

基于相关性检测的数字图像盲取证算法仿真

杨晓花

(福州大学 至诚学院, 福建 福州 350002)

摘 要: 针对数字图像篡改中最常用的模糊操作, 提出一种基于相关性检测的数字图像盲取证算法. 该算法假设经过模糊操作后的原始图像和被篡改后的图像中的像素与邻域像素的线性相关性得到增强, 采用基于阈值的最短距离聚类法检测像素线性相关性, 发现模糊操作痕迹, 进而实现数字篡改图像的盲取证. 大量的实验验证结果表明该算法能够有效检测出被篡改图像的模糊操作痕迹, 同时, 能够对被篡改区域进行准确定位.

关键词: 数字图像盲取证; 图像篡改; 模糊操作; 线性相关性

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2018)04-0114-05

Blind Digital Image Forensics Based on Correlation Detection Algorithm

YANG Xiao-hua

(Zhicheng College, Fuzhou University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: For the most common fuzzy operation in digital image tampering, a digital image forensics algorithm based on the correlation detection is proposed. The algorithm assumes that linear correlation of pixel and neighboring pixels of the original image after fuzzy operation and the image has been tampered is enhanced, which uses the shortest distance clustering method to detect linear correlation of pixels, and reveals the trace of tampering, thus achieves forensics of digital image tampering. Through a lot of experiments, the results show that, the algorithm can effectively detect fuzzy operation trace of the tampered image, at the same time, which can be able to accurately locate the tampered.

Key words: blind digital image forensics; image manipulation; fuzzy operation; linear correlation

1 引言

目前, 图像编辑软件功能日益多样化, 尤其是数字图像在被篡改后不会留有任何痕迹, 这为公安侦破和司法取证带来了挑战, 也因此促进了数字图像鉴别技术研究的发展. 文献[1]将数字图像鉴别技术归纳为三种技术: 数字签名、数字水印和数字图像盲取证技术. 在上述三种技术中, 数字图像盲取证技术不依靠任何签名和键入信息来对图像的真伪和来源进行判定, 它正成为多媒体安全领域的热门课题, 具有广泛的应用^[2-5].

数字图像篡改时通常进行模糊、渐变等润饰的

操作, 以消除篡改留下的人眼可察觉的伪造痕迹. 对数字篡改图像中的润饰进行检测是数字图像盲取证研究的重点之一. 根据图像模糊后具有的不同特征, 提出了许多基于模糊检测的图像盲取证方法. 2005 年, D. Hsiao 等^[6]提出采用图像频域知识来作模糊估计的方法, 并将估计模糊区域视为最有可能被篡改的区域. 2006 年, 王波等^[7]提出了基于模糊操作对异常色调率的影响的数字图像取证技术. 2007 年, Y. Sutcu 等^[8]提出采用小波系数来对图像边缘清晰度和模糊度进行估计的方法, 检测和定位图像篡改区域. 2008 年, 周琳娜等^[9]提出基于图像形态学滤波边缘特性的盲取证算法.

收稿日期: 2017-07-18; **修回日期:** 2017-08-22

基金项目: 福建省中青年教师教育科研项目(JAT170849)

针对数字图像篡改中最常用的模糊操作,本文在假设模糊操作增强像素与邻域像素的线性相关性的基础上,采用基于阈值的最短距离聚类法发现模糊操作痕迹,实现数字篡改图像的盲取证。

2 基于相关性检测的数字图像盲取证算法

2.1 图像的模糊

对图像作模糊操作的数学表达式为

$$g(x,y)=\sum_{s=-m}^m\sum_{t=-q}^qh(s,t)f(x+s,y+t) \quad (1)$$

式中,原始图像记为 f ;作过模糊处理后的图像记为 g ;扩散函数记为 h ; $(2m+1)\times(2q+1)$ 表示模糊模板的大小。

由式(1)可知:如果经过模糊处理后的图像 f 记为 g ,在图像 g 中, $g(x,y)$ 表示其中位置 (x,y) 的像素值, $f(x,y)$ 表示原始图像 f 中位置 (x,y) 的像素值,那么 $g(x,y)$ 可以由 $f(x,y)$ 和与其相邻的像素值得线性组合来表示,同时其系数是相同的。

本文猜想如下:对于每一个 $g(x,y)$,其能不能够由 $g(x,y)$ 及其邻域像素的线性组合来表示,同时保证系数相同,如下式所示。

$$g(x,y)=\sum_{\substack{s=-m'\\s\neq 0}}^m\sum_{\substack{t=-q'\\t\neq 0}}^qa(s,t)g(x+s,y+t)+\delta(x,y) \quad (2)$$

式中, a 为线性组合系数(常量); δ 为误差;邻域尺寸为 $(2m'+1)\times(2q'+1)$ 。

2.2 线性相关性

为分析式(2)的猜想,本文引入如下定义。

定义:已知图像 g,g 表示为:

$$g(x,y)=\sum_{\substack{s=-m'\\s\neq 0}}^m\sum_{\substack{t=-q'\\t\neq 0}}^qa(s,t)g(x+s,y+t)+\delta(x,y) \quad (3)$$

且满足:

- ① 模型参数 $a(s,t)$ 为空间不变;
- ② 模型误差 $\delta(x,y)$ 具有很小的方差;

则称图像 g 中的像素与邻域像素之间存在线性相关性 (Linear Correlation, LC). 简称图像 g 的像素有线性相关性。

说明:

- ① 线性相关性具有相对性的。
- ② $\delta(x,y)$ 的方差越接近 0,线性相关性越强;反之越弱。当 $\delta(x,y)$ 的方差为 0 时,线性相关性最强。

2.3 模糊增强线性相关性

2.3.1 实验 1 (理想情况)

根据以上定义,猜想性质:若原图像为 f ,经过模糊后得图像 g ,则 g 的像素的线性相关性比 f 的强。即模糊操作增强像素与邻域像素的线性相关性。为说明该性质给出实验 1 和实验 2。

随机生成 256×256 的二维矩阵 I_0 ,对 I_0 分别进行 8 次模糊处理得模糊图 $I_n(n=1,\cdots,8)$,模糊参数如表 1 所示。采用最小二乘法^[10] 分别计算得 9 幅图像的模型误差 $\delta_n(n=0,\cdots,8)$,统计 δ_n 的方差。随机实验进行 100 次,实验结果如图 1 所示。

表 1 模糊参数表

模糊图像	模糊类型	模糊参数
I_1		模板尺寸: 3×3 ; 方差 $\sigma:1.0$
I_2	散高	模板尺寸: 3×3 ; 方差 $\sigma:2.0$
I_3	焦斯	模板尺寸: 9×9 ; 方差 $\sigma:1.0$
I_4	模	模板尺寸: 9×9 ; 方差 $\sigma:2.0$
I_5	糊圆	半径:3
I_6	盘	半径:7
I_7	运动	运动位移:5,运动方向: 45°
I_8	模型	运动位移:10,运动方向: 70°

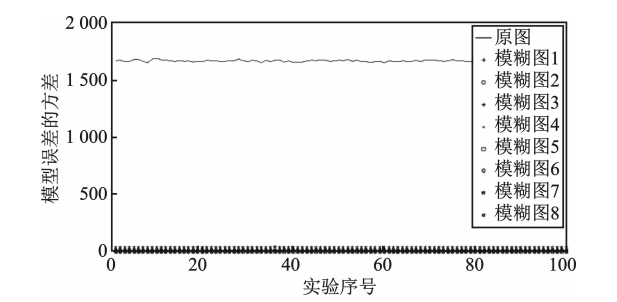


图 1 模糊对 δ 的方差的影响图

2.3.2 实验 2 (实际情况)

随机选择 79 张常用图像^[11],并缩小至 256×256 ,进行如实验 1 的操作,实验结果如图 2 所示。

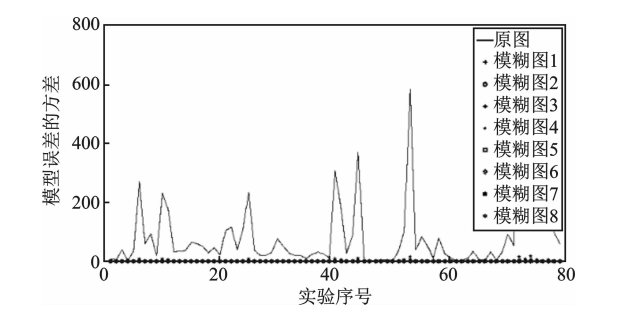


图 2 模糊对 δ 的方差的影响图

图 1 和图 2 表明:图像经过模糊后, δ 的方差

减小。

综上所述,实验 1 和实验 2 可知:通过对图像进行模糊处理,图像中的像素和邻域像素之间的线性相关性得到增强。验证了本文的取证算法。

3 基于像素线性相关性的篡改模糊检测

3.1 算法建立

利用“模糊增强线性相关性”的性质,分析待检测图像的像素的 LC,如果在某一连通区域内,像素的 LC 比其他区域的强,则可初判此区域为经过了模糊处理的区域,进一步判断该图像为篡改图像。

(1)改写式(3)的模型

已知图像 g ,若把误差项 $\delta(x, y)$ 的影响放入模型参数项 $a(s, t)$ 中,则式(3)改写为

$$g(x, y) = \sum_{\substack{s=-m \\ s \neq 0}}^m \sum_{\substack{t=-q \\ t \neq 0}}^q a'(s, t; x, y) g(x+s, y+t) \quad (4)$$

其中模型系数 $a'(s, t; x, y)$ 为空间可变的。

此时, $a'(s, t; x, y)$ 越趋向于空间不变, LC 越强;反之越弱。即当将每个像素用其邻域像素线性组合表示时,线性组合系数越相同,则 LC 越大。

因此,可以通过检测区域内像素的线性组合系数 $a'(s, t; x, y)$ 的相似度,相似度大且集中在某一区域的像素将被视为经过模糊处理的区域,其余的视为未经过模糊处理的区域。

(2) 算法思路

具体实现时,进行分块处理,采用最小二乘法计算每一块的线性组合系数, a'_i 表示第 i 块的线性组合,集合 $\{a'_i\}$ 表示所有块的线性组合系数集合,采用基于阈值的最短距离聚类法^[12],把 $\{a'_i\}$ 中的元素分为两类,即:

如果, $\exists a'_j \in \omega_1, d(a'_i, a'_j) < t$

则 $a'_j \in \omega_1$;

否则, $a'_j \in \omega_2$ 。

其中 $d(a'_i, a'_j)$ 为求距离运算, t 为给定阈值, ω_1 为经过模糊的像素类, ω_2 为没有经过模糊的像素类。

得到初次分类的结果 ω_1 和 ω_2 后,考虑到模糊操作是连通区域中进行的,并且单纯从距离分类可能出现误判现象,所以进一步使用形态学方法,使得模糊区域连通并尽可能地消除误判。

3.2 算法实现

本文提出一种能有效检测和定位数字篡改图像

模糊区域的算法:首先获得检测图像的邻域矩阵(8邻域),再进行图像分块操作,采用最小二乘法估计每一块的线性组合系数,然后对线性组合系数进行基于阈值的最短距离聚类,最后进行形态学操作,检测出篡改区域。

算法步骤详细描述如下。

(1) 分块:对检测图像 I 求 8 邻域(不考虑边界),并分块处理(块尺寸: 3×3);

(2) 求线性组合系数:采用最小二乘法,得每块的线性组合系数 a'_i ,并与块首地址 (x, y) 构成向量,用矩阵 A 存储;

(3) 聚类:采用基于阈值的最短距离聚类法对 A 聚类。本实验采用欧式距离。将距离小于给定阈值 t 的 a'_i 聚为 ω_1 类, $T_i = 1$, 否则为 ω_2 类, $T_i = 0$, 得聚类结果矩阵 T 。

(4) 定位及形态学处理:用 T 和 A 定位聚类结果,得检测结果图 I_d 。对 I_d 进行腐蚀、膨胀、求反的形态学操作,再与原图做乘法运算,得实验结果 I_r 。

4 实验结果和分析

4.1 实验结果

(1) 实验 3 (仿真数据)

为了验证本文提出算法,利用 Photoshop 对选取的灰度图像(图 3a)进行篡改:将一个图像中的一部分复制到原始图像中并对其作模糊处理,从而得到篡改后的图像,如图 3(c)所示。采用本文提出的算法对原始图像和篡改后的图像分别作像素相关性处理。实验参数:块尺寸取 3×3 , 阈值 $t = 0.054$, 结构元素为圆盘型,腐蚀半径 = 1, 膨胀半径 = 15。本文算法得出的结果,如图 3 所示。

(2) 实验 4 (实际数据)

网上下载图像(地址: <http://image.baidu.com>, 关键字:小胖+指环王),得图 4(a)和图 4(c),采用本文算法得图 4(b)和图 4(d),实验结果与文献[6]结果一致。

4.2 实验分析

(1) 阈值

为了分析阈值的选择进行如下实验。用 Photoshop 对图 5(a)进行篡改,即在人脸区域进行模糊处理得图 5(d)。采用本文算法,对原始图像和篡改图像分别进行块尺寸为 3×3 的像素线性相关性检测。实验阈值 t 根据图像的线性组合系数的最短距离 d_m 确定。 d_m 的定义如下:

$$\forall a'_i, a'_j \in \{a'\}$$

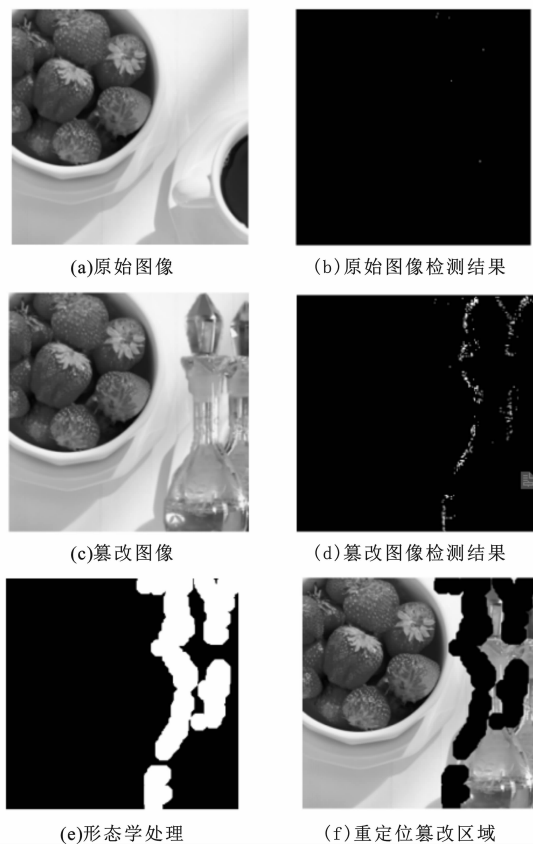


图3 篡改检测实验结果(仿真数据)

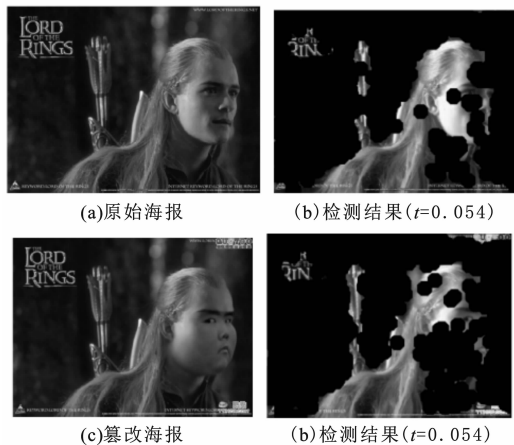


图4 相邻阈值的检测结果的差值图

如果 $\min(d(a'_i, a'_j)) = 0$, 则 $d_m = \epsilon$;

否则, $d_m = \min(d(a'_i, a'_j)), \epsilon$

其中 ϵ 是不为零的极小量, 本实验中 $\epsilon = 1 \times 10^{-9}$.

实验阈值 $t = 2^k \times d_m (k = 1, \dots, 40)$, 部分检测结果如图5和图6所示. (d_{m1} 为原始图的 d_m , d_{m2} 为篡改图的 d_m)

图5表明: 当阈值由小到大的变化时, 如果存在部分模糊处理, 则实验结果将会显示区域性; 如果不存在部分模糊处理, 则实验结果将近似均匀的分布在图像的整个区域. 因此, 实验时阈值可从 d_m 开始

成倍的增加, 若出现明显的区域特性, 则可初步判定该区域进行了模糊处理.

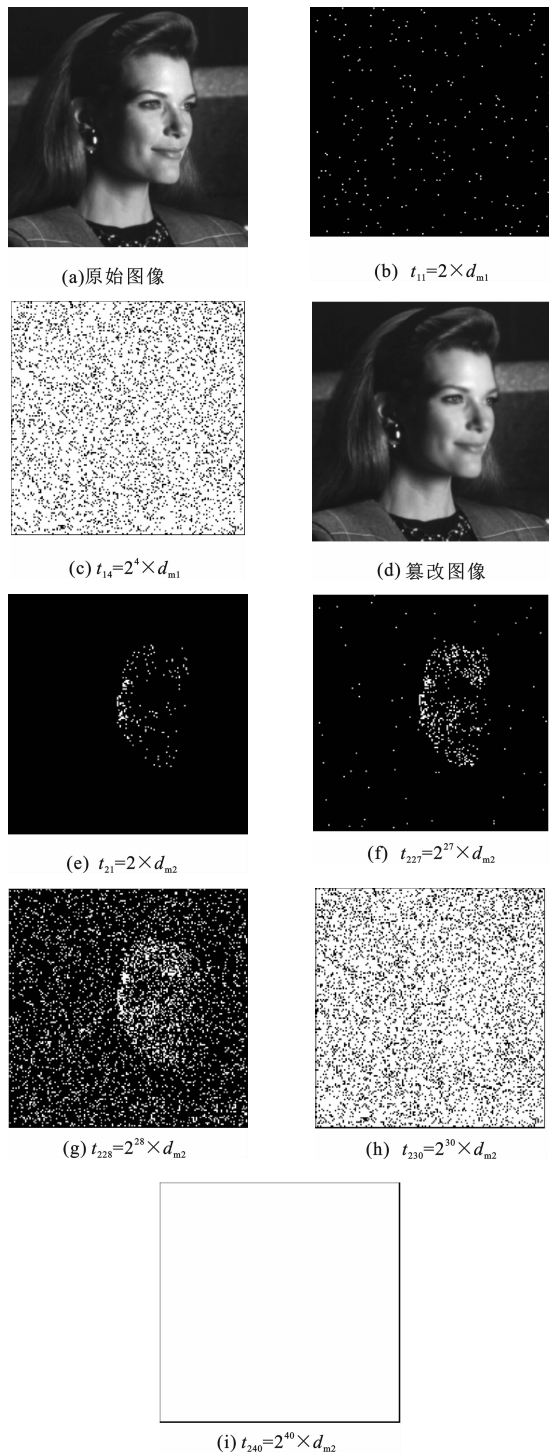


图5 不同阈值的部分检测结果

图6表明: 当 $t \in [2^1 \times d_m, 2^{27} \times d_m]$ 时, 检测结果基本不变, 从而验证了本文算法中阈值的健壮性.

(2) 鲁棒性

为了验证本文算法的鲁棒性, 对图4(c)进行后续处理: 进行JPEG压缩(图7a), 进行模糊(图7c), 后续处理参数如表2所示. 检测参数与实验4相同,

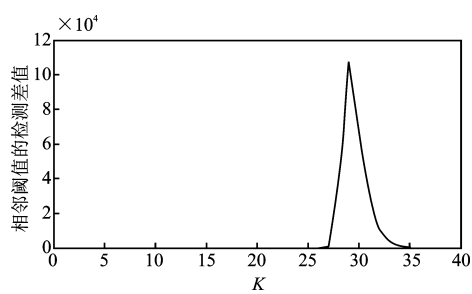


图 6 相邻阈值的检测结果的差值图

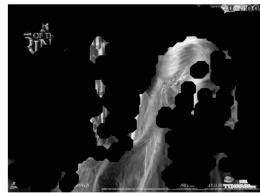
实验结果如图 7 所示。

表 2 后续处理参数表

后续处理类型	JPEG 压缩	模糊(高斯型)
后续处理参数	质量因子:85	模糊尺寸:3×3 模糊半径:1.0



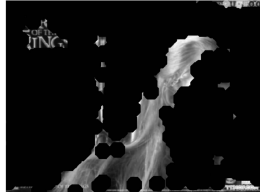
(a)JPEG压缩



(b)检测结果



(c)JPEG压缩



(d)检测结果

图 7 不同后续处理的篡改检测实验结果

图 7 表明,本文算法对压缩和模糊等操作具有一定的鲁棒性。

5 结束语

实验验证模糊操作可以增强像素与邻域像素的线性相关性,因此,利用该性质和模糊操作的区域性,本

文提出了数字图像盲取证算法:通过分析检测图像的线性相关性,判断模糊的可能性,根据模糊的可能性来判断图像是否被篡改过,并对篡改区域作出准确定位。大量实验结果表明,本文提出的算法能够有效检测出图像是否被篡改,并能够对其进行准确定位。

参考文献:

[1] 吴琼,李国辉,徐丹,等.面向真实性鉴别的数字图像盲取证技术综述[J].自动化学报,2012,34(12):1458-1466.

[2] Hobbs B, Tchoketch Kebir M. Non-destructive testing techniques for the forensic engineering investigation of reinforced concrete buildings[J]. Forensic science international, 2013, 167(2): 167-172.

[3] 刘一,刘本永.基于再采样的图像重采样伪作检测[J].计算机应用,2014,34(3):815-819.

[4] 郑文瑞,丁栋全.多元模糊数据的假设检验方法[J].模糊系统与数学,2011,21(6):123-127.

[5] 胡永健,简超,俞兵华.利用彩色图像信息的源相机辨识策略[J].计算机应用,2012,30(10):2694-2697.

[6] Hsiao D, Pei S. Detecting digital tampering by blur estimation[J]. 1st International Workshop on Systematic Approaches to Digital Forensic Engineering, 2013, 7(5): 264-278.

[7] 王波,孙璐璐,孔祥维,等.图像伪造中模糊操作的异常色调率取证技术[J].电子学报,2013,34(B12):2451-2454.

[8] Sutcu Y, Coskun B. Tamper detection based on regularity of wavelet transform coefficients[J]. Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing, 2014, 12(4):397-400.

[9] 周琳娜,王东明,郭云彪,等.基于数字图像边缘特性的形态学滤波取证技术[J].计算机学报,2013,36(6):1047-1051.

[10] Gusmao L, Butler J M, Carracedo A, et al. DNA Commission of the International Society of Forensic Genetics (ISFG): an update of the recommendations on the use of Y-STRs in forensic analysis [J]. Forensic science international, 2012, 157(2): 187-197.

[11] Albert A M, Ricanek Jr K, Patterson E. A review of the literature on the aging adult skull and face: Implications for forensic science research and applications [J]. Forensic Science International, 2014, 172(1): 1-9.

[12] 赵凌君,贾承丽,匡纲要. SAR 图像边缘检测方法综述[J].中国图象图形学报,2012,12(12):2042-2049.

作者简介:

杨晓花 女,(1979-),女,硕士,高级工程师.研究方向为图像处理、虚拟现实. E-mail:35354682@qq.com.