

一种图像局部模糊检测方法及其在被动图像认证中的应用^①王 睿^② 方 勇^③

(上海大学通信与信息工程学院 上海 200072)

摘 要 针对目前图像模糊检测算法复杂度过高和不能有效地实现图像局部模糊检测的问题,进行了图像局部模糊检测方法的研究,给出了模糊的数学模型,并基于此模型,提出一种简单有效的图像局部模糊的检测算法。该算法按照像素级搜索机制,对图像中各像素所在位置的相邻四邻域进行二维短时傅立叶变换,计算其频域系数的对数相关性,由此描述该区域的模糊程度,把它同预设阈值相比较,实现图像中局部模糊区域的检测。实验仿真显示,将该方法应用于篡改图像被动认证,可以有效地检测经过局部模糊和边缘模糊的篡改图像。

关键词 模糊检测, 篡改检测, 被动认证

0 引 言

随着数字时代的到来,图像的显示和存储日益数字化,而模糊或降晰作为影响数字图像感观质量,降低各种图像处理效果的一种主要因素,而备受人们关注。各种图像模糊消除方法和模糊函数估计方法相继提出并得到很好应用^[1-3]。然而,由于一些模糊在实际中并不容易觉察到,有必要在复原之前进行模糊检测,以提高复原效率。另外,模糊检测同样可以获得其它方面应用,如实现篡改图像被动认证,篡改者为掩盖图像篡改痕迹,偏向于人为模糊篡改区域或篡改边缘,因此,检测这些局部模糊可以实现篡改检测。

图像模糊检测方法之一是利用图像盲复原和盲模糊函数(或点扩展函数,降晰函数)估计方法^[1-3]预先估计出模糊函数,利用其进行模糊判断,但该方法运算量较大,而且如何根据估计的点扩展函数进行模糊判决没有确定的标准,因此,很少用来进行模糊检测。Tong^[4]提出先对图像进行小波分解,然后判断图像中边缘陡峭类型,利用其检测图像是否经过模糊,但由于该方法需要在整幅图像中进行,因而不利于局部或小区域的模糊检测。Hsiao^[5]提出用频域谱分离方法实现图像中模糊区域估计,一般对不同的图像,功率谱差异较大,谱分离的阈值人为难以确定。本文针对上述情况,提出了一种简单有效的

图像局部模糊检测算法:首先,依次有序选中图像中各像素点,计算其所在位置相邻四邻域块的短时傅立叶变换,然后计算其频域系数对数的相关性大小,此相关性大小直接反映该点所在区域的模糊程度,把该相关值同预设阈值相比较,作属于模糊区域和未模糊区域的二值判决,最终实现图像局部模糊的检测。我们把该方法应用于含有局部模糊和边缘模糊的篡改图像被动认证,实验仿真显示该方法可以有效地实现此类篡改图像的检测。

1 局部模糊检测算法

1.1 图像模糊的数学模型

模糊在图像中较为常见,如运动模糊、散焦模糊等,其一般可建模为原始清晰图像和模糊函数(点扩展函数)的卷积,而这种点扩展函数一般为 2-D 有限冲激响应滤波器(2-D FIR),描述如下:

$$y(i,j) = s(i,j) \otimes h(i,j) \quad (1)$$

其中 $\otimes$ 为卷积算子, $y(i,j)(i,j) \in D_y$, $s(i,j)(i,j) \in D_s$ 分别为模糊图像和原始图像, $h(i,j)(i,j) \in D_h$ 为点扩展函数, D_y, D_s, D_h 依次为对应的支持域。

1.2 局部模糊的检测

假设图像中随机抽取两大块相等块 $s_1(i,j)$ 和 $s_2(i,j)$, 同时经过模糊得到 $y_1(i,j)$ 和 $y_2(i,j)$, 其中

① 国家自然科学基金(60872114)和教育部博士点基金(20060280003)资助项目。
② 男,1984年生,硕士;研究方向:数字图像处理。
③ 通讯作者, E-mail: yfang@shu.edu.cn
(收稿日期:2008-04-01)

$$y_k(i, j) = s_k(i, j) \otimes h(i, j) \quad k = 1, 2 \quad (2)$$

块 $s_k(i, j)$ 和 $y_k(i, j)$ 均远小于 $s(i, j)$ 和 $y(i, j)$ 大小,做频域变换,此时类似于图像部分数据的 2-D 短时傅立叶变换,得到 $S_k(f_1, f_2)$, $Y_k(f_1, f_2)$ 满足

$$Y_k(f_1, f_2) = S_k(f_1, f_2) \times H(f_1, f_2) \quad k = 1, 2 \quad (3)$$

取(3)的绝对值:

$$\begin{aligned} \hat{Y}_k(f_1, f_2) &= \text{abs}[Y_k(f_1, f_2)] \\ &= \text{abs}[S_k(f_1, f_2)] \times \text{abs}[H(f_1, f_2)] \quad k = 1, 2 \end{aligned} \quad (4)$$

时域卷积关系转化为频域乘积关系,自然对数变换后,频域乘积关系再次转化为对数域的加性关系,即

$$\begin{aligned} \tilde{Y}_k(f_1, f_2) &= \log \hat{Y}_k(f_1, f_2) \\ &= \log \hat{S}_k(f_1, f_2) + \log \hat{H}(f_1, f_2) \\ &= \tilde{S}_k(f_1, f_2) + \tilde{H}(f_1, f_2) \quad k = 1, 2 \end{aligned} \quad (5)$$

考虑到 $\tilde{Y}_1(f_1, f_2)$, $\tilde{Y}_2(f_1, f_2)$ 分别是 $\tilde{S}_1(f_1, f_2)$, $\tilde{S}_2(f_1, f_2)$ 加上点扩展函数的对数绝对值频域变换 $\tilde{H}(f_1, f_2)$, 因此,可以得到如下结论:

$$\text{Corr}\{\tilde{Y}_1, \tilde{Y}_2\} > \text{Corr}\{\tilde{S}_1, \tilde{S}_2\} \quad (6)$$

其中 $\text{Corr}(\cdot)$ 为计算两向量相关,即

$$\text{Corr}\{\mathbf{A}, \mathbf{B}\} = \frac{\sum_i \sum_j (a_{ij} - m_a)(b_{ij} - m_b)}{\|\mathbf{A}\| \cdot \|\mathbf{B}\|} \quad (7)$$

式中 m_a, m_b 代表 $\mathbf{A}, \mathbf{B}$ 均值, $\overline{\mathbf{A}}, \overline{\mathbf{B}}$ 为去均值矢量, a_{ij} 和 b_{ij} 为 $\mathbf{A}, \mathbf{B}$ 各分量。式(6)可以借助某两个相关随机变量加以证明:设有零均值随机变量 α, β , 且 $E(\alpha\beta) = \rho$, $E(\cdot)$ 为求期望,当同时加上常数 m , 有下式成立:

$$\begin{aligned} E[(\alpha + m)(\beta + m)] &= E(\alpha\beta + \alpha m + \beta m + m^2) \\ &= \rho + m^2 > \rho \end{aligned} \quad (8)$$

而在式(6)中,可以认为 $\tilde{S}_1(f_1, f_2)$, $\tilde{S}_2(f_1, f_2)$ 是某一随机变量的样本实现是合理的。

根据上述结论,提出如下模糊区域检测方案。假设图像 $\mathbf{x}$ 存在局部模糊区域,整个图像中像素点被划分为两类: $(i, j) \in M_1$ 为未模糊部分, $(i, j) \in M_2$ 为模糊部分。为判断某像素点 (i, j) 属于 M_1 还是 M_2 , 采用如下判决方法:以此点为中心,周围邻域被划分为 4 个部分,即 $\mathbf{x}1(i, j)$, $\mathbf{x}2(i, j)$, $\mathbf{x}3(i, j)$, $\mathbf{x}4(i, j)$, 其中

$$\mathbf{x}1(i, j) \in \mathbf{x}(i - N + 1 : i, j - N + 1 : j) \quad (9)$$

$$\mathbf{x}2(i, j) \in \mathbf{x}(i : i + N - 1, j : j + N - 1) \quad (10)$$

$$\mathbf{x}3(i, j) \in \mathbf{x}(i : i + N - 1, j - N + 1 : j) \quad (11)$$

$$\mathbf{x}4(i, j) \in \mathbf{x}(i - N + 1 : i, j : j + N - 1) \quad (12)$$

N 为截取块大小,且 N 远小于图像尺寸,具体如图 1 所示。

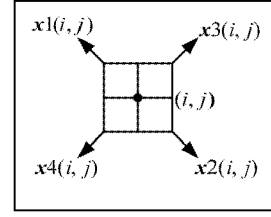


图 1 局部截取块划分方法

然后分别计算各块频域对数系数 $\tilde{\mathbf{X}}1(i, j)$, $\tilde{\mathbf{X}}2(i, j)$, $\tilde{\mathbf{X}}3(i, j)$, $\tilde{\mathbf{X}}4(i, j)$, 计算对角块的相关性大小:

$$\begin{aligned} \text{corr1} &= \text{Corr}(\tilde{\mathbf{X}}1(i, j), \tilde{\mathbf{X}}2(i, j)) \\ \text{corr2} &= \text{Corr}(\tilde{\mathbf{X}}3(i, j), \tilde{\mathbf{X}}4(i, j)) \end{aligned} \quad (13)$$

由式(13)获得描述像素点 (i, j) 所在区域的相关性:

$$\text{corr}(i, j) = \frac{\text{corr1} + \text{corr2}}{2} \quad (14)$$

把 $\text{corr}(i, j)$ 同预设相关性阈值 $\text{CORR}_{\text{threshold}}$ 比较,当 $\text{CORR}_{\text{threshold}} \leq \text{corr}(i, j)$, 像素点 (i, j) 判为 $(i, j) \in M_1$, 反之则判为 $(i, j) \in M_2$ 。依据最终判决结果生成二值图像 $\mathbf{L}$, 其中白点为模糊像素点,则可认为白点聚集较多区域为模糊区域。必要时,可进一步对判决结果做后处理消除误检像素,假设 $(q1, q2)$ 为 $\mathbf{L}$ 中非零像素点坐标,对 $\mathbf{L}$ 中离散点 $L_{i,j}$ 做如下分析:

$$\begin{aligned} \text{if } \sum_{i,j} L_{i,j} \neq 0 \geq T \\ \quad (\sqrt{(i - q1)^2 + (j - q2)^2} \leq R) \\ \quad \quad L(q1, q2) = 255 \\ \text{else} \\ \quad \quad L(q1, q2) = 0 \end{aligned} \quad (15)$$

上述处理可以很好地消除误检测的奇异点,式(15)中 R 为预设局部区域大小, T 为判断阈值。

1.3 算法中的近似及算法初始值设定问题

由 1.2 推导可知,模糊区域相关性大于原始区域相关性是在块 $\mathbf{s}_1$ 和 $\mathbf{s}_2$ 与模糊函数完全卷积条件下得到,而在算法具体实施过程中,只能从图像中截取相邻四块 $\mathbf{x}1(i, j)$, $\mathbf{x}2(i, j)$, $\mathbf{x}3(i, j)$, $\mathbf{x}4(i, j)$ 进行短时傅立叶变换,模糊区域截取块并不是原始数据和模糊函数完全卷积结果,截取块周围完全卷积边缘遭到破坏,需要用加窗或其它办法估计破坏边缘。但实验表明:在不估计破坏边缘情况下,依然可以很明显地区分模糊区域和未模糊区域。如图 2 所示,实验重复 50 次取平均结果,用提出方法判决各像

素点的归属情况,图中(a)为各截取块和模糊函数完全卷积结果,(b)为非完全卷积结果。横坐标为相关

系数(0~1),纵坐标为某相关系数下像素比重。

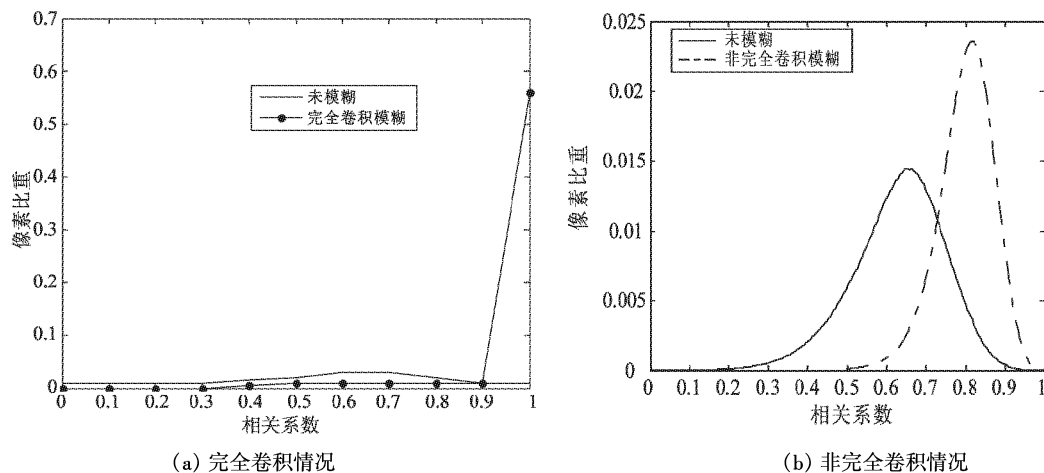


图 2 完全卷积和非完全卷积情况下的相关值比较

对参数 N 和 $CORR_{threshold}$ 的初时值设定可根据经验获得, N 不易过大或过小, 选取过大, 模糊区域的边缘像素点误判现象严重, 过小则各像素点相关系数较多地聚集 1 附近, 不利于模糊区域与非模糊区域的划分, 即不利于阈值 $CORR_{threshold}$ 的选择。一般建议选择 $N = 6 \sim 20$ 范围内, 图 2 数据为 $N = 10$ 的实验结果。在 N 固定前提下, $CORR_{threshold}$ 的设定显得更加重要, 合适的阈值选择可以避免检测的漏报和虚警现象, 第 2 部分实验结果显示取 $CORR_{threshold} \in (0.8 \sim 0.95)$ 较为合适, 而且具体最优阈值设定和模糊程度有关, 对于部分虚警现象, 第 2 部分将提出一种多阈值判决方案, 降低此类误判现象。

2 局部模糊检测实验仿真及在篡改图像检测中的应用

2.1 局部模糊检测统计数值分析

图 3 给出了在高斯模糊函数条件下, 模糊检测算法检测正确率和阈值 $CORR_{threshold}$ 的关系。实验数据采用图像库中任意选取的不同分辨率, 不同场景的 200 幅图像, 每幅图像的局部图像块经过 3 种不同方差的高斯模糊函数降晰。初时参数 $N = 20$, 为判断方便判决结果经过后处理, 其中 $R = 10, T = 10$ 。由实验结果我们发现最优阈值和模糊程度有关, 如方差为 0.8 时最优阈值为 0.84, 方差为 1.5 和 1.8 时为 0.88。一般模糊程度越大, 阈值较高, 但当达到某一值时, 最优阈值相差不大, 正如方差 1.5 和 1.8 检测结果所示。

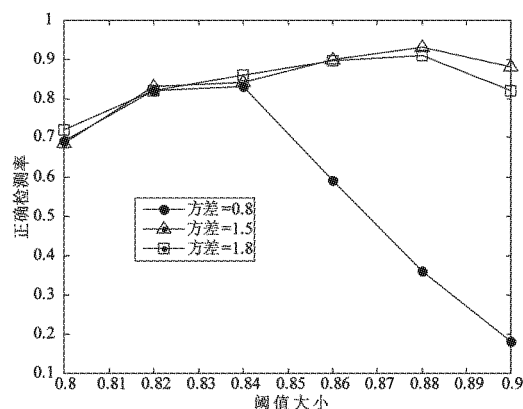


图 3 高斯模糊最优阈值选取

图 4 给出了四种常见降晰函数在不同模糊程度下的正确检测率, 其中高斯模糊, 均匀模糊, 运动模糊和 Disk 模糊依次改变方差、尺寸、尺寸和半径。具体的参数设定如表 1 所示, 结果显示对于高斯模糊检测、均匀模糊检测和 Disk 模糊检测效果较好, 运动模糊效果相比略差。

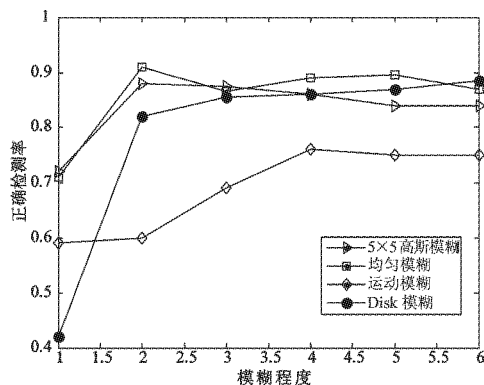


图 4 不同降晰函数的检测性能

表 1 模糊参数设定

	阈值	横坐标 1	横坐标 2	横坐标 3	横坐标 4	横坐标 5	横坐标 6
5×5 高斯模糊	0.85	0.8	1	1.5	2	2.5	3
均匀模糊	0.85	3	4	5	6	7	8
运动模糊	0.85	5	6	7	8	9	10
Disk 模糊	0.81	1	2	3	4	5	6

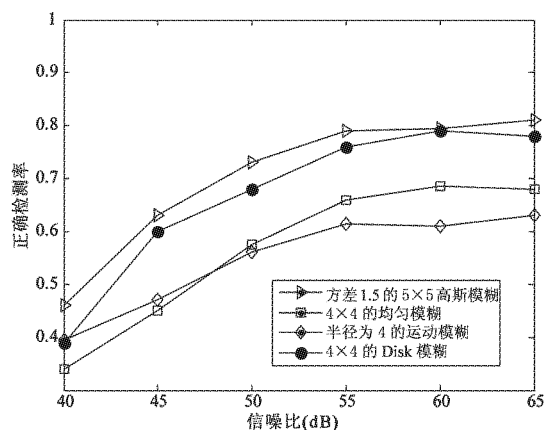
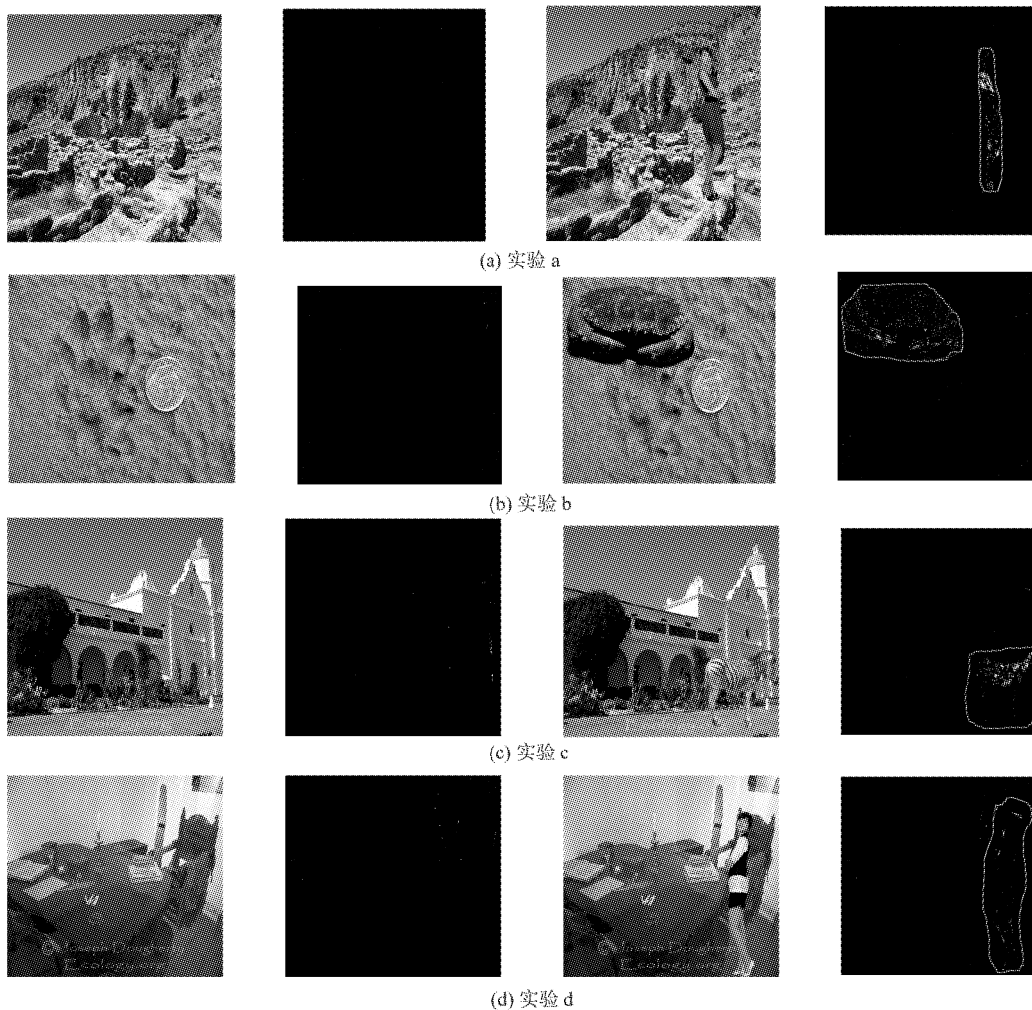


图 5 加噪条件下的检测性能

同时,图 5 给出了四种降晰函数模糊检测的抗噪声能力,实验结果显示噪声对检测影响较大,但在 50dB 加性噪声下可获得可接受检测性能。

2.2 算法在篡改图像检测中的应用

图 6 给出了本文提出算法在篡改检测中的应用,实验采用篡改部分或篡改边缘经过模糊的篡改图像,实验结果(a) – (d)各行自左向右依次为原始图像,检测结果,篡改图像,检测结果。其中实验 a、实验 b 和实验 c 为篡改区域被模糊的检测结果,实验 d 为篡改边缘被模糊的检测结果。实验结果表明,检测效果较好,虽然在实验 c 和实验 d 两个实验中,原始图像的检测结果中含有零星模糊白点,但由

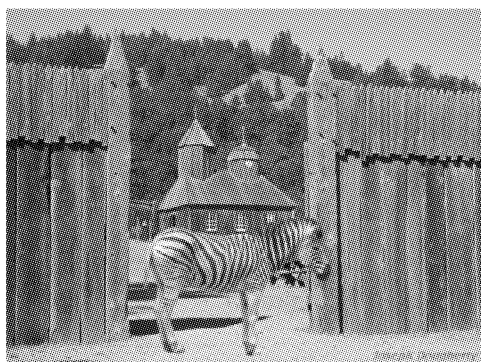
图 6 篡改图像的检测 $N = 7, CORR_{\text{threshold}} = 0.9$

于其独立性较强,数量较少,可认为是误判点。

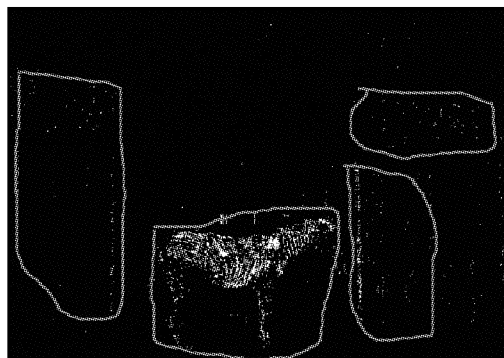
2.3 改进的多阈值篡改检测方案

考虑到实际获取的图像,由于获取设备的低通特性,很多图像在高频边缘变得模糊,还有一些图像中本身存在相似部分,如内容较为一致的天空、草地等,本文算法在检测此类图像,不可避免地把这些区域判决为模糊区域。针对此种误判现象,本文提出了一种多阈值检测方案,阈值取值依次从小到大,虽

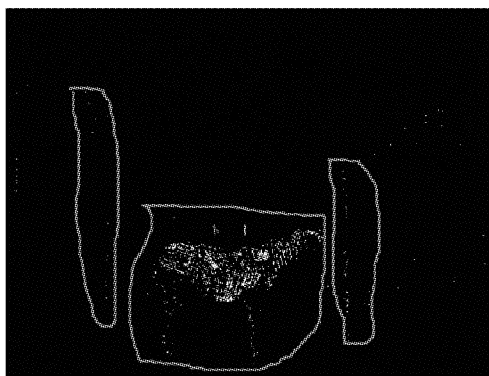
然开始图像中呈现多块模糊区域,随着阈值的增大,这些模糊区域逐渐减小,同时,“真正”的篡改区域也在减小,如果最终的少量模糊点在高阈值时呈现有完整区域,则判决为篡改区域,如果在高阈值时未呈现完整区域,判决为未篡改图像。图 7 给出了篡改图像在不同阈值下的检测结果,图(b)、图(c)、图(d) $CORR_{threshold}$ 依次取 0.90, 0.92, 0.95, 最终显示“马”为篡改部分。



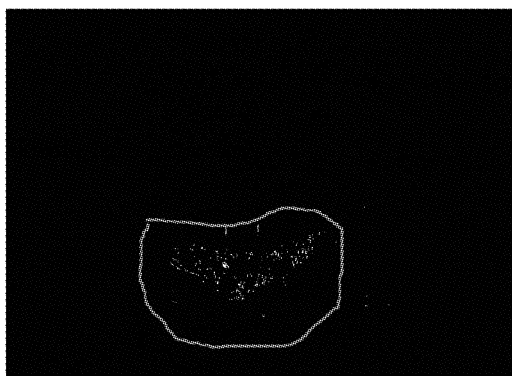
(a) 篡改图像



(b) 阈值为0.90检测结果



(c) 阈值为0.92检测结果



(d) 阈值为0.95检测结果

图 7 多阈值检测篡改图像 $N = 7$

3 结 论

本文首先给出了模糊的数学模型,基于此模型,提出了一种简单有效的图像局部模糊的检测算法,通过计算每个像素所在区域的局部相关性,判断该像素是否处在模糊区域,并通过实验统计分析了关键参数最优判决阈值的设定问题,得出最优阈值一般和图像的局部模糊程度有关的结论,同时分析了算法的抗噪性能。本文算法提出的主要目的是为了进行篡改被动认证,把该方法应用到经过局部和边

缘模糊的篡改检测,并针对容易造成误检的问题,提出了多阈值判决方案,实验结果显示本文方法在篡改检测方面的有效性。

参考文献

- [1] Giannakis G B, Heath R W. Blind identification of multichannel FIR blurs and perfect image restoration. *IEEE Transaction on Image Processing*, 2000, 9(11): 1877-1896
- [2] You Y L, Kaveh M. A approach regularization to joint blur identification and image restoration. *IEEE Transaction on Image Processing*, 1996, 5(3): 416-428
- [3] Lagendijk R L, Biemond J, Boeke D E. Identification and

- restoration of noise blurred images using the expectation-maximization algorithm. *IEEE Transaction on Acoustics Speech and Signal Processing*, 1990, 38(7): 1180-1191
- [4] Tong H H, Li M J, Zhang H J, et al. Blur detection for digital image using Wavelet transform. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, Beijing, China, 2004. 17-20
- [5] Hsiao D Y, Pei S C. Detection digital tampering by blur estimation. In: *Proceeding of the 1st International Workshop on Approaches to Digital Forensic Engineering*, Taipei, Taiwan, China, 2005. 264-278

A local-blur detection method and its application in passive image authentication

Wang Rui, Fang Yong

(School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai, 200072)

Abstract

In order to reduce the complexity of conventional blur detection algorithms and efficiently detect the local-blur regions in the images, the paper gives a new blur detection method based on a study of local-blur detection and a mathematical blur model. According to the 2-D Short-Time Fourier Transform, the method calculates the coefficients of four blocks around each pixel, the correlation value describing blur magnitude of this pixel's area. Based on the comparison between this correlation value and the preset threshold, each pixel is divided into blurred class or un-blurred class. The proposed method is applied to the passive image authentication. The simulation results show the efficiency of this approach in revealing the local-blurred and the edge-blurred image tamper.

Key words: blur detection, forgery detection, passive authentication