

基于SVD和直方图的JPEG 同幅图像篡改盲检测算法

王丽侠

(唐山学院 智能与信息工程学院, 河北 唐山 063000)

摘要:首先分析了基于小波变换和奇异值分解方法对同幅图像拼接篡改检测的缺点,结合相关重要的思想,构建了一种改进算法,该算法运用SVD提取图像块特征,并采用偏移频率的直方图来确定阈值。在仿真实验中,通过运用三种算法对图像篡改进行检测,对比结果表明,文章所提算法对同幅图像单次篡改和多次篡改均有更好的检测效果,而且通过修改图像的质量因子的实验进一步证实了该算法具有一定的鲁棒性。

关键词:同幅图像;拼接篡改;SVD算法;直方图;图像检测

中图分类号:TP391.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-349X(2017)03-0058-09

DOI:10.16160/j.cnki.tsxyxb.2017.03.013

Blind Detection Algorithm for the Same JPEG Image Tampering Based on SVD and Histogram

WANG Li-xia

(College of Intelligence and Information Engineering, Tangshan University, Tangshan 063000, China)

Abstract: The author of this paper has analyzed the shortcomings of the same image tampering detection based on wavelet transform and singular value decomposition (SVD), constructed an improved algorithm, in which SVD is employed to extract the feature of image blocks and the histogram with offset frequency to determine the threshold. In the simulation experiment, three algorithms were applied to detect image tampering. The comparison results show that the proposed algorithm can effectively detect single and multiple tampering with the same image, and the experiment with modified image quality factors has proved that this algorithm is robust.

Key Words: same image; splicing and tampering; singular value decomposition(SVD); histogram; image detection

0 引言

在高速发展的信息化社会,数字图像成为了一种重要的存储和传播媒介,成为人们日常

生活中重要的信息资源,但同时随着数字图像处理软件的不涌现,软件功能不断强大,使得图像的内容很容易被篡改,并且肉眼很难发现

作者简介:王丽侠(1982—),女,河北乐亭人,讲师,硕士,主要从事图像处理、图像通信研究。

篡改痕迹。

在这样一个背景下诞生了数字图像盲取证技术,其主要功能是鉴别数字图像的原始性、真实性和完整性。虽然篡改图像在视觉上不会留下明显的篡改痕迹,但是篡改会破坏图像内部的某种关系,数字图像盲取证技术就是根据这种关系来对图像是否被篡改进行鉴别。

同幅图像的拼接篡改(也称为 copy-move)检测算法最早是由纽约州立大学宾厄姆顿分校的 Fridrich 教授提出的^[1],该算法以一个固定大小的窗口为检测单元,通过将窗口以逐像素匹配的方式实时记录所有区域的匹配度,并将匹配度超过阈值的区域划定为重复区域,以此来判断图像是否被篡改。Farid 等人则使用主成分分析的算法检测图像^[2-3],该算法不仅降低了匹配维度,并且还能抵御一定强度的噪声和 JPEG 压缩。Zimba 等人将小波变换的方法用在图像篡改的检测中,得到了良好的检测效果^[4]。Zhang 等人使用奇异值(Singular Value Decomposition, SVD)算法对 copy-move 篡改进行鉴定^[5]。由于 SVD 算法具有降维效果好、运算速度快等优点为众多学者所应用,并进行深入研究和改进;文献[6]将小波变换引入了奇异值算法中,该算法对大部分图像的检测效果不错,但对某些篡改后再经过 JPEG 压缩的图像检测效果并不理想,这是因为小波变换在降维的同时也去除了图像的细节信息,加之 JPEG 为一种有损压缩,两次压缩使用的量化步长不一致使得粘贴部分和篡改部分的差异很大,再为了使边缘平滑而做的一定像素的羽化也会使差异更大。文献[7]针对上述问题加以改进,去除了小波变换而保留了更多的细节部分,再根据各个奇异值所起作用的大小选取不同的量化步长对其进行量化,该算法能够很好地检测出篡改部分,并且对羽化或者边缘平滑具有鲁棒性,但是该算法不能够检测图像的多次篡改。因此,针对目前图像篡改检测算法的不足,本文提出了一种基于 SVD 和直方图的 JPEG 图像篡改盲检测算法,该算法不仅保存了图像的细节信息,而且能够对单次及多次篡

改有较高的检测率。

1 同幅图像之间的拼接篡改模型

同幅图像的拼接篡改是把一幅图像的某个区域 copy-move 到同幅图像的人或者物体上,以遮盖某些目标或者生成原图像中并不存在的场景,一般情况下图像由 copy-move 方式篡改后会存在两处或两处以上非常相似或者是完全相同的区域。由于 copy-move 区域是较大面积的区域进行的整体移动,因而这些区域之间具有联通性和相关性,即在复制区域和粘贴区域中,相对位置像素间的偏移向量是相同的。图 1 给出了同幅图像的拼接篡改模型。

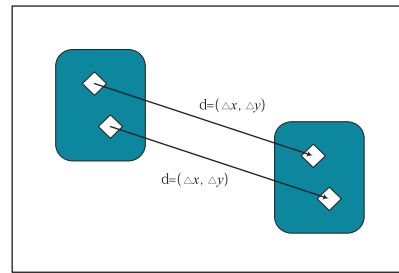


图1 同幅图像的拼接篡改模型

该模型可以表示为 $f(x_1, y_1) = f(x_1', y_1')$, 其中 $(x_1, y_1) \in R_1, (x_1', y_1') \in R_2, R_1$ 为被复制区域, R_2 为粘贴区域;且 $x_1' = x_1 + \Delta x, y_1' = y_1 + \Delta y$, $(\Delta x, \Delta y)$ 为两区域间的偏移向量。

大量的实验证明:除有包含大片平坦区域的图像外,自然图像中很少会出现大面积的相似区域,包括形状、纹理和颜色等信息(由图像库的统计结果得到,不小于原始图像面积 0.85% 的区域为大面积区域)^[8]。如果大面积的相似区域存在于一幅图像中,则该图像被 copy-move 过的可能性很大。基于上述讨论,本文将同幅图像的拼接篡改模型假设为以下四个方面:

- (1) 被复制区域 R_1 为一个连续且无洞的区域;
- (2) 被复制区域 R_1 和粘贴区域 R_2 不相交,即 $R_1 \cap R_2 = \emptyset$;
- (3) 偏移向量 $(\Delta x, \Delta y)$ 是一个非零常数,且整个被复制区域和粘贴区域的像素点对应相同的偏移向量;

(4)被复制区域的面积不小于整幅图像面积的 0.85%。

2 SVD 算法及改进

2.1 SVD 算法

从线性代数的角度看,一幅灰度图像可以用一个由许多非负元素组成的矩阵表示^[9]。若将一幅图像表示为矩阵 A ,且定义 $A \in R^{m \times n}$, R 表示实数域,设其秩为 r 。则矩阵 A 的奇异值分解定义为:

$$A = U\Lambda V^T。$$

其中, $U \in R^{m \times n}$ 和 $V \in R^{m \times n}$ 都是正交矩阵。 r 为对角矩阵,表示为 $\Lambda = \text{diag}(\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_r, 0, \dots, 0)$,如果满足 $\Lambda = \text{diag}(\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_r, 0, \dots, 0)$ 的降序排列,则称 $\delta_i (i=1, 2, \dots, r)$ 为矩阵 A 的奇异值,在 Λ 的 n 个对角元素中,前几个值会比后面的值大,其代表了 A 的主要信息。从图像处理的角度来看,图像的奇异值在它受到轻微扰动时不会发生剧烈的改变^[10]。

SVD 分析方法是基于图像信号的二阶统计特征分析,图像分块进行 SVD 的目的有两个:一是取得各图像块唯一、稳定的特征描述^[11];二是能够进行有效降维,使原方块的特征空间由 $m \times n$ 维下降到 r 维,减少算法的复杂度。

2.2 多次同幅图像拼接篡改的 SVD 检测算法

本文构建了一种能够对一次和多次图像拼接篡改区域进行有效检测和定位的算法,其流程如图 2 所示。首先,对待检测图像进行固定大小的滑窗分块;然后对每一分块进行奇异值分解,把所有分块的奇异值组成奇异值特征矩阵,并按行进行字典排序(根据相似的分块奇异值矢量相近的原理,排序后相似分块对应的矢量会在排序矩阵中相邻);最后根据遍历排序矩阵统计出图像偏移频率直方图,通过直方图找到阈值,然后检测出复制篡改区域。本文将待测的灰度图像设为 $I_{m \times n}$,其中 $m \times n$ 表示图像的大小^[11]。算法详细步骤描述如下:

(1)设窗口块 ω 的大小为 $a \times b$ (假设该分块大小小于被检测的 copy-move 图像区域),并

在图像的像素上依次滑动,共有 $N_\omega = (m-a+1) \times (n-b+1)$ 个分块;

(2)对每一个块用奇异值分解后得到的图像特征进行描述,特征空间从 $a \times b$ 维降到了 r 维,其中 $r = \min(a, b)$;

(3)对由所有分块组成的 $N_\omega \times r$ 维特征矩阵按行进行字典排序,得到特征矩阵 S , $\vec{S}_i$ 表示 S 中的第 i 行, $i=1, \dots, N_\omega$;

(4)遍历 S , 计算 S 中相邻两行 $\vec{S}_i, \vec{S}_j$ 对应分块的坐标值的偏移矢量 $(\Delta x, \Delta y)$;

(5)对满足条件 $\Delta x > a$ 或 $\Delta y > b$ 的两个分块进行偏移频率 $C(\Delta x, \Delta y)$ 统计,得到偏移频率矩阵 C (初始化为 0):

$$C(\Delta x, \Delta y) = C(\Delta x, \Delta y) + 1。$$

(6)对偏移频率矩阵 C 做直方图统计。篡改部分的最小偏移频率 $f_{\min}$ 远大于未篡改部分的最大偏移频率 $f_{\max}$, 间隔一般大于 50^[5]。利用此特点来设定阈值 T (其中 $T \in (f_{\max}, f_{\min})$),在直方图上表现为蓝色柱体的横坐标从左至右第一次出现大于 50 的范围。在本文中取 $T = (f_{\min} - f_{\max})/2$;

(7)对于偏移频率大于阈值 T 所对应的图像块进行标识,合并具有相同标识且相邻的图像块,组成 copy-move 的区域;如果被标识的图像块是孤立的(指连续区域小于整个图像面积的 0.85%),则判定为噪声,通过膨胀、腐蚀等形态学操作进行去除。

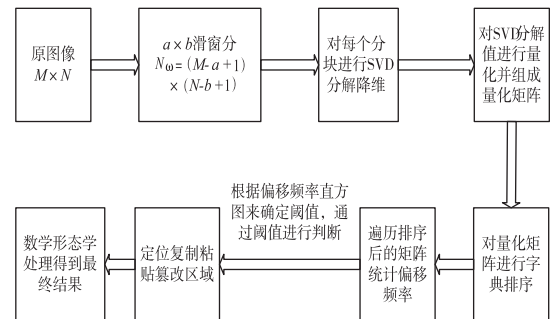


图 2 同幅图像 copy-move 盲检测流程

偏移矢量是用于计算排序图像特征矩阵中两个相邻行向量对应分块位置的横纵坐标偏移量,满足 $\Delta x > a$ 或 $\Delta y > b$ 的两个分块不应该重叠。在这个条件下,本文把分块偏移频率用其

对应的 $\vec{S}_i, \vec{S}_j$ 来统计,然后得到偏移频率矩阵 C ,以记录所有偏移量的统计信息。一个有意义的图像篡改区域应该包含许多连续的具有相似或者相同偏移矢量的分块,而不是零散的分块。因此可以得到:图像复制区域所对应的偏移统计频率在 C 中是比较大的数,且远远大于其他区域对应的偏移频率值。

3 实验结果及分析

为了验证算法的可行性,本文选用四张彩色 JPEG 图像作为原始图像(分别来自网络和实际拍摄),并应用 Photoshop 软件进行一次篡改和多次篡改,如图 3,4 和 5 所示,为使篡改区域更加真实,采用了羽化、平滑和移动边缘的处理方式对其进行了处理,然后用三种算法进行检测。在实验中,窗口块 ω 大小都为 8×8 ,本文算法中使用的阈值 T 根据直方图自动获取。

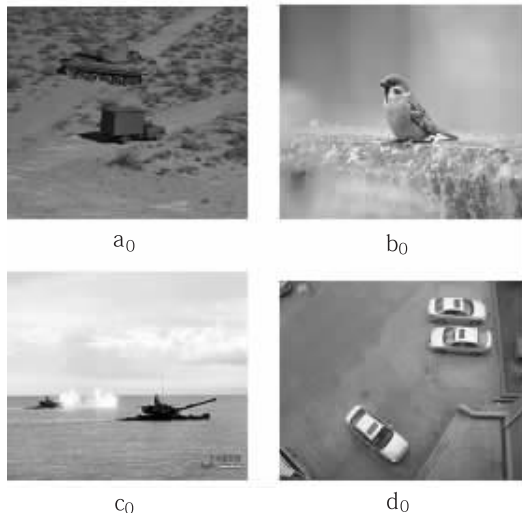


图3 原始图像

图4是图3的一次篡改图像,图5是在图4的基础上又做了一次篡改,其中每一次篡改中都包括一处篡改和多处篡改,如图4中的 a_1, b_1 和 c_1 为一处篡改, d_1 为两处篡改;图5中的 a_2, b_2 和 c_2 是对图4中 a_1, b_1 和 c_1 的一处篡改, d_2 是对图4中 d_1 的两处篡改。

本文提出的算法和文献[7]中的算法实质上摒弃了文献[6]使用的小波变换,小波变换虽然可以在一定程度上减小图像的数据量(通过小波变换后的图像数据量是原始图像数据量的

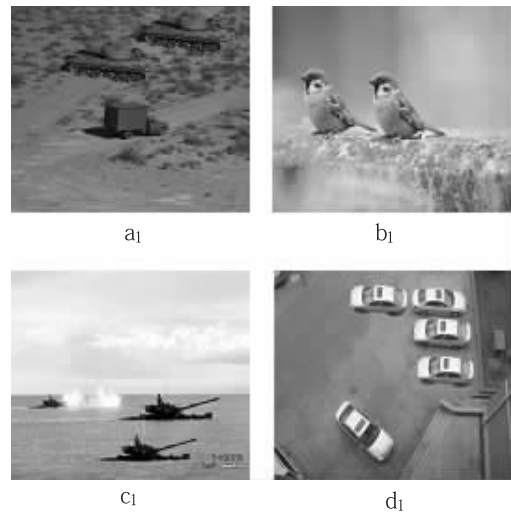


图4 第一次图像篡改

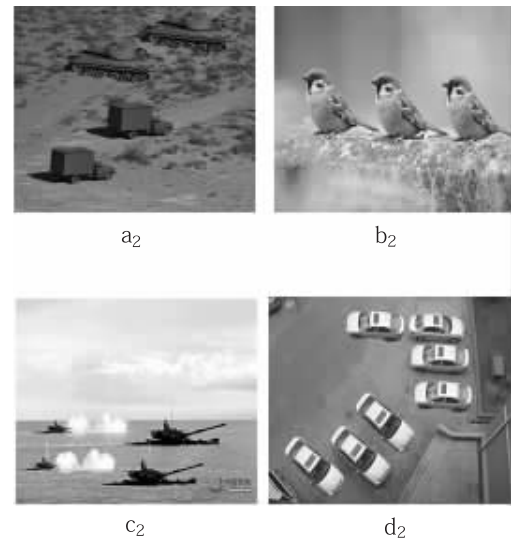


图5 第二次图像篡改

1/4),但它却减少了图像的细节,而图像的细节对后续的特征提取却起关键作用。为了验证分析的正确性,利用本文算法和文献[6]中算法分析没有经过小波变换的图像偏移频率和经过小波变换处理后的图像偏移频率之间的差异,这里用直方图的方式加以展示,如图6和图7所示。

在图6和图7中,横坐标的值表示两个相似联通区域的大小(即相似块里面含有像素的个数),判断依据为:在其奇异值特征相同或相似的情况下,位置间隔大于20个像素点。纵坐标表示相似块的个数,因为纵坐标的大小和图像块的大小有关,所以为了显示直观,本文对其

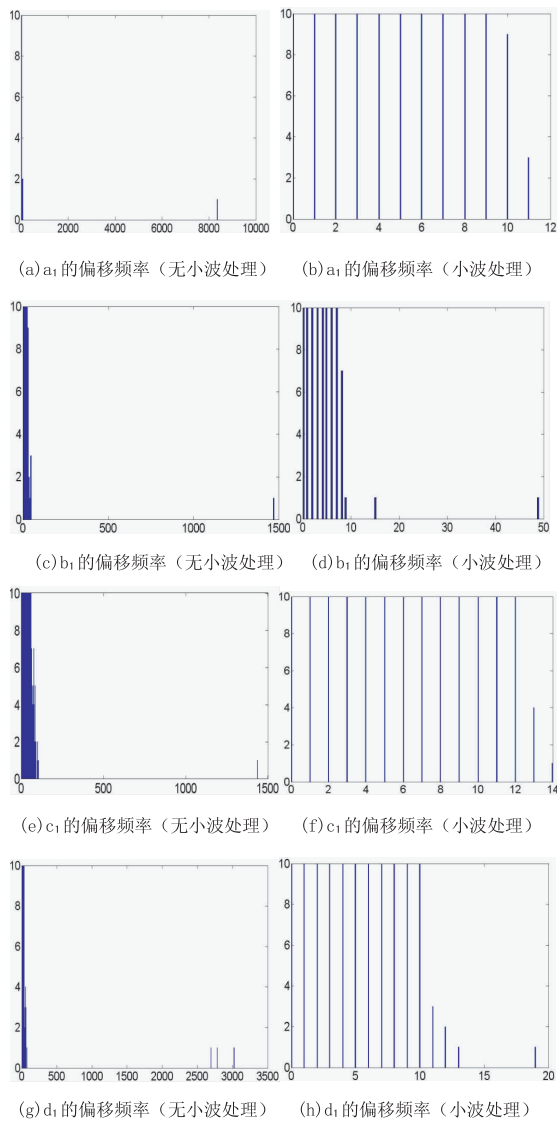


图 6 第一次图像篡改的偏移频率

进行了截断,去除大于 10 的部分,保留小于等于 10 的部分。从横坐标的对比可以看出,小波变换在减少图像信息量的同时也减少了图像的大部分细节,本来图像中相似区域的面积很大,但是经过小波变换后,相似区域的面积急剧减少。从图 6 的(g)和图 7 的(a)(c)(e)和(g)可以看出,当图像经过多处篡改或者是多次篡改后,其偏移频率中会出现多个相对独立的偏移频率,其分别代表各自的篡改区域,这是因为不同的篡改区域离原始部分的距离可能不一样,并且 JPEG 压缩对不同部位的影响也不同。

为了验证上述分析的正确性,本文选用三种算法对图像的一次及二次篡改检测结果作对

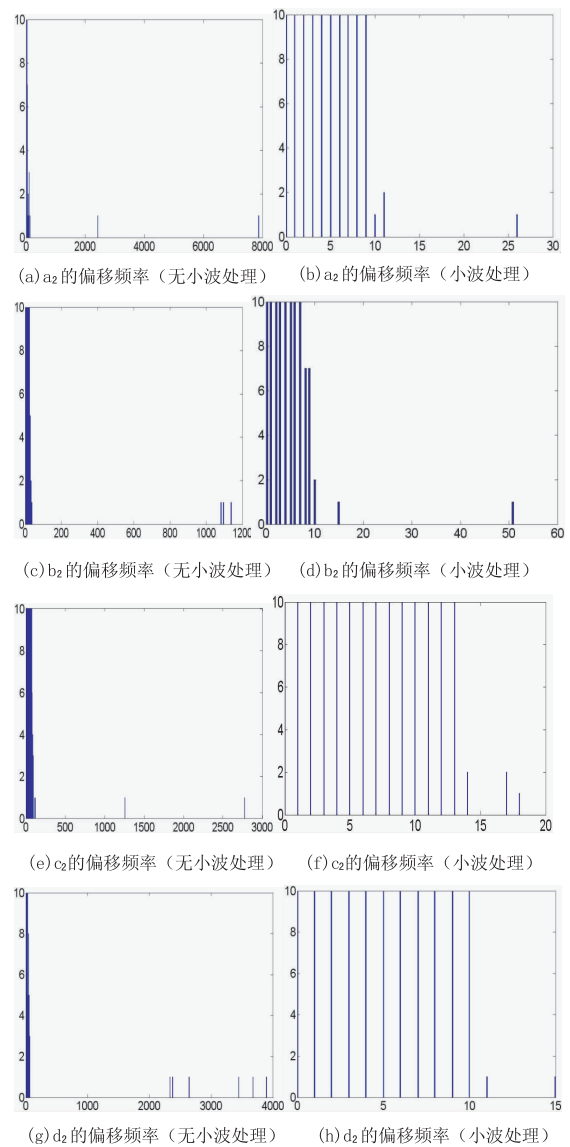


图 7 第二次图像篡改的偏移频率

比分析,第一种为文献[6]提出的基于小波和 SVD 的检测算法,为了方便起见,这里记为 A 算法;第二种为文献[7]提出的基于 SVD 的改进检测算法,这里记为 B 算法;第三种为本文提出的算法。检测结果如图 8 和图 9 所示。

从上面检测结果可以看出,A 算法基本上没有检测到篡改区域,B 算法对最近篡改的区域检测效果较好,但是没有检测到之前篡改的部分,这是因为 B 算法只使用了最大偏移频率,从图 7 中偏移频率直方图可以看出,篡改区域的偏移频率是远离于原点连续区域的所有偏移频率,本文算法就利用了这个特点,得到了对

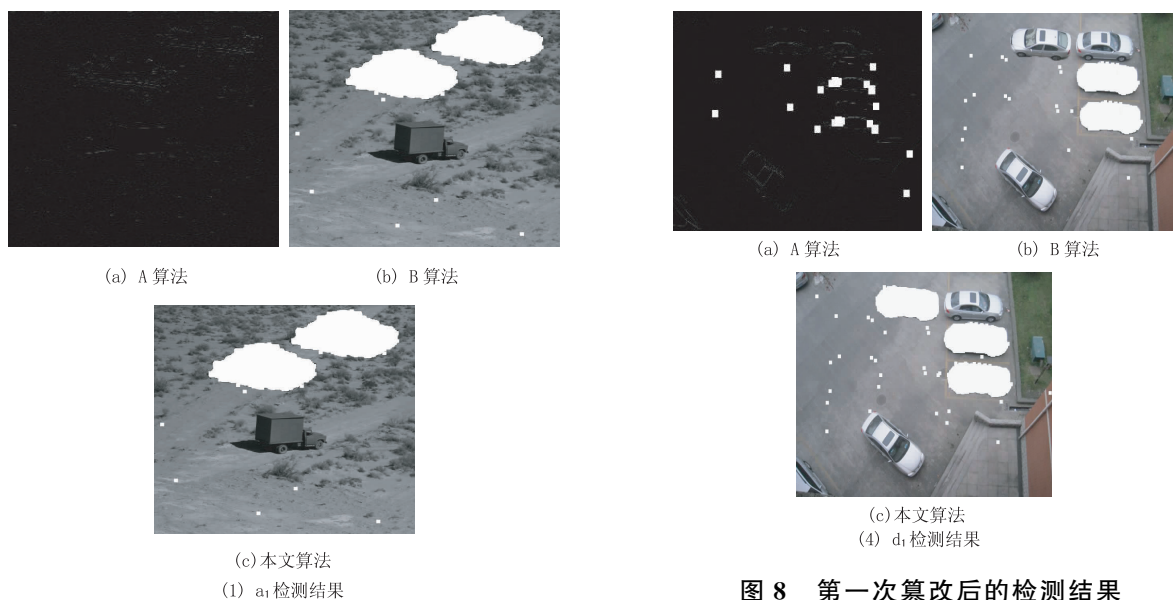
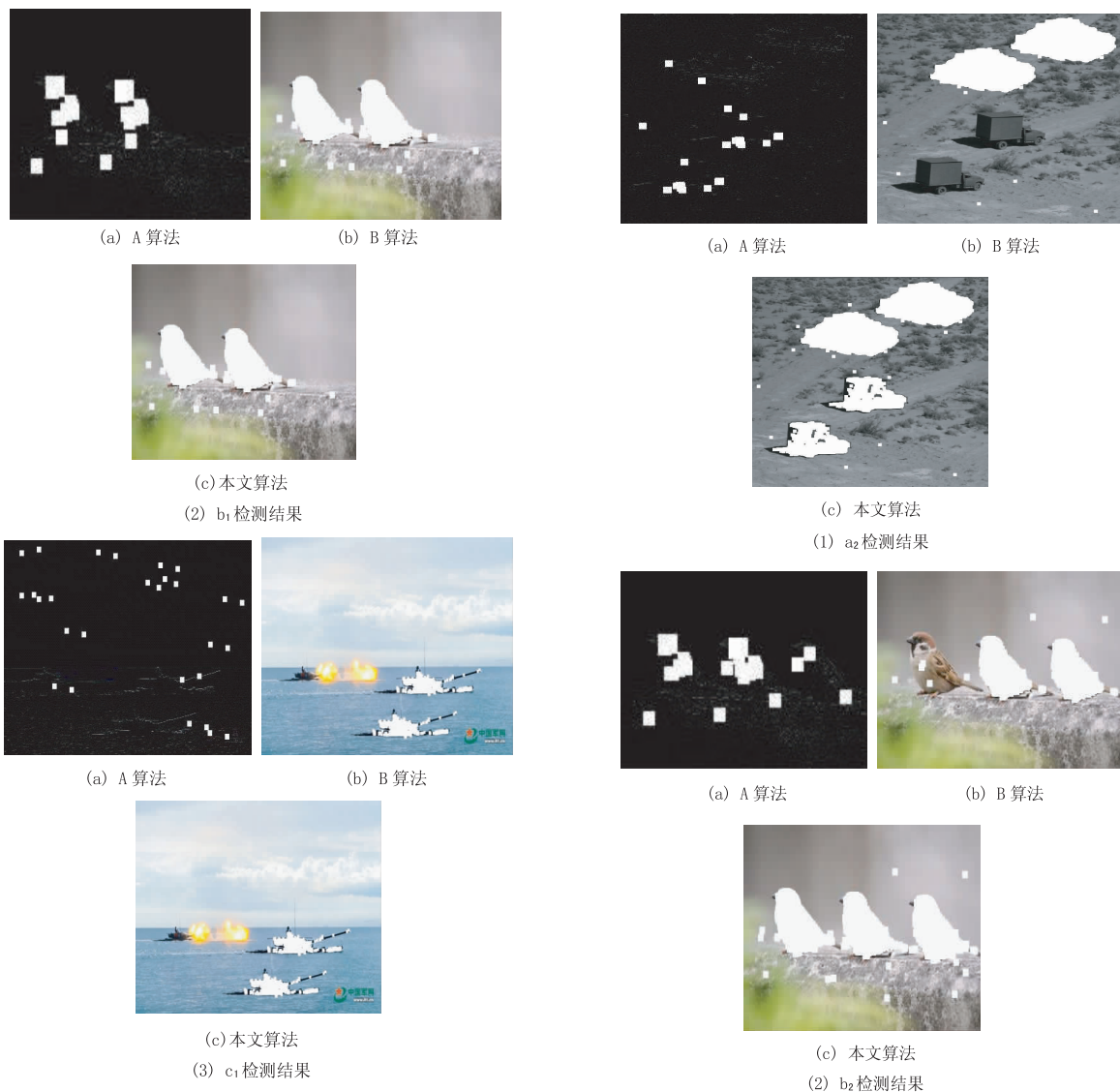


图 8 第一次篡改后的检测结果



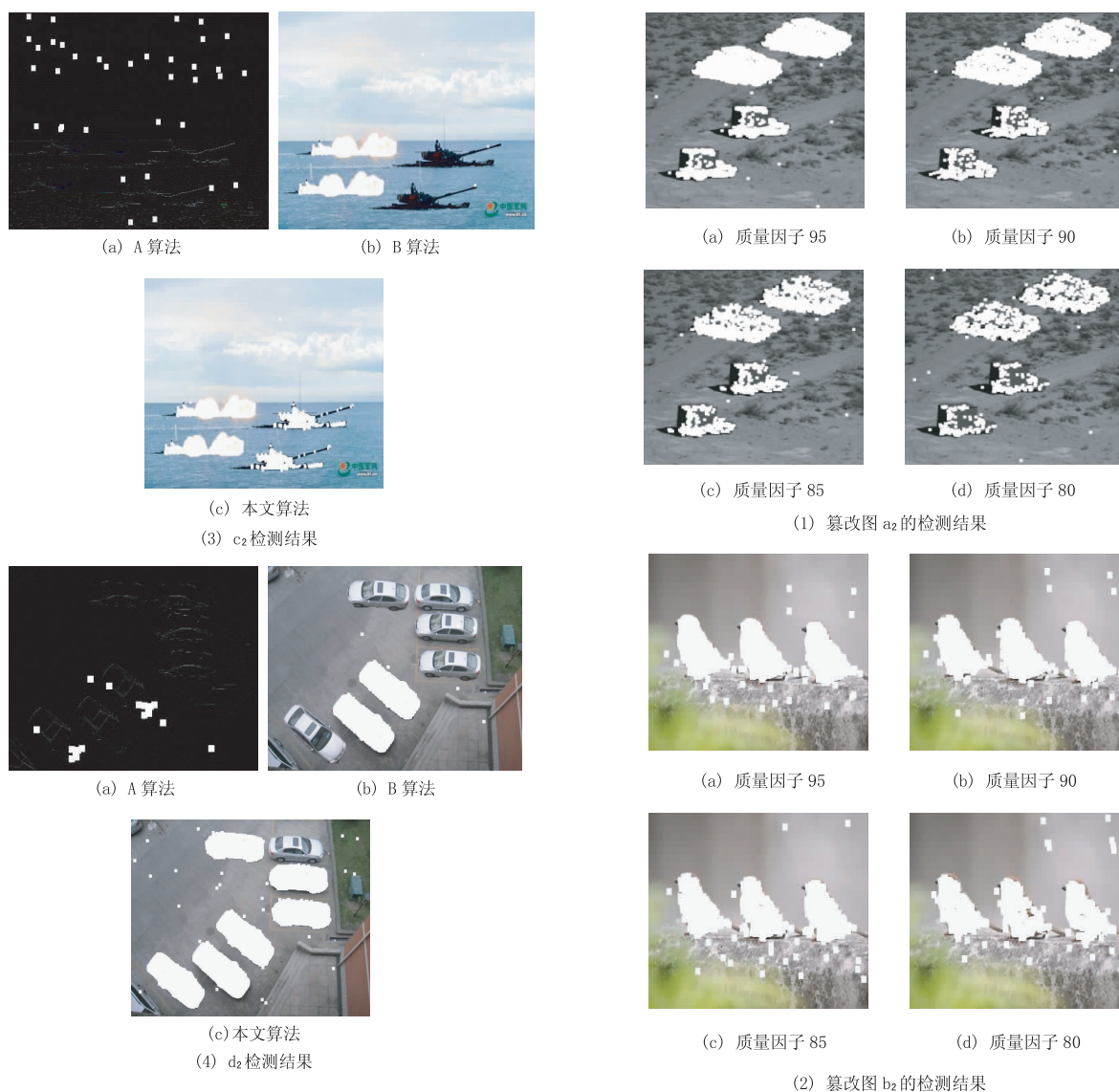


图 9 第二次篡改后的检测结果

单次篡改和多次篡改图像较满意的检测结果。

为了验证本文算法对 JPEG 压缩的鲁棒性,本文应用文献[12]中的方法对图像进行了质量因子设置,并对不同质量因子的图像做检测实验。考虑到本文算法的重点在于检测多次篡改,所以对第二次篡改的图像做了质量因子为 95,90,85 和 80 的四种压缩,然后用本文算法分别对其进行检测,检测结果见图 10。

从上面的检测结果可以看出,随着质量因子的下降,检测效果越差,篡改图像 c_2 的质量因子低于 90 的情况下检测效果不理想,对于篡改图像 a_2, b_2, d_2 ,质量因子高于 80 时的检测效果都比较满意,因此,可得出本文提出的算法具





图 10 鲁棒性检测

有一定的鲁棒性。

上面测试图像的篡改主要是对篡改区域的边缘进行了羽化和平滑等处理,为了了解篡改区域灰度值的变化对检测的影响,本文对篡改区域做了如下处理:灰度值增大和减小 10 个像素值、增大和减小 20 个像素值、扩大和缩小 0.1 倍、扩大和缩小 0.2 倍,边界值进行了处理,具体的区域已经标记,如图 11 所示。检测结果如图 12 所示。



图 11 篡改图像某区域的灰度值

从图 12 检测结果可知,本文算法不能够检测出篡改区域。其原因是当篡改区域的像素值整体改变时,它的特征已经改变很大,而奇异值是根据像素值计算得到,由此得出本文算法不

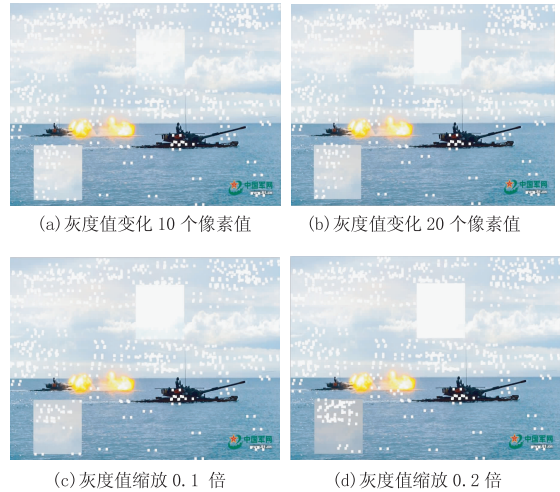


图 12 检测结果

能够对灰度值变化很大的篡改区域进行检测。

4 结语

本文对同幅图像拼接篡改检测进行了详细研究,分析了基于小波变换和奇异值分解方法对同幅图像拼接篡改检测的缺点,并针对同幅图像的复制粘贴篡改的检测,提出了一种基于 SVD 和直方图的 JPEG 图像篡改盲检测算法。实验结果可以看出,该算法对同幅图像单次篡改和多次篡改均有更好的检测效果,而且通过修改图像的质量因子的实验进一步证实该算法具有一定的鲁棒性,但对灰度值变化很大的篡改图像检测效果不太理想。

参考文献:

- [1] Fridrich J, Soukal D, Lukáš J. Detection of copy-move forgery in digital images[J]. Digital Forensic Research Workshop, 2003, 47(11): 1-10.
- [2] Popescu A C, Farid H. Exposing digital forgeries by detecting duplicated image regions[R]. Department of Computer Science of Dartmouth College, 2004.
- [3] Huang Y, Lu W, Sun W, et al. Improved DCT-based detection of copy-move forgery in images[J]. Forensic Science International, 2011, 206(1-3): 178-184.
- [4] Zimba M, Sun X M. DWT-PCA (EVD)

- based copy-move image forgery detection [J]. International Journal of Digital Content Technology and Its Applications, 2011, 5(1): 251 - 258.
- [5] Zhang T, Wang R D. Copy-move forgery detection based on SVD in digital image [C]. IEEE International Congress on Image and Signal Processing, 2009: 596 - 601.
- [6] Li G, Wu Q, Tu D, et al. A sorted neighborhood approach for detecting duplicated regions in image forgeries based on DWT and SVD [C]. IEEE International Conference on Multimedia and Expo, 2007: 1750 - 1753.
- [7] 王正庚. 数字图像复制粘贴型篡改盲检测 [D]. 成都: 四川大学, 2012.
- [8] 骆伟祺, 黄继武, 丘国平. 鲁棒的区域复制图像篡改检测技术 [J]. 计算机学报, 2007, 30(11): 1998 - 2007.
- [9] 晏力. 基于奇异值分解的 DCT 域数字图像水印算法 [J]. 重庆工商大学学报: 自然科学版, 2010, 27(3): 262 - 266.
- [10] 杨卫民, 孟令梅, 蔡键. 奇异值分解的可自恢复的图像篡改认证方案 [J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(13): 216 - 218.
- [11] 吴琼, 李国辉, 孙韶杰, 等. 基于小波和奇异值分解的图像复制伪造区域检测 [J]. 小型微型计算机系统 [J]. 2008, 29(4): 730 - 733.
- [12] Luo W Q, Huang J W, Qiu G P. JPEG error analysis and its application to digital image forensics [J]. IEEE Trans Inf Forensics Security, 2010, 5(3): 480 - 491.

(责任编辑: 李秀荣)

(上接第 57 页)

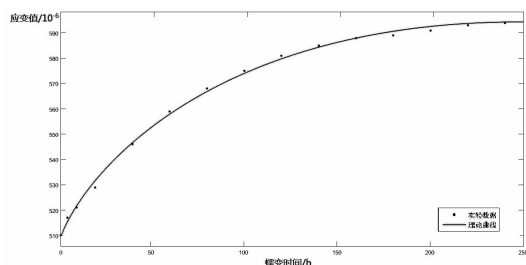


图 4 泥岩室内三轴蠕变实验数据
与理论值拟合曲线

(2) 运用前人对软弱岩石的实验数据验证了本文提出的改进的蠕变模型, 结果显示, 实验值与计算值拟合程度较好, 表明改进的蠕变模型是正确的, 适应于包括软粘土板岩、粘土岩、泥岩等在内的软弱岩石的前、中期蠕变阶段的分析, 可为今后在工程中的应用提供较为准确的理论依据。

参考文献:

- [1] 付腾飞, 付宝杰. 非线性流变模型的研究与应用 [J]. 煤炭技术, 2016(3): 87 - 89.
- [2] 张忠亭, 王宏, 陶振宇. 岩石蠕变特性研究进展概况 [J]. 长江科学院院报, 1996, 16(S1): 2 - 3.
- [3] 孟庆立. 岩体蠕变特征及其对地表下沉的影响 [D]. 保定: 河北大学, 2012.
- [4] 陆家佑. 岩体力学及其工程应用 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2011: 48 - 52.
- [5] 翟英达, 石兴, 刘吉新. 泥岩蠕变性质的研究 [J]. 山西矿业学院学报, 1995(3): 279 - 285.
- [6] 杨欣. 充填体蠕变本构模型及其工程应用 [D]. 赣州: 江西理工大学, 2011.

(责任编辑: 夏玉玲)