

文章编号:1004-9037(2013)02-0149-06

同幅数字图像中 Copy-Move 型篡改的盲检测

何德龙 倪 林 吴巧玲

(中国科学技术大学信息科学技术学院,合肥,230027)

摘要:为了快速有效地检测复制-粘贴(Copy-Move)图像篡改,提出了一种基于重叠块统计值的 Copy-Move 型篡改图像盲认证方式。该算法先将图像进行一次离散小波变换(Discrete wavelet transform, DWT)并取其低频部分分解为重叠块,接着统计各重叠块的 7 个统计值并计算重叠块间的相似性找出相似块,最后返回原篡改图像找出篡改部分。仿真结果表明,该方法能快速有效地检测出篡改部分经过 JPEG 有损压缩、高斯白噪声污染和这两者结合的篡改图像。

关键词:离散小波变换;复制-粘贴篡改;篡改检测;重叠块

中图分类号:TP391.4

文献标志码:A

Passive-Blind Detection of Copy-Move Forgery in One Digital Image

He Delong, Ni Lin, Wu Qiaoling

(School of Information Science and Technology, University of Science and Technology of China, Hefei, 230027, China)

Abstract: An efficient and robust algorithm is proposed for detecting and localizing Copy-Move forgery. Firstly, discrete wavelet transform (DWT) is applied to a tampered image, then the low-frequency component in wavelet sub-band is divided into overlapped blocks. Seven statistics of each block are calculated and lexicographically sorted so that duplicated blocks are identified by searching for rows being closer to other rows after sorting. After finding out the duplicated region in the wavelet sub-band, the duplicated region can be found in the tampered image. Simulation results show the efficiency of the proposed algorithm.

Key words: discrete wavelet transform; Copy-Move forgery; tamper detection; block overlap

引 言

Photoshop 等图像编辑软件的快速发展使对数字图像进行篡改变得愈发简单,人们可以随意更改图像的各个部分用于娱乐或者出于恶意的目的。国内最近发生的新闻中,继四川会理县之后,山西寿阳县也陷入“PS 门”。该县政府网站发布的一则图片新闻中,一名县领导被 PS 到图片中,呈现“悬浮”状态。此事被网民发现后上传到网络,引来众多网民围观。由此可见,数字图像内容真实性鉴别已经成为当前迫切需要研究的课题。

数字图像的真伪鉴别主要分为两大类,一种是主动鉴别方式,例如数字签名和数字水印作为早期的研究成果获得较成功的应用,但由于这些方式需

要人为加入认证信息到源图像上,因此,这种方式的鉴别在某些情况下受到很大的限制;另一种鉴别方式是篡改盲检测,这种鉴别方式需要的先验信息很少,因此运用范围就更广了。复制-粘贴(Copy-Move)型的篡改指拷贝图像的一小块到同一幅图像的另一个地方,这种篡改一般采用盲检测方式进行检测。文献[1]提出了一种基于混合整数变换的高容量可逆数字水印算法,属于主动鉴别方式;文献[2]基于 SIFT 算子检测 Copy-Move 型篡改,能有效检测出复制粘贴区域,具有旋转、尺度、亮度不变的优点,但其计算量也比较大,同时抗噪声能力有限;文献[3]采用复制粘贴区域相位相关性,找出 Copy-Move 区域的位置,能检测较大块的复制粘贴区域,但不能检测小块的复制粘贴区域;文献[4]先对篡改后的彩色图像进行分块并对每个分块计

算统计特征值,可以找出 Copy-Move 区域,并且具有很好的抗噪声能力等,但其计算量也比较大;文献[5,6]采用 SVD 方法实现复制粘贴区域的检测;文献[7]采用 SURF 算子也能实现复制粘贴区域的检测;文献[8]采用 FMT 算子提取特征向量然后采用字典排序等找出相同或相似区域,也能较好地实现对 Copy-Move 型篡改的检测;文献[9]采用 PCA 和对 PCA 改进的 LLE 算子实现复制粘贴区域检测;文献[10]采用高斯金字塔分解和图像圆形分块特征值结合实现 Copy-Move 区域的检测。本文先对篡改的彩色图像转换成灰度图像,然后进行一级二维离散小波变换,对小波变换后的低频部分从左上角到右下角进行重叠块分解,计算每个重叠块的 7 个统计值,对得到的结果进行字典排序并计算相邻重叠块的各个统计值的差值,这些差值如果小于特定的阈值则认为这两个重叠块属于 Copy-Move 区域,并记下其左上角坐标,最后再返回源图像计算出 Copy-Move 区域。

1 相关理论

1.1 二维小波变换

图像的二维小波变换实质上是对图像进行离散二维小波变换。其二维小波就相当于对二维图像数据在水平方向和垂直方向各自独立地进行一次一维小波变换。其过程可以用图 1 表示。

二维和一维小波变换的定义实质是一样的,只是将一维的基本小波扩展到二维的基本小波。其定义可以表示为

$$W_f(a, b_x, b_y) = \iint f(x, y) \overline{\psi_{a, b_x, b_y}(x, y)} dx dy \quad (1)$$

式中: $\overline{\psi_{a, b_x, b_y}(x, y)} = \frac{1}{|a|} \psi\left(\frac{x-b_x}{a}, \frac{y-b_y}{a}\right)$, a 为尺度因子; b_x, b_y 为两个维度上的平移。

显然,图像经过若干级小波变换后可以得到一系列不同方向(分辨率)的多个子图,而且这些子图具有两个特点:

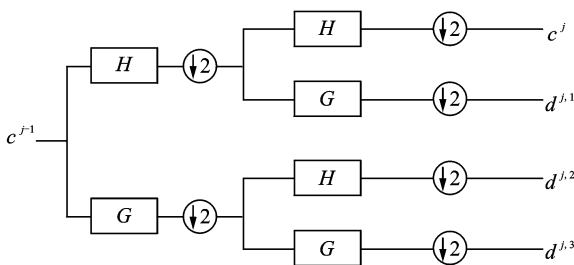


图 1 二维小波变换的快速算法

(1)不同方向的子图对应的频率不同;

(2)图像的能量主要集中在低频子图,高频子图所占的能量很小。

可见,低频部分保留了源图像的大部分信息。

1.2 各重叠块统计值计算

对篡改后的图像,如果是彩色图像则先转换为灰度图像用 A 表示,然后对 A 进行一级二维离散小波变换得到低频部分用 B 表示,再对 B 从左上角到右下角进行重叠块分解,如果 B 尺寸为 $M \times N$,重叠块尺寸为 $b \times b$,那么可以得到 $(M - b + 1) \times (N - b + 1)$ 个重叠块。由于小波变换后的低频部分的篡改块大小是原篡改图像的 $1/2$,因此重叠块大小 b 的选择必须小于原篡改图像的篡改块大小的 $1/2$ 。对每个重叠块按图 2 的 7 个方向分为 P_1 和 P_2 两个部分,并按式(2)定义各方向特征值。

$$c_i = \text{sum}(P_1) / (\text{sum}(P_1) + \text{sum}(P_2)) \quad i = 1, 2, \dots, 7 \quad (2)$$

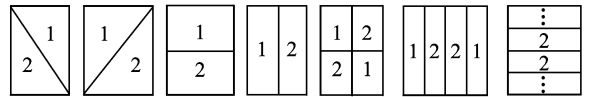


图 2 重叠块的 7 个方向

对源图像篡改后一般还会有其他处理,例如对篡改部分用高斯白噪声污染,或者对篡改后的图像进行 JPEG 有损压缩,目的就是给篡改检测增加难度。这些操作对于式(2)给出的 7 个特征值不会有显著的改变,例如,高斯白噪声均值为 0,方差为 σ ,并且假定高斯白噪声 ϵ 对于每一个像素都是独立同分布的。被噪声污染的块为 B'_i ,污染前的块为 B_i , $B'_i = B_i + \epsilon$ 。 $c'_i = (\text{sum}(P_1) + \epsilon_1) / (\text{sum}(P_1 + P_2) + \epsilon_2)$,其中 $E(\epsilon_1) = 0, E(\epsilon_2) = 0, D(\epsilon_1) = b^2 \sigma / 2, D(\epsilon_2) = b^2 \sigma$, σ 在 $\text{SNR} \geq 20 \text{ dB}$ 时都较小, $\text{sum}(P_1) \gg \epsilon_1, \text{sum}(P_1 + P_2) \gg \epsilon_2$,因此得到 $c'_i \approx c_i, i = 1, 2, \dots, 7$ 。对于 JPEG 有损压缩,对高频部分影响比较大,对低频部分影响比较小。因此 c_i 对这些操作改变很小。对于每个重叠块 B_i ,块统计特征向量定义为 $\mathbf{V}(i) = (c_1(i), c_2(i), c_3(i), c_4(i), c_5(i), c_6(i), c_7(i)))$,并把这些统计特征向量放入矩阵 \mathbf{C} 中,则 \mathbf{C} 为 $(M - b + 1) \times (N - b + 1)$ 行 7 列的矩阵。

本文在取特征向量时,取重叠块的 P_1 部分的像素总和与整个重叠块的像素总和的比值,得到 7 个元素,当然,也可以取重叠块的空域特征如方差和均值作为特征向量的元素,也能得到很好的效

果,但必须为方差和均值另外选取合理的阈值。为了简化实现过程,不采用方差和均值作为特征向量的元素。

2 仿真实验

2.1 实验步骤

检测过程在 Windows 7 的操作系统,内存为 2 GB,Matlab 版本为 7.1 的环境下进行。实验仿真使用的篡改图像是由 Photoshop 软件处理得到的 RGB 彩色图像,根据上面介绍的理论知识并按照下面的步骤来实现。

(1) 将 Photoshop 处理得到的 RGB 彩色图像转换为灰度图像 A 。

(2) 然后对得到的灰度图像 A 进行一次二维离散小波变换从而得到源图像的低频部分,用矩阵 B 表示,大小为 $M \times N$ 。

(3) 对矩阵 B 从左上角到右下角逐个像素移动重叠分块,重叠块大小为 $b \times b$,各重叠块按 1.2 节介绍的知识计算 7 个统计值,并把 7 个统计值放入矩阵 C 中,得到 $(M-b+1) \times (N-b+1)$ 行 7 列的矩阵 C 。

(4) 对矩阵 C 采用字典排序法,并将相邻块 B_i 和 B_j 的左上角坐标分别记为 $(x_i, y_i), (x_j, y_j)$, $L = \max(|x_i - x_j|, |y_i - y_j|)$,统计特征向量分别为 $\mathbf{V}(i), \mathbf{V}(j)$ 。令 $\text{Diff}(k) = |c_k(i) - c_k(j)|$,其中 $k = 1, 2, \dots, 7$,如果满足:

- (a) $\text{Diff}(k) < a$
- (b) $\text{Diff}(1) + \text{Diff}(2) + \dots + \text{Diff}(7) < t$
- (c) $L > d$

则可以认为这对相邻块 B_i 和 B_j 是相似的,用矩阵 D 记录相邻块的 $\Delta x = |x_i - x_j|$, $\Delta y = |y_i - y_j|$ 和左上角坐标 $(x_i, y_i), (x_j, y_j)$ 。

(5) 分别找出 D 中 $\Delta x, \Delta y$ 出现的次数最多的值,用 t_1 和 t_2 表示,并找出 D 中同时符合 $\Delta x = t_1, \Delta y = t_2$ 所对应的重叠块,则为 B 中 Copy-Move 区域的一部分。

(6) 步骤(1~5)找出的是 B 中的 Copy-Move 区域的各个重叠块,其左上角坐标为 (x_i, y_i) ,在 A 中的重叠块区域的左上角坐标为 (x'_i, y'_i) 满足: $x'_i = 2x_i - 1; y'_i = 2y_i - 1$,在 A 中计算 Copy-Move 区域时,重叠块大小为 b' ,且 $b' = 2b$ 。

通过步骤(1~6)就可以判断源图像中是否存在相同或相似的区域。步骤(1~6)的方框图如图 3 所示。

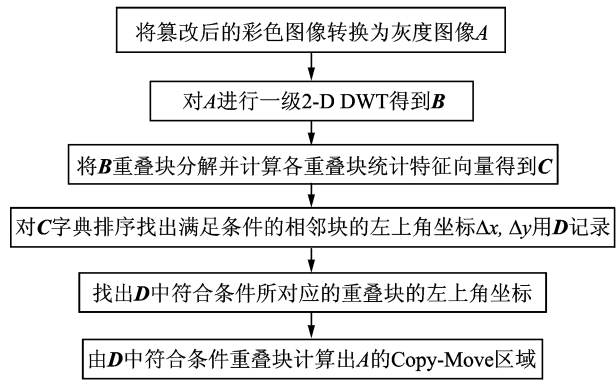


图 3 实验仿真流程图

2.2 实验结果及分析

选取经过篡改的彩色图像,经过灰度转换得到 512×384 的灰度图像。实验过程中取 $a = 0.001$, $b = 32, d = 50, t = 0.03$,实验结果如图 4 各子图所示,其中:图 4(a)为源彩色图像,图 4(b)为篡改部分没有经过其他操作的篡改图像,图 4(c)为对应图 4(b)的检测结果;图 4(d, f, h)分别为篡改之后的图像经过 JPEG 的 $Q = 25, 45, 75$ 有损压缩的篡改图像,图 4(e, g, i)分别为(d, f, h)的检测结果;图 4(j, l, n)分别为篡改部分经过高斯白噪声 $\text{SNR} = 0.5, 5, 10$ 污染的篡改图像,图 4(k, m, o)分别为图 4(j, l, n)的检测结果;图 4(p)为篡改部分先经过高斯白噪声 $\text{SNR} = 10$ 污染然后再把整幅图像经过 JPEG 的 $Q = 45$ 有损压缩的篡改图像,图 4(q)为图 4(p)的检测结果。

选取另一幅经过篡改的彩色图像,经过灰度转换得到 576×720 大小的灰度图像。本文所提方法与文献[4]的方法进行比较,并通过图 5 各子图显示比较的结果,本文所提算法阈值选取为 $a = 0.001$, $b = 32, d = 50, t = 0.03$ 。以下涉及的方法一指本文算法,方法二是文献[4]所提出算法。图 5(a)为源彩色图像;图 5(b)为篡改部分没有经过其他操作的篡改图像,图 5(c, d)分别为用方法一和方法二检测图 5(b)所得结果;图 5(e)为篡改部分经过 $\text{SNR} = 10$ dB 的高斯白噪声污染之后的篡改图像,图 5(f, g)分别为用方法一和方法二检测图 5(e)得到的结果;图 5(h)为篡改之后的图像经过 JPEG 的 $Q = 45$ 有损压缩的篡改图像,图 5(i, j)分别用方法一和方法二检测图 5(h)得到的结果;图 5(k)为篡改部分先经过高斯白噪声 $\text{SNR} = 10$ 污染然后再把整幅图像经过 JPEG 的 $Q = 75$ 有损压缩的篡改图像,图 5(l, m)分别为用方法一和方法二检测图 5(k)

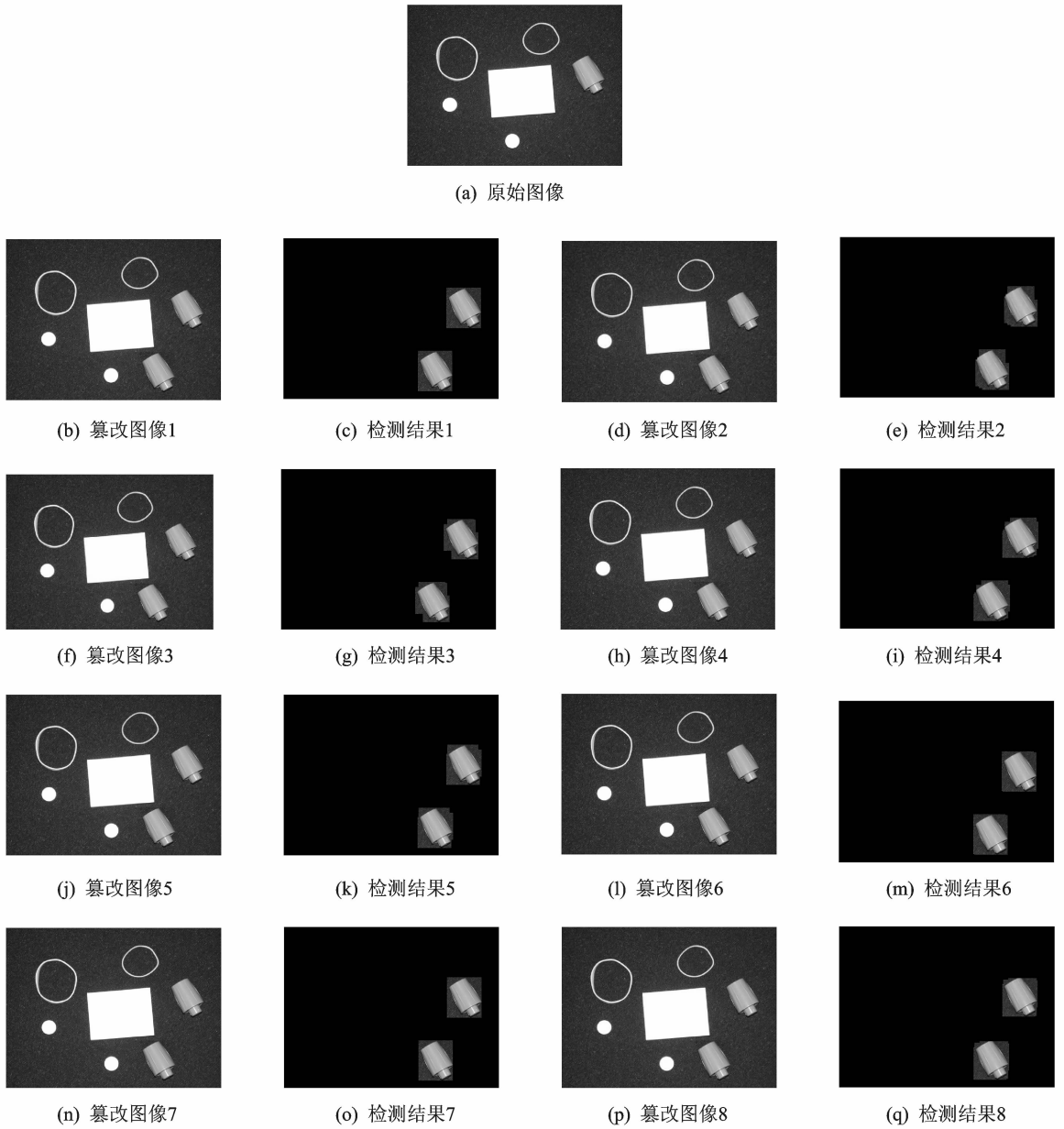


图 4 实验过程中各原始图、篡改图、检测结果图

得到的结果。

选取 50 幅 400×300 的彩色图像,在 50 幅彩色图像中分别在图像某处选取 70×70 大小的矩形区域复制然后粘贴到同幅图像的另一区域,用本文提出的方法和文献[4]所提的方法进行处理然后再做比较,并通过表格的方式显示比较结果。

50 幅篡改图像的检测结果中,如果没有检测到篡改,则 $J=1$,说明检测失败,如果检测到了篡改,则 $J=0$;用 R_1, R_2 分别代表检测到的 Copy-Move 区域,而 D_1 和 D_2 分别为实际的 Copy-Move 区域,用 R 表示各个图像的正确检测率, W 表示各个图像的错误检测率,而 \bar{R} 代表 50 幅图像检测的

平均正确率, \bar{W} 代表 50 幅图像检测的平均错误率。 T 代表检测算法所耗费时间。其中, R 和 W 的定义如下

$$R = \frac{|R_1 \cap D_1| + |R_2 \cap D_2|}{|D_1| + |D_2|}$$

$$W = \frac{|R_1 \cup D_1| + |R_2 \cup D_2|}{|D_1| + |D_2|} - R \quad (3)$$

表 1 是 50 幅彩色图像的篡改部分没有经过其他操作的篡改检测结果比较;表 2 是指 50 幅彩色

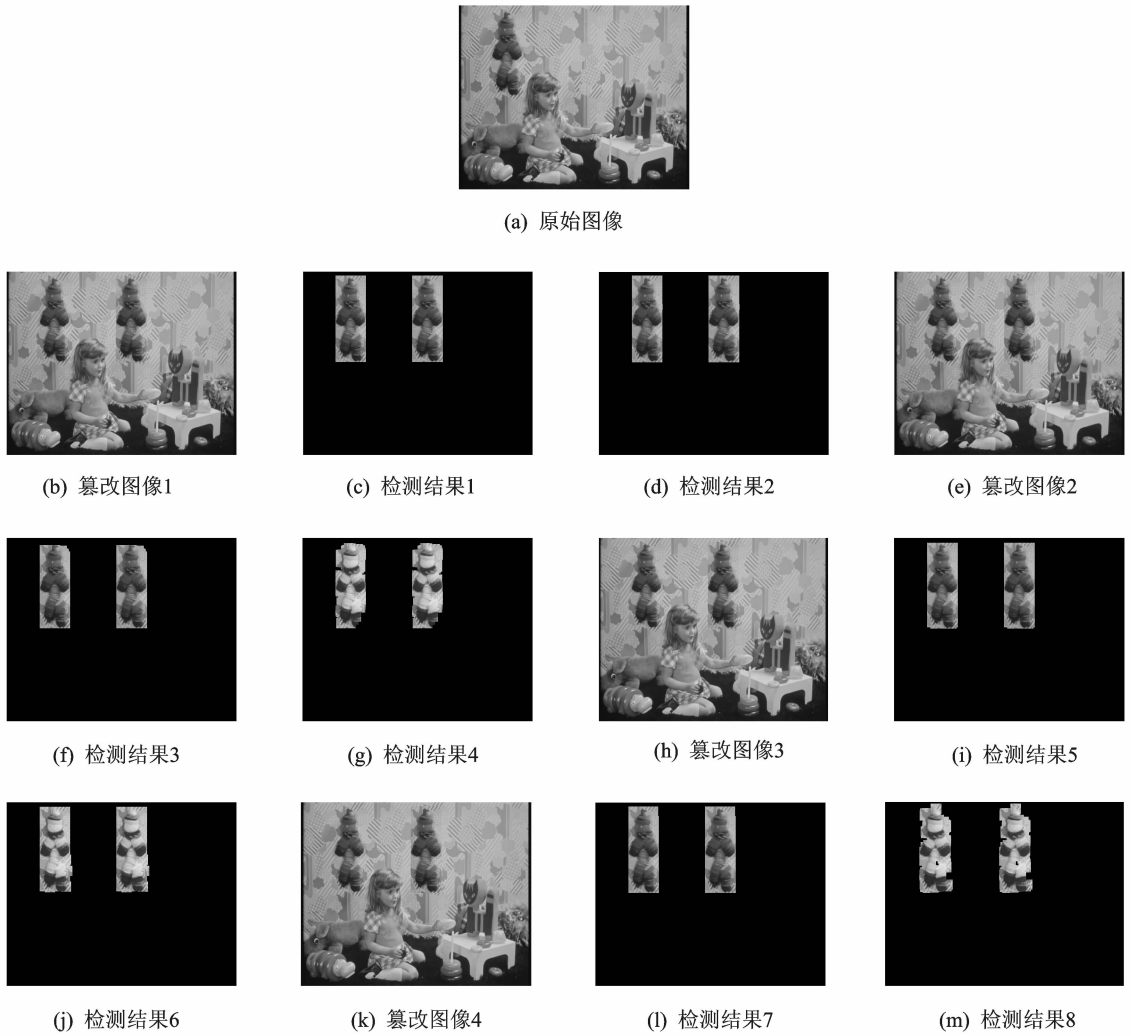


图 5 方法一和方法二对各种篡改检测后得到的结果比较

图像篡改部分经过 SNR=10 dB 污染的篡改检测结果比较;表 3 是指 50 幅彩色图像篡改部分经过 JPEG 的 Q=80 的有损压缩时篡改检测结果比较;表 4 是指 50 幅图像篡改部分先经过 SNR=10 高

表 1 篡改部分没有经过其他操作的篡改检测

算法	\bar{R}	\bar{W}	\bar{T}	\bar{J}
方法一	1	0	2.320 3	0.02
方法二	0.994 8	0.006 4	12.765 3	0

表 2 篡改部分经过 SNR=10 高斯白噪声污染的篡改检测

算法	\bar{R}	\bar{W}	\bar{T}	\bar{J}
方法一	0.966 0	0.034 0	2.327 8	0.06
方法二	0.901 0	0.099 0	11.012 0	0.14

表 3 篡改图像经过 JPEG 的 Q=80 有损压缩篡改检测

算法	\bar{R}	\bar{W}	\bar{T}	\bar{J}
方法一	0.938 9	0.061 0	2.353 3	0.04
方法二	0.936 4	0.063 6	11.932 6	0

表 4 篡改部分先经过 SNR=10 的 AWGN 污染再用 JPEG 的 Q=45 有损压缩的篡改检测

算法	\bar{R}	\bar{W}	\bar{T}	\bar{J}
方法一	0.933 9	0.066 1	2.494 5	0.08
方法二	0.833 0	0.167 0	11.520 5	0.14

斯白噪声污染,然后对整幅图像进行 JPEG 的 Q=45 的有损压缩的篡改检测结果比较。选取 50 幅 400×300 的彩色图像,对每幅彩色图像任意选取 70×70 大小的矩形区域,分别顺时针旋转 10°, 20°, 30° 然后粘贴到同幅图像的另一区域,检测结果分别为 $(\bar{R}, \bar{W}, \bar{T}, \bar{J}) = (0, 1, 2.326 5, 1)$; $(\bar{R}, \bar{W}, \bar{T}, \bar{J}) = (0, 1, 2.362 5, 1)$; $(\bar{R}, \bar{W}, \bar{T}, \bar{J}) = (0, 1, 2.374 2, 1)$, 表明检测不出旋转的篡改现象,原因是本文算法所选择的重叠块是矩形的,由于篡改部分已经旋转,重叠块的统计值发生很大的变化。

通过上述检测过程及结果,可以发现本文算法

能节省大量时间,这是由于小波变换不仅能增强检测过程中的抗噪声能力,因此在检测性能上比文献[4]略占优势,同时通过降维减少了计算量。由表1~4及图5各子图所示,本文和参考文献[4]方法相比在检测性能上略有优势。但本文在检测经过大小为 5×5 ,方差为1的高斯模糊后的篡改图像时, $(\bar{R}, \bar{W}, \bar{T}, \bar{J}) = (0.889, 0.111, 2.357, 0)$, \bar{R} 值比较小,这是因为复制区域和粘贴(篡改)区域经过高斯模糊后得到的边缘像素都由各自区域外部像素和内部像素组成,大小为 5×5 ,然后加权求和得到,但复制区域和粘贴区域各自边缘像素外部像素一般都不相同,所以这些加权后的边缘像素值不同而导致值比较小。

3 结束语

通过仿真实验,本文算法能快速有效地检测出篡改部分由JPEG有损压缩、高斯白噪声污染以及这两种结合的篡改图像。但本文算法检测不出旋转篡改,因此还有待改进。

参考文献:

- [1] 朱立,赵耀,倪蓉蓉.基于混合整数变换的高容量可逆数字水印[J].数据采集与处理,2010,25(2):188-194.
Zhu Li, Zhao Yao, Ni Rongrong. High-capacity reversible watermarking based on mixed integer transform[J]. Journal of Data Acquisition and Processing, 2010,25(2):188-194.
- [2] Huang Hailing, Guo Weiqiang, Zhang Yu. Detection of Copy-Move forgery in digital images using SIFT algorithm[C]//Computational Intelligence and Industrial Application, 2008. Wuhan, China; Pacific-Asia Workshop, 2008:272-276.
- [3] Zhang Jing, Feng Zhanlei, Su Yuting. A new approach for detecting Copy-Move forgery in digital images[C]//11th IEEE Singapore International Conference on Communication Systems. Guangzhou,

China; IEEE, 2008:362-366.

- [4] Luo Weiqi, Huang Jiwu, Qiu Guoping. Robust detection of region-duplication forgery in digital image [C]//18th International Conference on Pattern Recognition. Hong Kong, China; [s. n.], 2006:746-749.
- [5] Zhang Ting, Wang Rangding. Copy-Move forgery detection based on SVD in digital image[C]//2nd International Congress on Image and Signal Processing. Tianjin, China; [s. n.], 2009:1-5.
- [6] Kang Li, Cheng Xiaoping. Copy-move forgery detection in digital image[C]//3rd International Congress on Image and Signal Processing (CISP). Yantai, China; [s. n.], 2010:113-118.
- [7] Xu Bo, Wang Junwen, Liu Guangjie, et al. Image Copy-Move forgery detection based on SURF [C]//2010 International Conference on Multimedia Information Networking and Security (MINES). Nanjing, China; [s. n.], 2010:889-892.
- [8] Bayram S, Sencar H T, Memon N. An efficient and robust method for detecting copy-move forgery[C]//IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. Taipei, China; IEEE, 2009:1053-1056.
- [9] Zhao J. Detection of Copy-Move forgery based on one improved LLE method[C]//2010 2nd International Conference on Advanced Computer Control (ICACC). Shenyang, China; [s. n.], 2010:547-550.
- [10] Wang Junwen, Liu Guangjie, Li Hongyuan, et al. Detection of image region duplication forgery using model with circle block[C]//International Conference on Multimedia Information Networking and Security, 2009. Hubei, China; [s. n.], 2009:25-29.

作者简介:何德龙(1988-),男,硕士研究生,研究方向:图像处理;倪林(1967-),男,副教授,研究方向:图像处理, E-mail: nilin@mail.ustc.edu.cn;吴巧玲(1986-),女,硕士研究生,研究方向:图像处理。

