



JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

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

2013

07

VOL.18

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB





第18卷第7期 (总第207期)

2013年7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。所有内容, 未经许可, 不得转载或以其他方式使用。本刊所有图片均为非商业目的使用。

Copyright

2013 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 010-82614429

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

国外发行 中国国际图书贸易总公司

(中国国际书店, 邮政信箱: 北京399信箱 邮编: 100044)

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 010-82614429

Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Foreign China International Book Trading Corporation
(P.O.Box 399, Beijing 100044, P.R.China)

Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

CN 11-3758/TB

ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

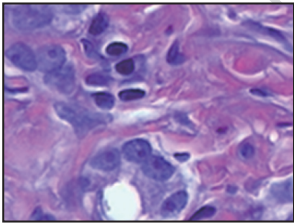
国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

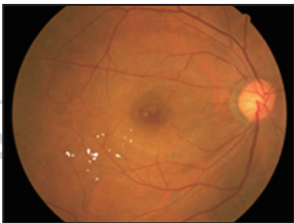
国内定价 50.00元



彩色纹理图像恢复的非局部TV模型 (第753页)



基于Nyström密度值逼近的减法聚类 (第790页)



RBF神经网络和阈值分割实现视网膜硬性渗出自动检测 (第859页)

图像处理和编码

各向异性的均衡化网状扩散模型 熊辉, 赖剑煌	731
特征提取和匹配的图像倾斜校正 钟金荣, 杜奇才, 刘炎, 林嘉宇	738
先进边界区分噪声检测的改进算法 祁冰露, 黄宴委, 陈少斌	746
彩色纹理图像恢复的非局部TV模型 端金鸣, 潘振宽, 台雪成	753
相似性约束的视频超分辨率重建 张义轮, 干宗良, 朱秀昌	761

图像分析和识别

低质量指纹图像方向场提取 卞维新, 徐德琴, 俞庆英	768
方向微分分块统计的运动模糊方向鉴别 李均利, 储诚曦	776
参数自适应的KPCA先验形状约束目标分割 沈霁, 李元祥, 周则明	783
基于Nyström密度值逼近的减法聚类 孙志海, 孔万增	790
空间目标检测序列图像中恒星目标抑制 黄宗福, 孙刚, 陈曾平	799

图像理解和计算机视觉

人体动作的超兴趣点特征表述及识别 王扬扬, 李一波, 姬晓飞	805
轮廓编组中的线索合并模型 王娇, 罗四维, 钟晶晶, 邹琪	813
全局图像特征分析与实时层次化消失点检测 孙愿, 卢鸿波, 张志敏	818
彩色图像特征捆绑的自动模型构建 徐洁, 邓红霞, 李海芳	829

计算机图形学

偏离映射的烙画风格绘制 钱文华, 徐丹, 岳昆, 官铮, 普园媛	836
点云模型法矢调整优化算法 孙金虎, 周来水, 安鲁陵	844

医学图像处理

基于惩罚最大似然优化模型的各向异性约束磁共振成像方法 邓梁, 史仪凯, 张均田	852
RBF神经网络和阈值分割实现视网膜硬性渗出自动检测 高玮玮, 沈建新, 王玉亮	859

遥感图像处理

衡量结构保持性能的SAR图像去噪质量评价 唐益明, 杨学志	866
地面LiDAR数据中建筑轮廓和角点提取 童礼华, 程亮, 李满春, 陈焱明, 王亚飞, 张雯	876

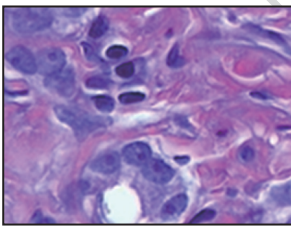
《中国图象图形学报》论文摘要写作要求	884
--------------------	-----

CONTENTS

JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Non-Local TV models for restoration of color texture images (P753)



Density value approximation for subtractive clustering based on Nyström method (P790)



Automatic detection of hard exudates based on RBF neural network and threshold segmentation (P859)

Image Processing and Coding

Equalized net diffusion model based on the anisotropy diffusion Xiong Hui, Lai Jianhuang	731
Robust method of skew correction based on feature points matching Zhong Jinrong, Du Qidai, Liu Ying, Lin Jiayu	738
Modification of advanced boundary discriminative noise detection algorithm Qi Binglu, Huang Yanwei, Chen Shaobin	746
Non-Local TV models for restoration of color texture images Duan Jinming, Pan Zhenkuan, Tai Xuecheng	753
Video super-resolution method based on similarity constraints Zhang Yilun, Gan Zongliang, Zhu Xiuchang	761

Image Analysis and Recognition

The orientation field extraction method for low quality fingerprints Bian Weixin, Xu Deqin, Yu Qingying	768
Identification of motion blur direction from motion blurred image by directional derivation and block statistics Li Junli, Chu Chengxi	776
Shape prior constrained KPCA object segmentation with parameter adaption Shen Ji, Li Yuanxiang, Zhou Zeming	783
Density value approximation for subtractive clustering based on Nyström method Sun Zhihai, Kong Wanzeng	790
Stellar targets suppression in image sequences for space targets detection Huang Zongfu, Sun Gang, Chen Zengping	799

Image Understanding and Computer Vision

Human action recognition based on super-interest points features Wang Yangyang, Li Yibo, Ji Xiaofei	805
Cue combination model for contour grouping Wang Jiao, Luo Siwei, Zhong Jingjing, Zou Qi	813
Hierarchical real-time vanishing point detection based on holistic image feature Sun Yuan, Lu Hongbo, Zhang Zhimin	818
Construction of the automatic model for feature binding of color image Xu Jie, Deng Hongxia, Li Haifang	829

Computer Graphics

Rendering pyrography style painting based on deviation mapping Qian Wenhua, Xu Dan, Yue Kun, Guan Zheng, Pu Yuanyuan	836
Optimal algorithm for normal adjustment of point clouds Sun Jinhu, Zhou Laishui, An Luling	844

Medical Image Processing

Anisotropically constrained MR imaging based on penalized maximum likelihood optimality model Deng Liang, Shi Yikai, Zhang Juntian	852
Automatic detection of hard exudates based on RBF neural network and threshold segmentation Gao Weiwei, Shen Jianxin, Wang Yuliang	859

Remote Sensing Image Processing

Image quality assessment of SAR image despeckling for measuring structure-preserving capability Tang Yiming, Yang Xuezhi	866
Extraction of building contours and corners from terrestrial LiDAR data Tong Lihua, Cheng Liang, Li Manchun, Chen Yanming, Wang Yafei, Zhang Wen	876

中图法分类号: TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2013)07-0776-07

论文引用格式: 李均利, 储诚曦. 方向微分分块统计的运动模糊方向鉴别[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(7): 776-782. [DOI: 10.11834/jig.20130708]

方向微分分块统计的运动模糊方向鉴别

李均利¹, 储诚曦²

1. 四川师范大学计算机学院, 成都 610101; 2. 宁波大学信息学院, 宁波 315211

摘要: 运用方向微分鉴别运动模糊方向的基本思想是将原图像视为各向同性的一阶马尔可夫随机过程。但实际处理效果并不理想, 其主要原因是很多图像并不严格满足各向同性的一阶马尔可夫随机过程。从整个图像来看, 物体形状、平坦区域等因素都会弱化这一物理前提, 造成微分图像计算不准确。为此提出一种优化方法, 先提取多个局部方差较大的特征块, 再分块进行运动模糊方向的鉴别, 统计分块结果。实验结果表明, 本文方法在传统的基于方向微分的加权平均法鉴别误差较大时, 依然可以取得不错的鉴别精度。

关键词: 方向微分; 马尔可夫随机过程; 局部方差; 加权平均法; 分块统计

Identification of motion blur direction from motion blurred image by directional derivation and block statistics

Li Junli¹, Chu Chengxi²

1. College of Computer Science and Technology, Sichuan Normal University, Chengdu 610101, China;
2. College of Information Science and Technology Ningbo University, Ningbo 315211, China

Abstract: The basic idea of identifying the direction of motion blurring by directional derivatives is that the original image is an isotropic first-order Markov random process. However, the real result are not good. The main reason is that the images do not meet this assumption strictly. Judging from the entire image, the shape of the objects, flat areas, and some other factors tend to weaken the physical premise, and cause inaccurate calculation result of the differential image. In this paper, we propose an optimization method. First, multiple feature blocks are extracted via the image local variance, and then the statistical results of the motion blur direction identification from every block are retrieved. The experimental results show that our method can still obtain good identification accuracy even when the error of the identification of traditional directional derivative method is big.

Key words: directional derivative; Markov random process; local variance; weighted average method; blocked statistics method

0 引言

由于运动模糊(如匀速直线运动模糊和散焦模

糊等)图像复原具有很好的“先验知识”, 只要鉴别出模糊参数, 得到点扩散函数(PSF), 就可以使图像复原的NP(非确定多项式)问题转为P(多项式)问题。本文讨论的范围是匀速直线运动模糊方向的鉴

收稿日期: 2012-08-27; 修回日期: 2012-11-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(60672072, 60832003); 可视化计算与虚拟现实四川省重点实验室项目(PJ2012005); 宁波市自然科学基金项目(2012A610047)

第一作者简介: 李均利(1972—)男, 研究员, 2002年于浙江大学数学系获理学博士学位, 主要研究方向为进化算法、视频评价、医学图像处理。E-mail: ghostfov@sina.com

别问题。

已有的研究中提出多种方法鉴别模糊方向, 这些方法中一般分为变换域算法^[1-6]和空域算法^[7-12]。文献[1]提出了通过运动模糊图像的傅里叶频谱图中的周期性零值条纹来鉴别模糊方向, 但该方法只适用于匀速直线运动模糊, 而且对噪声很敏感。文献[2]说明了文献[1]方法受噪声影响的敏感性和实用性差。文献[3]利用了梯度图像的幅度谱来提高鉴别精度, 文献[4-5]采用 Radon 变换或其改进方法来鉴别运动模糊方向, 但都是在无噪声情况下鉴别参数的, 文献[6]比较了几种鉴别模糊参数方法的优缺点, 包括倒谱法和 Radon 变换法这两种变换域方法。总体来说, 变换域方法的最大缺点是对噪声较为敏感, 而空域算法对噪声的抵抗性较好。文献[7]提出“误差—参数分析法”可以鉴别水平方向的匀速直线模糊和散焦模糊的点扩散函数, 提高了对噪声的抵抗性, 不过该过程计算量很大, 而且从鉴别曲线看, 要人为判断平坦的直线段, 鉴别误差较大。在空域方法中, 微分方法应用得比较多, 文献[8-10]采用了 2×2 微分算子辨别模糊方向, 但辨别的范围局限于 -45° 到 0° , 且精度不高。文献[11]采用 3×3 微分算子使模糊角度的辨别范围扩展到 -90° 到 90° , 为了提高精度还提出了加权平均法, 其物理思想很好, 将原图像功率谱视为“各向同性的一阶马尔可夫过程”, 但实际应用中并未达到很好的效果。这是由于很多图像并不完全满足这一假设的物理前提, 鉴别精度很容易受物体形状和平坦区域影响。

本文改进方法选取若干特征块进行方向微分鉴别, 统计鉴别结果来提高精度, 并比较了几种常见方向微分方法的鉴别精度。

1 运动模糊与方向微分方法

1.1 运动模糊

被拍摄物体与成像系统之间的相对运动会造成成像的运动模糊, 由于曝光时间很短, 可以近似看作匀速运动。假设在曝光时间 t 内, 以恒定速度 v 和沿水平方向角度 θ 进行相对运动, 那么运动模糊的点扩散函数 $h(x, y)$ 相对于“模糊长度” $L = vt$ 的关系为

$$h(x, y) = \begin{cases} 1/L & 0 \leq |x| \leq L \cos \theta \\ & y = L \sin \theta \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

从式(1)可以看出, 只要已知模糊方向 θ 和模糊长宽 L 就可知点扩散函数 $h(x, y)$, 一般情况下先求模糊方向, 然后将模糊图像按求得的模糊方向反向旋转, 这样就把 2 维问题转化为 1 维问题。该过程中模糊方向的准确鉴别尤为重要。

1.2 方向微分

1.2.1 3×3 微分算子

通常将原始图像视为各向同性的一阶马尔可夫过程, 即原图像的自相关和功率谱是各向同性的。由于运动模糊降低了运动方向上的高频成分, 而对非运动模糊方向上的高频成分减少较小。方向偏离越大, 影响越小。

当对模糊图像进行方向微分、滤波方向为运动模糊方向时, 模糊图像的能量损失最大, 所以得到的图像灰度绝对值之和最小, 该方向即为运动模糊方向。Yitzaky 等人^[8-10]和陈前荣等人^[11]都采用了上述物理思想, 前者采用 2×2 微分乘子, 后者改进为 3×3 微分乘子, 并且验证了这种改进可以带来更好的精度, 为了平均随机因素的影响, 后者还提出加权平均法。

如图 1 所示, 设运动模糊图像上一点 $g(i, j)$, $g(i', j')$ 是模糊图像上以 $g(i, j)$ 为圆心, 半径为 Δr 的半圆弧上的一点。其中 Δr 为方向微分时的微元。 Δr 值的大小可以根据被鉴别的模糊图像的模糊长度及运动类型(匀速直线运动、加速运动、振动等)灵活选取, 如取 1、1.5、2 个像素等。 α 为微分时的方向角, 其中 α 角度范围为 $[-\pi/2, \pi/2]$, 水平方向为 0, 上正下负。 $g(i', j')$ 为双线性插值方法获得, 其中

$$\begin{cases} i' = i + \Delta r \times \sin \alpha \\ j' = j + \Delta r \times \cos \alpha \end{cases} \quad (2)$$

通过插值求得 $g(i', j')$ 后, 即可求微分(微元大小为 Δr , 方向为 α)图像的灰度值

$$\Delta g(i, j)_\alpha = g(i', j') - g(i, j) = g(i, j) \otimes D_\alpha \quad (3)$$

微分乘子 D_α 是插值点在区域 IV 内的结果, 图 1 中其他 5 个区域的算子结果也相应算出, 这里不再一一列出。

$$D_\alpha = \begin{bmatrix} -1 & (1-2\sin \alpha)(2-2\cos \alpha) & (1-2\sin \alpha)(2\cos \alpha-1) \\ 0 & 2\sin \alpha(2-2\cos \alpha) & 2\sin \alpha(2\cos \alpha-1) \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

对微分图像灰度绝对值求和得

$$I(\Delta g)_\alpha = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} |\Delta g(i, j)_\alpha| \quad (5)$$

在区间 $[-\pi/2, \pi/2)$ 内, α 按某个固定步长取值, 找出使 $I(\Delta g)_\alpha$ 值最小的 α 值, 此 α 值即为运动模糊方向估计方向。

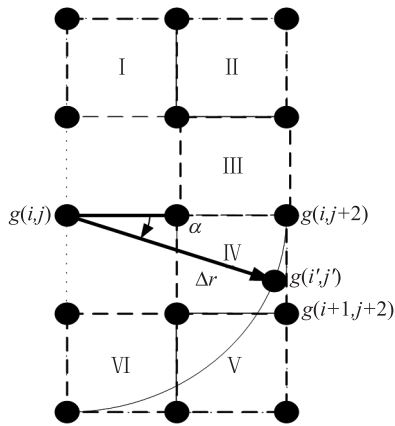


图1 3×3 方向微分示意图

Fig. 1 3×3 directional derivative schematic diagram

1.2.2 基于方向微分的加权平均法

在进行方向鉴别时, 偶尔会有局部的偏离, 为了平均这种随机因素, 提高精度, 文献[11]提出基于方向微分的加权平均法。

如图2所示, 采用多个微元进行方向微分。利用双线性插值, 首先分别求出微元 Δr_1 、 Δr_2 、 Δr_3 下的微分图像灰度绝对值和 $I(\Delta g)_{\Delta r_1, \alpha}$ 、 $I(\Delta g)_{\Delta r_2, \alpha}$ 、 $I(\Delta g)_{\Delta r_3, \alpha}$ 再按权值 $w = [w_1, w_2, w_3] = [1, 1, 1]$ 求和得

$$I(\Delta g)_\alpha = \sum_{i=1}^3 w_i I(\Delta g)_{\Delta r_i, \alpha} \quad (6)$$

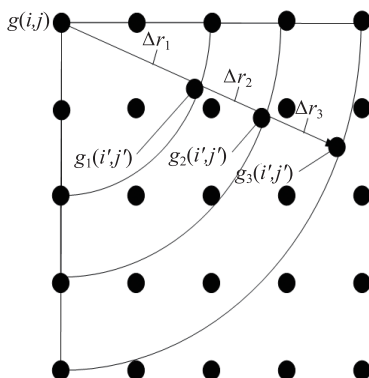


图2 基于方向微分的加权平均法

Fig. 2 The weighted average method based on directional derivative

然后画出 $I(\Delta g)_\alpha$ - α 鉴别曲线, 模糊方向的估计值

$$\hat{\alpha} = \arg \min_{\alpha \in [-\pi/2, \pi/2)} \left(\sum_{i=1}^3 w_i I(\Delta g)_{\Delta r_i, \alpha} \right) \quad (7)$$

由于微元长度的增加, 在微分乘子的求法上会更加复杂, 3×3 算子(微元半径为2)要考虑6个不同插值区域, 4×4 算子(微元半径为3)要考虑10个区域, 5×5 (微元半径为4)算子要考虑14个区域。

2 基于方向微分的分块统计法

理想情况下, 运动模糊在整幅图像上都应该有相同的 PSF, 其实在有灰度变化的区域, 且不考虑相对运动造成像素灰度叠加溢出问题, 图像各个区域的鉴别结果基本一致, 也就是满足“各向同性”的性质。但实际像素灰度值的范围是有上下限的, 物体的相对运动造成的像素灰度值叠加有时会溢出, 而且图像也可能存在平坦区域, 这些区域灰度值相近或者相同, 像素灰度叠加不能明显表现出来。这样图像各个部分的鉴别结果可能会有差异, 如图3的运动模糊图像区域3的鉴别结果是完全不准确的, 这是由于该区域的像素灰度值基本为0, 无法鉴别结果。由于存在一些区域无法鉴别, 而整个图像的鉴别结果是要计算微分图像所有区域的灰度绝对值之和, 这样就会造成误差。在图3中, 区域2和3的鉴别结果与实际值相差甚远。而区域1的鉴别结果却比较准确。原因很简单, 因为运动模糊造成的像素叠加效果在区域1被真实地表现出来了。

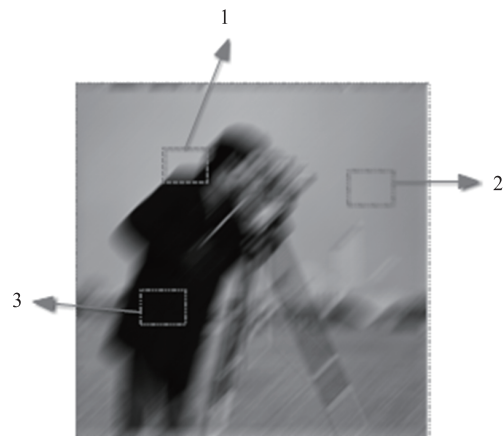


图3 运动模糊图像

Fig. 3 Motion blurred image

多数情况下,由于纹理的错综复杂,强边缘的边界区域或角点的区域难以准确提取。为此采用较为简单的方法,选取局部方差较大的区域作为鉴别对象。基于方向微分的分块统计法具体算法步骤如下:

- 1) 运动模糊图像预处理去噪的结果为 I 。
- 2) 计算 I 的局部方差:
 - (1) 构造并归一化 5×5 高斯权值窗口 W ;
 - (2) $I_v = I_c \otimes W$, 其中 I_c 是 I 按照窗口宽度复制周围像素到 I 四周得到的, 卷积的顺序是从左到右, 从上到下。
- 3) I_v 前 n 个最大的点组成向量 k , 在向量 k 中随机选取 m 个值, 记录下它们的位置 $k_1, k_2, \dots, k_m$ 。
- 4) 以 $k_1, k_2, \dots, k_m$ 为中心裁剪出 m 个图像块。
- 5) 采用基于方向微分的加权平均法鉴别这 m

个图像块的模糊方向 $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$, 将其平均值作为最终结果, 如果出现离散值, 可以将其去除后再平均。

3 实验与分析

3.1 整块方向微分法的不足

运动模糊可以看作是像素灰度的叠加过程, 也就是模糊图像的一个像素与模糊方向上的像素线性叠加过程。因而像素灰度值可能有变化, 这在视觉上表现为图像某一方向上的模糊重影^[13]。为尽量满足方向微分方法的物理前提。实验选取的图像均为自然图像非人工合成, 如图 4 所示。表 1 是对这些图像进行不同模糊方向和模糊长度的模糊之后的鉴别结果。



图 4 部分实验图像

Fig. 4 Some experiment images

表 1 模糊图像运动模糊方向鉴别结果

Table 1 Results of blur direction identification from motion blurred images

模糊长度/像素	模糊方向/(°)	图 4 各图鉴别结果/(°)							
		(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
10	-82	-84	-84	-87	-3	-87	-87	-87	5
20	-65	-64	-64	-87	-84	-84	-68	-61	-85
25	-36	-40	-40	-87	-40	-50	-40	-29	-85
30	0	0	3	3	3	-6	-3	3	-3
30	45	40	43	40	40	40	40	43	52
24	75	76	73	6	76	82	8	76	82
平均误差		2.16	2.33	25.83	18.50	9.33	14.50	3.67	30.17

从表1结果可以看出,基于方向微分的加权平均法与原图像特性有很大关系,模糊图像对应原图像的高频成分越多,“各向同性”越明显,鉴别结果越好。这在图4(a)(b)(g)的鉴别结果中可以看出,平均误差 2° 左右。该方法的物理前提条件是将“原图像视为各向同性的一阶马尔可夫随机过程”,物理思想很好,可实际满足这一条件的却比较少。图4(c)–(f)(h)的鉴别结果则不是很好,很多时候鉴别结果严重偏向边界角度。其中图4(c)(h)图像误差最大,平均误差达到 30° 左右。在大量的类似实验中,一般图像纹理复杂程度和图像中物体的形状都会对鉴别结果有影响,特别是复杂的人物图像即使在无噪声的情况下也无法得到较为准确的结果。从表1结果看,复杂的人物图像图4(c)(e)(f)(h)平均误差都是 10° 以上。

3.2 几种微分方法鉴别精度比较

文献[12]与文献[11]的方法也很相近,不同之处在算子选择上先确定一个水平算子,将这个水平算子按 1° 一个步长逆时针旋转来产生各个方向上的算子,再让这些算子与原模糊图像卷积,取卷积后

灰度绝对值和最小值对应的角度为模糊方向。通过实验比较不同方法的优缺点。为了确保实验的一般性,对更多的角度进行鉴别统计,所有图像分辨率为 256×256 像素。文献[12]使用的水平算子为 $[-1, -2, -3, 0, 3, 2, 1]$ 。本文方法截取的局部特征块大小为 80×80 像素,数量为8个。

表2为图4(c)(f)(h)在不同模糊方向鉴别结果的比较,从表中可以看出文献[11]和文献[12]方法在真实模糊方向为 $-30^{\circ} \sim -80^{\circ}$ 时,鉴别结果都会偏离或多或少偏向 0° 和 -90° 方向,在正角度方向上也有类似的表现。表2中的图4(h)的鉴别结果尤为明显。而在 0° 方向上的鉴别结果都比较准确。图5比较直观地表现了3种鉴别方法的效果,斜对角线为真实的模糊方向,越靠近这条斜对角线的鉴别方法越准确,反之误差较大。从鉴别曲线与真实值曲线之间的位置可以看出文献[11]比文献[12]更优,这可能是由于两种算子对差分的定义不一样,文献[12]的旋转差分算子计算某一点的方向微分只考虑周围像素的灰度值,距离近的赋予较大的权值,距离远的赋予较小的权值,不考虑该点的灰度值。而文献[11]考虑该点的灰度值,插值点周围

表2 3种方法的实验结果比较
Table 2 Comparison of experimental results of the three methods

模糊方向	图4(c)			图4(f)			图4(h)		
	文献[11]	文献[12]	本文	文献[11]	文献[12]	本文	文献[11]	文献[12]	本文
-90	-88	-90	-88	-88	-90	-88	-88	-90	-86
-80	-88	-89	-80	-88	-86	-85	-88	-89	-86
-60	-87	-88	-62	-65	-81	-62	-87	-88	-86
-50	-87	-88	-19	-54	-48	-48	-87	-88	-56
-30	-47	-10	-19	-31	-27	-31	-2	-1	-26
-10	-3	0	-9	-2	-6	-8	-2	-2	-3
0	-3	-1	-3	-2	0	-2	-2	0	3
20	28	8	24	22	18	22	3	1	25
35	36	48	36	38	42	36	30	90	32
45	40	63	52	40	47	48	52	90	48
55	28	65	52	36	62	54	87	90	54
65	71	74	67	57	72	68	87	90	63
75	79	82	75	68	79	84	87	90	76
85	87	88	87	86	87	86	88	90	88

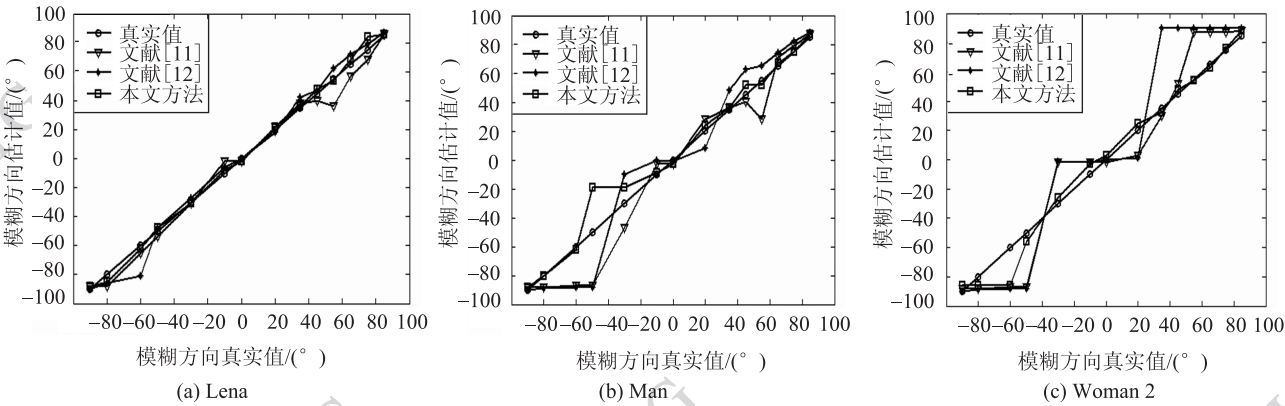


图 5 3 种方法鉴别效果示意图
Fig. 5 Identification effect diagram of the three methods

4 个像素由微元大小和角度决定。大多情况讨论的是线性空间不变的模糊,也就是随着像素点位置的变化,其点扩散函数不变。然而实际情况由于运动模糊造成的灰度值叠加超出边界,图像的纹理、图像中的物体等因素导致图像各个区域的鉴别结果会有所不同,整个图像的鉴别结果也不太准确。第 2 节已经说明了这个问题。本文方法充分考虑了这方面因素,在鉴别精度上有所提高。

表 3 给出 3 种鉴别方法鉴别误差比较。可以看出

本文方法在均方误差、平均误差、最大误差都优于前两种方法。不过针对这 3 幅图像,文献[12]在某些角度鉴别较高,最小误差一列中有体现,这可能由于某些角度下方向微分算子退化成其他形式,而方向旋转差分算子要好点,例如 0°时,3×3 方向微分算子(其他算子

类似)形式为 $\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$,旋转差分算子为 $[-1, -2, -3, 0, 3, 2, 1]$,从效果上看后者优于前者。

表 3 3 种方法误差比较
Table 3 Error comparison of the three methods

误差	图 4(c)			图 4(f)			图 4(h)		
	文献[11]	文献[12]	本文	文献[11]	文献[12]	本文	文献[11]	文献[12]	本文
均方误差	10.86	10.46	8.05	4.72	5.27	2.14	12.46	17.13	6.23
平均误差	9.79	12.71	4.93	5.36	4.79	2.57	14.00	22.21	5.29
最大误差	37.00	38.00	31.00	19.00	21.00	9.00	37.00	55.00	26.00
最小误差	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	2.00	0.00	1.00

3.3 运行时间比较及个别优化问题

实验平台是 Intel (R) Pentium (R) Dual Core B940 @ 2.00 GHz, RAM 2.00 GB, Matlab 2011b。由于微分图像灰度绝对值之和大小与模糊方向有关,越靠近模糊方向越小,为了加快搜索时间,可以采取分步搜索,搜索范围为 $[-90^\circ, 90^\circ)$ 。粗略步长设置为 10° ,精细步长设置为 1° 。同时为了减少随机因素的影响,在粗略搜索完,选取使灰度绝对值和最小和次小的两个角度,在它们的基础上重新设置搜索范围。例如粗略搜索结果中有 -90° ,则将精细搜索范围定格在 $[-90^\circ, -80^\circ)$ 。否则,将此搜索范围前后都扩展 10° 。这样在保持必要的精度

下,可以减少盲目搜索的时间。本文方法中,计算模糊图像局部方差的时间占了很大一部分时间,表 4 为 3 种方法的运行时间比较,可以看出在提高精度

表 4 3 种鉴别方法运行时间比较
Table 4 Comparison of the running time of the three methods

方法	图 4(c)	图 4(f)	图 4(h)	平均时间
文献[11]	3.65	3.42	3.50	3.52
文献[12]	3.13	3.15	3.38	3.22
本文	5.22	6.55	4.69	5.49

的同时,总的计算代价并没有增加多少。

4 结 论

传统的方向微分法的物理前提是将原图像视为“各向同性的一阶马尔可夫随机过程”,但实际效果并不理想,这是由于很多图像并不完全满足这一物理前提,某些有特殊形状区域或平坦区域图像的鉴别结果往往误差较大。传统方向微分法一般求取各个角度的整个微分图像绝对值和,这样就会将一些误差比较大的区域计算在内。考虑到运动模糊造成的灰度变化在模糊图像边缘或者有角点区域相对明显,而该区域局部方差较大,故采用局部方差提取多个特征块,通过统计多个局部方差较大特征块的鉴别结果得到了不错的鉴别精度。另外,本文方法在提高精度的同时,增加的计算代价有限。

参考文献(References)

- [1] Cannon M. Blind deconvolution of spatially invariant image blurs with phase [J]. IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, 1976, 24(1):58-63.
- [2] Fabian R, Malah D. Robust identification of motion and out-of-focus blur parameters from blurred and noisy image [J]. CVGIP: Graphical, Models and Image Processing, 1991, 53(5): 403-412.
- [3] Ji H, Liu C Q. Motion blur identification from image gradients [C]// Proceeding of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Anchorage, Alaska, USA: IEEE Computer Society, 2008:1-8.
- [4] Xie F, Che H, Cai M, et al. An image restoration algorithms based on cepstrum identify fuzzy parameters [J]. Optoelectronics and Control, 2011, 18(7):49-54. [谢飞,车宏,蔡猛,等.一种基于倒频谱鉴别模糊参数的图像复原算法[J].光电与控制,2011,18(7):49-54.]
- [5] Yue X, Cheng J, Li M. An improved parameter estimation method from motion blurred image by Radon transform [J]. Infrared and Laser Engineering, 2011, 40(5): 963-969. [乐翔,程建,李民.一种改进的基于Radon变换的运动模糊图像参数估计方法[J].红外与激光工程,2011,40(5):963-969.]
- [6] Krahmer F, Lin Y, McAdoo B, et al. Blind image deconvolution: motion blur estimation [D]. Minnesota, USA: University of Minnesota, 2006.
- [7] Zou M Y. Deconvolution and Signal Recovery [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2001: 184-214. [邹谋炎.反卷积和信号复原[M].北京:国防工业出版社,2001:184-214.]
- [8] Yitzaky Y, Mor I, Lantzman A, et al. Direct method for restoration of motion-blurred images [J]. Journal of Optical Society of American A, 1998, 15(6): 1512-1519.
- [9] Yitzaky Y, Kopeika S. Vibrated image restoration from a single frame [J]. SPIE, 1999, 3808:603-613.
- [10] Yitzaky Y, Milberg R, Yohaev S, et al. Comparison of direct blind deconvolution methods for motion-blurred images [J]. Applied Optics, 1999, 38(20):4325-4332.
- [11] Chen Q R, Lu Q S, Chen L Z. Identification of motion blur direction from motion blurred image by Direction Derivation Method [J]. Journal of Graphic and Image, 2005, 10(5): 590-595. [陈前荣,陆启生,成礼智.基于方向微分的运动模糊方向的鉴别[J].中国图象图形学报,2005,10(5):590-595.]
- [12] Yan X Y, Liu H, Liu B Y. A spatial domain method for motion blur direction estimation based on rotational differential operator [C]//Proceedings of the 15th Academic Conference of National Graphics and Image. Beijing: Tsinghua University Press, 2011: 18-23. [颜小运,刘洪,刘本永.基于旋转差分算子的运动模糊方法空域估计方法[C]//第15届全国图像图形学术会议论文集.北京:清华大学出版社,2011:18-23.]
- [13] Lokhande R, Arya K V, Gupta P. Identification of parameters and restoration of motion blurred images [J]. Chinese Journal of Computers, 2007, 30(4): 686-692.