张凌宇³

1. 南京大学计算机软件新技术国家重点实验室, 南京 210023;
2. 北京市轻纺机械机器视觉工程技术研究中心, 北京 100176;
3. 辽宁石油化工大学计算机与通信工程学院, 抚顺 113001

摘要: 纹理是描述和区分不同物体的重要特征之一, 纹理特征提取一直是模式识别、机器视觉领域的研究热点。局部方向模式(LDP)是一种分辨性好、对随机噪声和非均匀光照鲁棒的纹理特征。而 LDP 特征由于计算 8 方向的边缘响应并排序, 提取速度较慢。为此对 LDP 编码方案进行改进。**方法** 设计了两种改进方案: 第 1 种方案直接对 8 方向的边缘响应符号进行编码, 避开排序, 称为 FLDP (fast local directional pattern) 特征; 第 2 种方案, 尝试使用较少的方向模板来降低特征提取的时间、空间消耗, 设计了 MLDP 算子 (mini local directional pattern)。**结果** 在 Brodatz 数据集的 24 类均匀纹理图像以及 111 类全部纹理图像上将本文提出的 FLDP 特征、MLDP 特征与传统的 LDP 进行了对比实验。实验结果表明, 在保证分类准确率的前提下, FLDP 算子的运算速度是 3th-LDP 的 20 倍左右, MLDP 算子的运算速度是 3th-LDP 的 35 倍左右。**结论** 论文设计了 2 种方案改进了 LDP 特征, 分别为 FLDP 算子和 MLDP 算子。实验结果表明, 这两种改进方案, 在保证分类准确率的同时, 大幅度提高了特征提取运算速度。

关键词: 纹理分类; 局部方向模式; 纹理特征; 局部二值模式

Improved local directional pattern texture descriptor

Liu Haijun^{1,2,3}, Chang Dongchao³, Zhang Lingyu³

1. State Key Laboratory for Novel Software Technology at Nanjing University, Nanjing 210023, China;
2. Beijing Light Machinery and Textile Machinery Engineering Research Center for Machine Vision, Beijing 100176, China;
3. School of Computer and Communication Engineering, Liaoning Shihua University, Fushun 113001, China

Abstract: Objective Texture is an important feature for describing different kinds of materials. Texture feature extraction is a hot topic in pattern recognition and computer vision research fields. LDP descriptor is a discriminative texture feature which is more robust to random noise and non-monotonic illumination variation than LBP. However, the LDP descriptor is much slow for calculating and sorting edge responses of 8 directions. To solve this problem, we improve the LDP coding method. **Method** We propose two improved methods. The first one adapts the same edge templates as LDP but uses a different coding scheme without sorting, which we called FLDP (fast local directional pattern). The second method uses less edge templates to construct short descriptor in order to reduce time and storage consumption of the feature, which we called MLDP (mini local directional pattern). **Result** We present experimental results on the Brodatz full set and Brodatz subset. Both show that the FLDP descriptor is 19 times faster than the LDP and the MLDP descriptors are 34 times faster with

收稿日期: 2013-07-15; 修回日期: 2013-12-25

基金项目: 国家自然科学基金项目 (61173068)

第一作者简介: 刘海军 (1978—), 女, 辽宁石油化工大学计算机与通信工程学院教师, 南京大学计算机科学与技术系与北京经纬纺机新技术有限公司联合培养博士后, 主要研究方向为机器学习。E-mail: liuhaijun6741@163.com

even better performance. **Conclusion** Two methods are presented in this paper, FLDP and MLDP, to improve the LDP. Experiments show that these two improved descriptors cost much less time with even better performance than the LDP.

Key words: texture classification; local directional pattern; texture feature; local binary pattern

0 引言

纹理分类是图像处理领域一个经久不衰的热点研究领域^[1]。目前流行的纹理分类主要有两种方法:一种是基于局部特征的方法,该方法主要基于texton的框架^[2],也就是现在图片分类的bag-of-words(BOW)框架。该框架中,首选提取纹理图像的纹理基元,然后应用kmeans聚类生成字典,然后图像在字典上投影,构建直方图,作为全局特征,之后应用KNN(k-nearest neighbor)或SVM(support vector machine)等分类模型进行分类。最初,普遍采用filter bank提取局部特征作为纹理基元。近年来,直接用image patch作为纹理基元,为纹理分类提供一个全新思路^[3]。在此基础上,刘丽等人^[4]采用随机投影对image patch进行了降维。此外,局部描述子也可以作为纹理基元,用于描述纹理。可用于该框架的局部描述子有SIFT^[5]、SURF(speeded up robust features)^[6]、FAST(features from accelerated segment test)、BRIEF(binary robust independent elementary features)、GLOH(gradient location and orientation Histogram)等。

纹理分类的第2类方法是基于全局特征的方法。目前最简单、最有效的全局特征是局部二值模式(LBP)。LBP方法通过比较像素与其邻域内像素的关系来进行二值编码,进而将编码的直方图作为图像的LBP特征。LBP特征有很多变种,如统一化LBP、分块LBP、POEM特征^[7]、LDP特征(Local directional pattern)^[8]、LTP(local ternary pattern)特征^[9]等。其中,POEM(patterns of oriented edge magnitudes)特征^[7]是将HOG(histogram of oriented gradients)与LBP结合起来,对局部区域各个方向patch内的梯度变化信息进行编码,在人脸识别中取得了不错的效果。LTP特征^[9]采用了三值编码方案。

纹理特征提取是纹理分类的关键环节,其中LBP族方法以其提取速度快、分辨性好受到研究者的广泛关注^[7-9]。LBP按邻域像素的灰度关系进行编码,而灰度值很容易受随机噪声、非单调光照变化等的影响,进而影响分类的准确性。为了解决这一

问题,Jabid等人提出对像素邻域8个方向的边缘响应编码构造描述子,称为LDP^[8]。LDP在一定程度上增强了抗随机噪声、非单调光照变化的干扰能力,然而由于在构造描述子时要进行8个方向的卷积与排序,算法的时间消耗较大。目前在机器视觉的诸多应用领域中,迫切需要提取速度快且分辨性好的特征。基于此,本文设计了两种方案:

1)采用与LDP相同的边缘模板,修改编码规则,设计快速的LDP算子FLDP(Fast LDP)。

2)设计4方向的边缘模板,同时改变LDP的编码方案,设计短小的LDP算子MLDP(Mini LDP)。

论文在Brodatz数据集的24类均匀纹理图像以及111类全部纹理图像上,将本文算法与标准的LDP算子进行了对比试验。实验结果表明,本文算法在保证分类准确率的情况下,运算速度大幅度提高。

1 LDP描述子

局部方向模式(LDP)^[8]是Jabid等人针对LBP对随机噪声及非单调光照变化敏感问题提出的改进方案。

LDP采用了Kirsch模板来计算图像8个方向的边缘,并对边缘响应绝对值排名前 n 的响应编码为1,其余编码为0,然后生成LDP响应图像,其直方图作为LDP特征^[8]。例如,生成3th-LDP描述子的时候只对绝对值排名前3的位置编码为1,其余5位编码为0。Kirsch模板为

$$\begin{aligned} M_0 &= \begin{bmatrix} -3 & -3 & 5 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & -3 & 5 \end{bmatrix} & M_1 &= \begin{bmatrix} -3 & 5 & 5 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & -3 & -3 \end{bmatrix} \\ M_2 &= \begin{bmatrix} 5 & 5 & 5 \\ -3 & 0 & -3 \\ -3 & -3 & -3 \end{bmatrix} & M_3 &= \begin{bmatrix} 5 & 5 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ -3 & -3 & -3 \end{bmatrix} \\ M_4 &= \begin{bmatrix} 5 & -3 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ 5 & -3 & -3 \end{bmatrix} & M_5 &= \begin{bmatrix} -3 & -3 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ 5 & 5 & -3 \end{bmatrix} \\ M_6 &= \begin{bmatrix} -3 & -3 & -3 \\ -3 & 0 & -3 \\ 5 & 5 & 5 \end{bmatrix} & M_7 &= \begin{bmatrix} -3 & -3 & -3 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & 5 & 5 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

LDP 算子只对边缘响应绝对值排名前 n 位的方向编码为 1, 而梯度排名前 n 位的方向不太可能由于噪声的影响改变位置, 因此 LDP 具有一定抗噪性^[8]。然而, LDP 算子需要计算 8 个方向的边缘响应, 并且编码之前需要对边缘响应进行排序, 因此会有较大的时间消耗。

2 改进的 LDP 算子

针对 LDP 特征提取时间较慢问题, 论文设计了 2 种改进方案: FLDP 和 MLDP。

2.1 快速的 LDP 算子 (FLDP)

仍然采用 Kirsch 边缘模板, 为了提高运算速度, 直接按边缘响应的符号编码, 即正的边缘响应编码为 1, 负的边缘响应编码为 0, 论文称之为 FLDP 算子。

构建 FLDP 算子的步骤如下:

1) 计算方向边缘响应。将图像分别与 8 个方向的 Kirsch 边缘模板 (如图 1 所示) 卷积, 得到 8 个边缘响应矩阵 $M_0, M_1, \dots, M_7$ 。

2) 构造编码图像。对于图像中的每个像素, 构造 8 位 FLDP 描述子。FLDP 是长度为 8 的二进制串, 其第 i 位为 1 表示像素在该方向的边缘响应为正, 第 i 位为 0 表示像素在该方向的边缘响应为负。将该二进制串的十进制值作为编码图像的灰度值。

3) 提取图像 FLDP 特征。将上述编码图像的直方图作为原图像的 FLDP 特征。

2.2 短小的 LDP 算子 (MLDP)

LDP 采用了 8 个方向的 Kirsch 模板作为计算边缘响应的模板, 而实际中, 对于大多数问题来说, 4 个方向的边缘已包含足够分类的信息, 因此论文尝试采用 4 个方向的边缘响应, 适当修编编码方案来达到抗噪效果。

1) 边缘模板方案。边缘模板的选择方案很多, 本文设计了 3 组实验 Exp1、Exp2、Exp3, 来比较不同的边缘模板下 MLDP 特征性能。分别选择了目前常用的 3 种梯度模板: Prewitt 算子、Sobel 算子、Roberts 算子, 并对其略加改进以计算 4 个方向的边缘响应。

方案 1: Prewitt 方案

标准的 Prewitt 算子如 T_1, T_3 , 只能计算两个方向的边缘响应, 为了计算 4 个方向, 本文将 Prewitt 算子旋转, 得出 T_2, T_4 。最终 Exp1 - Prewitt 方案的 4 个边缘模板为

$$T_1 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad T_2 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_3 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad T_4 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

方案 2: Sobel 方案

标准的 Sobel 算子为 T_1, T_3 , 扩充后的 Sobel 为

$$T_1 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad T_2 = \begin{bmatrix} -2 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \end{bmatrix}$$

$$T_3 = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad T_4 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \\ -2 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

方案 3: Roberts 方案

水平梯度与垂直梯度采用中心梯度模板, 如 T_1, T_3 , 对角梯度模板选择 Roberts 算子, 如 T_2, T_4 , 具体为

$$T_1 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad T_2 = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_3 = T_1^T \quad T_4 = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

2) MLDP 特征提取。设计了方向梯度模板方案之后, 接下来就可以构造 MLDP 特征。构造方法主要分为两步。首先将图像与方向梯度模板卷积得到边缘响应, 然后对边缘响应进行二进制编码, 构造 MLDP 图像, 则 MLDP 图像的直方图就是原图像的 MLDP 特征。

论文设计了 3 组实验, 采用不同边缘模板来构造 MLDP 特征。在每组实验中, 将图像 I 分别与相应的 4 个模板进行卷积, 则每幅图像会产生 4 个滤波响应, 即

$$R_k = T_k * I, k = 1, 2, 3, 4 \quad (1)$$

R_k 为图像 I 在第 k 个模板 T_k 下的滤波器响应。

根据图像在 4 个滤波器上的响应符号进行二值编码, 构造图像局部描述子, 具体方法是对于图像中的像素 I_{ij} , 其对应的局部描述子为

$$D_{ij} = \sum_{k=1}^4 2^{k-1} S_k(i, j) \quad (2)$$

式中

$$S_k(i, j) = \begin{cases} 0 & R_k(i, j) < 0 \\ 1 & R_k(i, j) \geq 0 \end{cases} \quad (3)$$

为了克服噪声的影响, 生成更鲁棒的描述子, 在

编码时采用阈值 t , 此时式(3)升级为

$$S_k(i, j) = \begin{cases} 0 & R_k(i, j) < t \\ 1 & R_k(i, j) \geq t \end{cases} \quad (4)$$

将图像卷积结果按照式(2)(3)或式(2)(4)进行编码, 会得到与原图像尺寸一致的 MLDP 图

像, 其直方图作为原始图像的 MLDP 特征。由于在构建 MLDP 图像时采用编码的方向有 4 个, 因此 MLDP 图像中像素的取值有 16 种, 故而生成的 MLDP 特征维数是 16 维。生成 MLDP 特征的流程如图 1 所示。

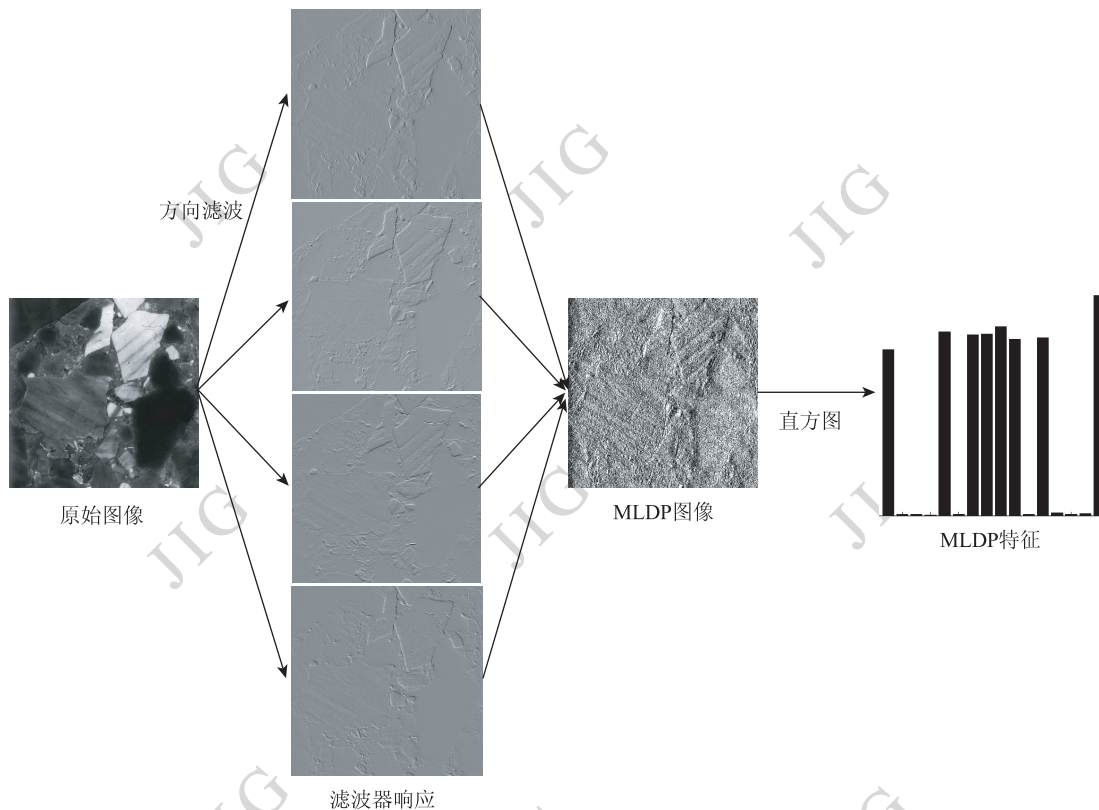


图 1 MLDP 特征的生成流程

Fig. 1 Overview of extracting the MLDP feature from an image

3 分类器

文献[2]提出了一个纹理分类的框架, 被研究者广泛采用。该框架的基本思想是提取局部描述子, 聚类构建纹理字典, 在字典上构建直方图计算图像统计特征, 使用最近邻分类器进行分类。本文也是基于该框架, 只是将 MLDP 响应值所有可能情况都作为字典元素(共 16 种), 省去了聚类构建纹理字典的环节。

使用最近邻分类器进行纹理分类时, 相似性度量方法的选择是分类的关键。由于 MLDP 采用直方图作为特征, 而衡量直方图之间相似性的常见方法有 L_p 距离、KL 距离、 χ^2 距离等。文献[10]中分析了 3 种距离的纹理分析能力, 实验结果表明 χ^2 距离具备较好的区分能力和较小的计算代价。因此这里

采用 χ^2 统计距离来衡量直方图之间的距离, 即

$$\chi^2(p, q) = \sum_i \frac{(p_i - q_i)^2}{p_i + q_i} \quad (5)$$

式中, p, q 是图像的特征向量, 也就是直方图向量。

4 实验

4.1 实验环境

对第 2 节中提出的 FLDP 特征及 3 种 MLDP 特征与标准的 LDP 进行对比实验。实验在 2 个数据集上进行。

数据集 1 为 Brodatz 均匀纹理图像集。采用 Brodatz 数据集中的 24 类均匀纹理图像^[4], 测试几种描述子对均匀纹理的描述能力。实验中采用的均匀纹理图像如图 2 所示。

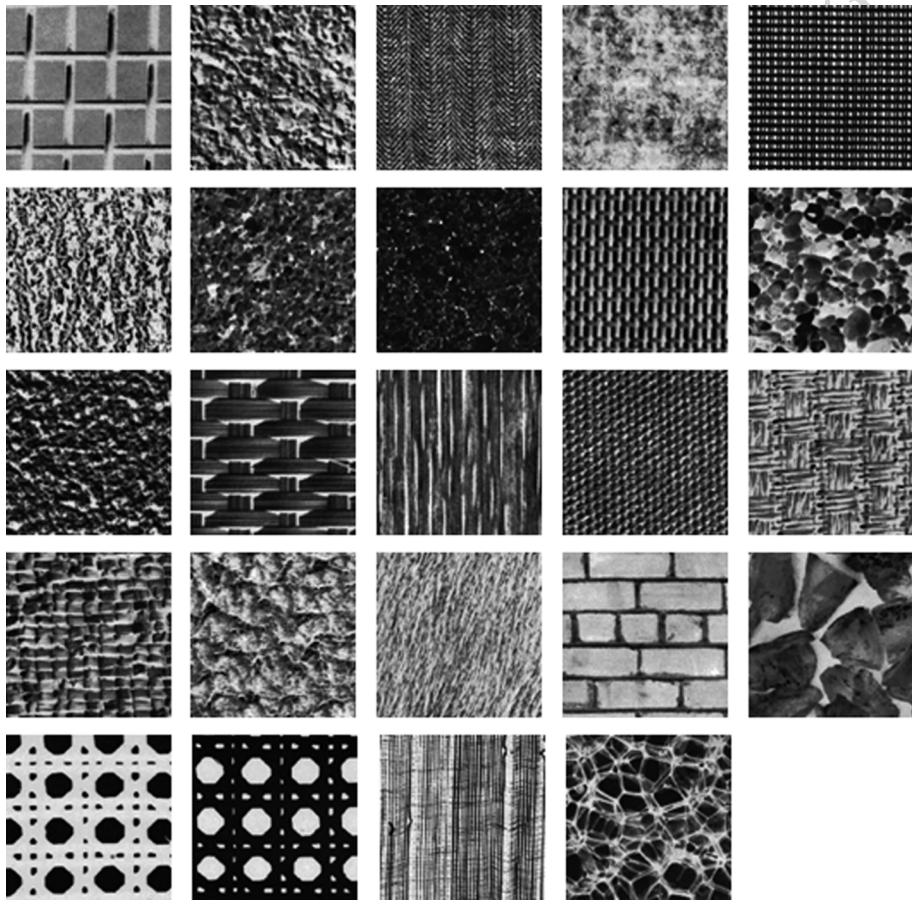


图2 数据集1中选择的图像
Fig. 2 Image used as dataset 1

数据集2为Brodatz全集^[11]。将111类Brodatz纹理图像全集作为数据集2,以测试算法在任意纹理上的描述能力。

数据集1与数据集2中,原始图像大小为640×640。实验时,将每幅图像不重叠分割成25幅128×128图像。然后,将每类的25幅图像等分为5份,每次将一份作为测试集,其余4份作为训练集,循环做5次实验,即5-CV。采用最近邻分类器进行分类,距离函数为式(5)所示的 χ^2 距离。

实验硬件环境:处理器 Intel Core(TM) i5-2410,主频 2.3 GHz,内存 2 G。

实验软件环境: Windows 7 Professional, Matlab R2011b。

4.2 实验结果及分析

实验结果如表1和表2所示。LDP选取了3个参数($n=3,4,5$)。

4.2.1 FLDP与LDP

FLDP与LDP均采用Kirsch模板来计算边缘响

应,差异在于编码方式不同,参见2.1节。数据集上的实验结果如表1所示,其中3th-LDP表示构建LDP算子时参数 $n=3$ 。

表1 数据集上LDP与FLDP实验结果对比			
Table 1 Comparison of FLDP and LDP on datasets			
数据集	描述子	准确率/%	时间/s
1 (24类)	3th-LDP	99.00	861
	4th-LDP	99.00	983
	5th-LDP	98.33	1 352
	FLDP	99.67	39
	MLDP($t=8$)	100	24
2 (111类)	3th-LDP	87.28	6 472
	4th-LDP	87.39	6 549
	5th-LDP	87.52	7 315
	FLDP	90.09	355
	MLDP($t=8$)	89.41	198

从表1可以看出,与常规的LDP算子相比,本

文的 FLDP 算子分类性能相当于甚至优于 LDP, 而运算速度大幅度提高。

4.2.2 MLDP 与 LDP

FLDP 改变了编码方式之后, 在保证识别率的前提下, 运算速度与 LDP 相比大幅度提高, 然而, 构建 FLDP 仍需要编码 8 个方向的边缘响应。大量的模板运算时间、空间消耗均较大。为此, 尝试用 4 个方向的边缘响应来描述纹理, 构建短小的 LDP 算子, 即 MLDP。设计 3 种 4 方向边缘模板方案: Prewitt 方案、Sobel 方案及 Roberts 方案。MLDP 构建方案参考 2.2 节。

1) MLDP 边缘模板的选择。表 2 给出了编码阈值 $t = 0$ 时, 采用 3 种边缘方案构建的 MLDP 分类效果, 其中 t 为构建 MLDP 的阈值。数据集 1 和数据集 2 的结果均表明, 基于 Roberts 模板的 MLDP 算子具有较强的分辨能力, 因此将其作为最终构造 MLDP 特征的边缘模板。

表 2 3 种边缘模板下 MLDP 分类准确率对比 ($t = 0$)

Table 2 Comparison of MLDPs based on three different edge templates ($t = 0$)

模板	数据集 1/%	数据集 2/%
Prewitt	92	64.94
Sobel	91.83	64.36
Robert	99.33	85.15

2) MLDP 编码阈值的影响。构建 MLDP 算子, 编码阈值是一个重要参数, 大于阈值的边缘响应被认为是对分类重要的边缘, 将其编码为 1, 小于阈值的边缘响应被认为是对分类不重要的边缘, 将其编码为 0。在数据集 2 (Brodatz 全集) 上进行实验, 分析阈值的选择与分类准确率的关系, 实验结果如图 3 所示。从图 3 可以看出, 适当的阈值确实可以提升分类的效果, 然而随着阈值的增加, 提取特征时放

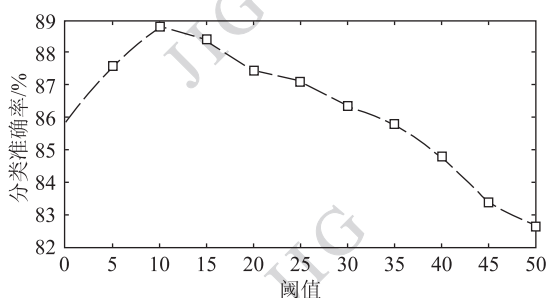


图 3 MLDP 阈值对分类的影响

Fig. 3 Relationship between threshold and classification accuracy

弃的信息增多, 分类准确率将下降。实验中, 分类阈值选择为 8。

3) MLDP 与 LDP、FLDP 对比。LDP 与 FLDP 均利用 8 个方向的边缘信息来描述纹理, 其中 FLDP 改进了编码方案而大幅度提高了运算速度。然而由于构建 FLDP 特征需要计算 8 个方向的边缘响应, 时间和空间消耗依然很大。本文另一种改进方案是采用 4 方向边缘来构建纹理特征。为了验证 4 方向的 MLDP 性能, 将 MLDP 与 LDP、FLDP 做了对比实验。实验结果如表 1 所示。其中 MLDP 采用 Robert 模板, 编码阈值 $t = 8$ 。

从表 1 可以看出, 在分类性能上, 仅仅应用 4 个方向边缘信息的 MLDP 算子在两个数据集上的分类性能与 8 方向的 FLDP 相当, 优于同样是 8 方向的 LDP; 在运算速度上, 4 方向的 MLDP 具有明显的优势。MLDP 运算速度是 LDP 的 30 多倍。此外, 由于 MLDP 采用较少的模板运算, 也大大减少了算法的空间消耗。

MLDP 采用 4 个方向的边缘编码, 却达到了比 LDP 8 个方向编码更高的准确率。分析其原因, 在于 LDP 在编码方案时, 只对绝对值排序前 n 位的边缘响应编码为 1, 认为排于前 n 位的边缘响应才是“重要的”。这一方面, 虽然可以抑制一部分噪声, 但是同时也损失了大量的信息。此外, 在图像平滑区域, 图像各个方向的梯度均不大, 此处, 图像微小的变动, 都会影响到排序的顺序, 进而影响到 LDP 描述子。而本文采用阈值进行编码, 认为只有边缘响应达到了一定程度 (阈值), 才是重要的, 只对达到一定程度的边缘编码为 1。实验结果表明, 采用阈值编码更具合理性。

5 结 论

论文设计了两种 LDP 算子改进方案。第 1 种方案, 只改变 LDP 编码方案, 设计了 FLDP 算子。第 2 种方案, 在 FLDP 基础上, 减少了边缘模板数量, 设计了 MLDP 算子。论文在 Brodatz 均匀纹理图像 (24 类) 和 Brodatz 全集 (111 类) 上将本文的两种特征与 LDP 进行对比实验, 实验结果表明, 本文的 FLDP、MLDP 算子在保证分类准确率的前提下, 大大提高了运算速度。

论文中的描述子目前暂不具备旋转不变和尺度不变的特性, 这将是以后的研究方向。

参考文献 (References)

- [1] Liu L, Kuang G Y. Overview of image textural feature extraction methods [J]. Journal of Image and Graphics, 2009, 14(4): 622-635. [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.]
- [2] Leung T, Malik J. Representing and recognizing the visual appearance of materials using three-dimensional textons [J]. Computer Vision, 2001, 43(1): 29-44.
- [3] Varma M, Zisserman A. A statistical approach to material classification using image patch exemplars [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2009, 31(11): 2032-2047.
- [4] Liu L, Fieguth P W. Texture classification from random features [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2012, 34(3): 574-586.
- [5] Lowe D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints [J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110.
- [6] Bay H, Tuytelaars T, Van L, et al. SURF: speeded up robust features [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2008, 110(3): 346-359.
- [7] Vu N S, Caplier A. Face recognition with patterns of oriented edge magnitudes [C] // Proceedings of the 11th European Conference on Computer Vision: Part I. Crete, Greece: Springer Press, 2010: 313-326.
- [8] Jabid T, Kabir M H, Chae O S. Local directional pattern (LDP) for face recognition [C] // Proceedings of the IEEE International Conference on Consumer Electronics. Las Vegas, Nevada, USA: IEEE Press, 2010: 329-330.
- [9] Tan X Y, Triggs B. Enhanced local texture feature sets for face recognition under difficult lighting conditions [C] // Proceedings of the IEEE International Workshop on Analysis and Modeling of Faces and Gestures. Rio de Janeiro, Brazil: Springer Press, 2007: 168-182.
- [10] Shao Z F, Li D R, Zhu X Q. A multi-scale and multi-orientation image retrieval method based on rotation-invariant texture features [J]. Science China Information Sciences, 2011, 41(3): 283-296. [邵振峰, 李德仁, 朱先强. 基于旋转不变纹理特征的多尺度多方向图像渐进检索 [J]. 中国科学: 信息科学, 2011, 41(3): 283-296.]
- [11] Brodatz P. Textures: A Photographic Album for Artists and Designers [M]. New York: Dover Publications, 1966.