

基于 Zernike 矩的图像区域旋转篡改检测

姜 丽, 周少琼

(解放军电子工程学院 信息系, 安徽 合肥 230037)

摘 要:区域旋转复制粘贴是极为常见的图像篡改方式之一,为了有效地检测这种图像篡改,该文提出一种基于 Zernike 矩旋转不变性的篡改检测算法。首先,将图像划分为相互重叠的小块并计算各小块的 Zernike 矩特征值,对其进行字典式向量排序;其次,计算字典式矩阵相邻行之间的相关系数确定旋转篡改区域;最后,估计区域的旋转角度。实验结果表明,该算法不仅能够精确定位图像中旋转篡改的区域,而且能估算出区域旋转角度。可用于面向图像内容的真实性认证。

关键词:Zernike 矩;图像篡改;区域检测;旋转不变性;字典式排列

中图分类号:TP391.41

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2011)05-0048-04

Detection by Region Rotation Duplication Based on Zernike Moments

JIANG Li, ZHOU Shao-qiong

(Department of Information, Electronic Engineering Institute of PLA, Hefei 230037, China)

Abstract: The region rotation copy-move is a common method in digital image manipulation, based on Zernike moments, a detection algorithm of rotation invariance is proposed. Firstly, the image is processed with block-based Zernike. Then the Zernike moments vectors are lexicographically sorted and duplicated image blocks will be close in the sorted list, and therefore the correlation of neighbor rows is calculated during the detection steps. Experimental results demonstrate that the proposed approach can not only localize the duplicated regions accurately, but also evaluate the rotation angle effectively. The method suits to the forensics for image contents.

Key words: Zernike moment; image forgery; region detection; rotation invariance; lexicographic order

0 引 言

随着各种图像处理软件的广泛应用,数字图像越来越容易被恶意修改而不留下明显痕迹,人眼很难辨别其真伪性。如果虚假图像被滥用和传播,将会给社会和人们的生活带来巨大的危害,因此对可靠的数字图像内容完整性认证的研究^[1],变得日益迫切。数字水印(Digital Watermarking)^[2]和数字签名技术(Digital Signature)^[3]可以提供数字图像内容认证,然而,在网络中广泛传播的被篡改图像大部分都没有添加数字水印或数字签名,研究仅根据待认证图像本身性质^[4-6]判断其是否经过篡改的被动认证技术是实用性更强的图像认证方法。

区域旋转篡改是一种图像的局部篡改操作技术,复制图像中的某一区域,对其进行一定的旋转使之与背景更接近,然后粘贴到同一图像的不同区域,以达到

去除图像中某些重要特征或增加新目标的目的,此种篡改更难被发现。针对单幅图像的区域复制粘贴篡改, Hany Farid 和 Jassica Fridrich 分别提出了基于主成分分析^[7]和基于量化 DCT^[8]的块检测算法,可以对同幅图像中的局部复制粘贴进行检测,但对区域旋转篡改则不适用。基于数字图像重采样检测算法^[9],只能检测出整幅图像旋转,对区域旋转篡改也不适用。文献[10]通过检验三阶矩谱体现出的二次耦合特性判断图像中是否含有拼接造成的突变边缘。文献[11, 12],也只能检测出复制-移动-粘贴篡改。文中根据区域旋转篡改的情况,利用 Zernike 矩幅度值的旋转不变性,选取一定数量的 Zernike 矩作为特征,通过比较矩的幅度值的差异性,不仅可以检测出图像的区域复制粘贴篡改,而且能够估算出区域旋转的角度。

1 区域旋转篡改模型及图像 Zernike 矩

1.1 图像区域篡改模型

由上节区域旋转篡改的操作过程可知,篡改后的图像中至少存在两个较大面积的相似区域。如果检测到在一幅图像中存在大面积相似区域,则很有可能图

收稿日期:2010-09-21;修回日期:2010-12-26

基金项目:国家自然科学基金(60772122);安徽省自然科学基金资助重点项目(KJ2007A045, KJ2008A033)

作者简介:姜 丽(1984-),女,安徽六安人,助教,硕士,研究方向为图像处理与模式识别。

像是被区域篡改过的。文中提出的算法即以此作为判断图像是否被篡改的标准。

一般对单幅图像内容的修改,都是针对图像中某个连通区域,而要实现有意义的篡改,其篡改区域一般较大,假设篡改块的大小大于等于原始图像的 0.85%。以下是区域旋转篡改模型的一些合理假设:

- (1) 被复制的区域 R_1 是一个连通区域;
 - (2) 仅有一个区域 R_2 被篡改改为 R_1 , 且 $R_1 \cap R_2 = \emptyset$;
 - (3) R_1 的面积大于 0.85% 的原始图像大小。
- 图像区域篡改模型图如图 1 所示。

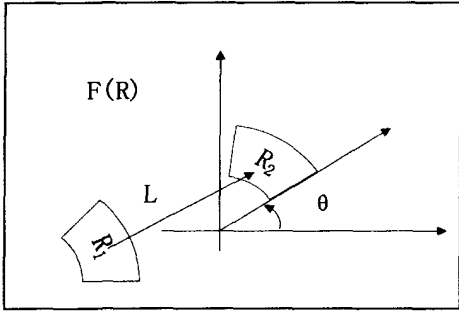


图 1 图像区域旋转篡改模型

该模型可以描述为:

在一幅篡改图像 $f'(R)$ 中, \exists 两个区域 $R_1, R_2 \subset R$ 及一个转移向量 $d = (d_1, d_2)$, 其中 $(|R_1| = |R_2| > |R| \times 0.85\%)$, 因此对于 $\forall (x_2, y_2) \in R_2$, 有:

$$f'(x_2, y_2) = f(x_1, y_1) \quad (1)$$

其中, $x_1 = x_2 + d_1, y_1 = y_2 + d_2, (x_1, y_1) \in R_1$, $f(x, y)$ 是原始图像的灰度值, $f'(x, y)$ 是篡改图像, R_1 是被复制区域, R_2 是被篡改区域, 而 $R = \{(x, y) | 1 \leq x \leq M, 1 \leq y \leq N\}$, 篡改图像 $f'(x, y)$ 可表示为:

$$f'(x, y) = \begin{cases} f(x, y), & (x, y) \notin R_2 \\ f(x + d_1, y + d_2), & (x, y) \in R_2 \end{cases} \quad (2)$$

1.2 图像 Zernike 矩

Zernike 多项式是计算 Zernike 矩时的变换核,它是在单位圆 $(x_2 + y_2 \leq 1)$ 中的一类完备正交基,可以表示为如下复多项式:

$$V_{pq}(x, y) = V_{pq}(\rho, \theta) = R_{pq}(\rho) \exp(jq\theta) \quad (3)$$

其中, p 为正整数或零; q 为正或负整数, 且满足下面条件: $p - |q|$ 为偶数, $|q| \leq p$; ρ 为原点 to 像素点 (x, y) 的矢量长度; θ 为矢量 ρ 与 x 轴之间的逆时针方向的夹角。

$R_{pq}(\rho)$ 为径向多项式, 定义为:

$$R_{pq}(\rho) = \sum_{s=0}^{(p-|q|)/2} \frac{(-1)^s [(p-s)!] \rho^{p-2s}}{s! (\frac{p+|q|}{2} - s)! (\frac{p-|q|}{2} - s)!} \quad (4)$$

由上式可以看出, $R_{p,-q}(\rho) = R_{pq}(\rho)$, 即 $R_{pq}(\rho)$ 与 q

的符号无关。对应数字图像 $f(x, y)$ 的 q 的 p 阶 Zernike 矩如下:

$$A_{pq} = \frac{p+1}{\pi} \sum_x \sum_y f(x, y) V_{pq}^*(x, y) \quad (5)$$

设旋转 θ_0 角度后的图像表示为 $f'(\rho, \theta)$, $f(\rho, \theta)$ 和 $f'(\rho, \theta)$ 的 Zernike 矩分别用 A_{pq} 和 A'_{pq} 表示, 则有:

$$f'(\rho, \theta) = f(\rho, \theta - \theta_0) \quad (6)$$

$$A'_{pq} = A_{pq} \exp(-jq\theta_0) \quad (7)$$

Zernike 矩的幅度具有旋转不变性, 旋转变换只是引起了 Zernike 矩的一个相移。因此, 可以利用 Zernike 矩的幅度作为篡改区域识别的特征。用 Zernike 矩的相位信息计算图像的旋转角度。由 (7) 式可得:

$$\arg(A'_{pq}) = \arg(A_{pq}) + q\theta_0 \quad (8)$$

式中 $\arg(A'_{pq})$ 、 $\arg(A_{pq})$ 分别是旋转图像和原始图像的相角, 只要知道旋转图像和原始图像的相角, 就可以求出图像的旋转角度 θ_0 , 即:

$$\theta_0 = \frac{\arg(A'_{pq}) - \arg(A_{pq})}{q} \quad (9)$$

除了 $q \neq 0$, 可以在 (p, q) 的任何取值下, 计算旋转角度。

2 基于 Zernike 矩区域旋转篡改检测算法

从图像区域复制篡改操作的过程可知, 任何一种图像区域复制粘贴篡改都会在图像原始区域和篡改区域引入一定的相关性, 这种相关性可以被当作成功检测图像篡改区域的理论依据。

文中提出的基于 Zernike 矩的图像区域篡改检测算法框图如图 2 所示。

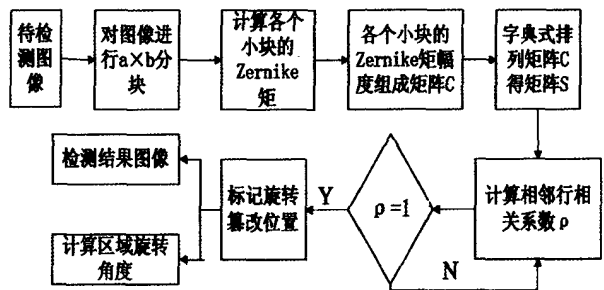


图 2 基于 Zernike 矩的区域旋转篡改检测框图

由算法框图可以看出, 对图像进行分块之后, 提取小块的 Zernike 矩幅度值, 通过比较块与块的幅度值, 实现对图像篡改区域的检测和定位。实验选取前 21 阶所有矩幅度值作为特征。文中算法检测过程具体描述如下:

(1) 把图像 I 转换成灰度图像, 图像大小为 $M \times N$ 。

(2) 将图像 I 划分为 $N_w = (M - a + 1) \cdot (N - b +$

1) 个互相重叠的大小为 $a \times b$ 的小块, 并计算每一小块的前 21 阶所有 Zernike 矩 A_{pq} (p, q 满足 1.2 节的规定)。

(3) 计算每个小块所有的 A_{pq} 的幅度值, 并将其组成行向量 C_i , 其中 i 为行向量的顺序, 共有 N_w 个行向量。得到维数为 $N_m \times N_w$ 的矩阵 C , N_m 为每个行向量元素个数。

(4) 字典式排列矩阵 C , 排列后矩阵记为 S , 维数与 C 相同。记 S_i ($i=1, 2, \dots, N_w$) 为 S 的第 i 行, 用 (x_i, y_i) 表示原矩阵 C 中与 S_i 对应的小块的左上角坐标。

(5) 计算矩阵 S 中相邻行向量 S_i, S_j 的位置差 $(\Delta x_{ij}, \Delta y_{ij})$ 和相关系数。

$$\rho(S_i, S_j) = \frac{\text{cov}(S_i, S_j)}{\sigma_{S_i} \sigma_{S_j}} \quad (10)$$

其中 $\text{cov}(S_i, S_j)$ 为 S_i, S_j 的协方差, $\sigma_{S_i}, \sigma_{S_j}$ 分别为 S_i, S_j 的标准差。

(6) 对每一组 S_i, S_j , 如果既满足 $\rho(S_i, S_j)=1$ 又满足 $|\Delta x_{ij}| > a$ 或 $|\Delta y_{ij}| > b$, 则表明图像中有篡改区域, 记下相应的 $(x_i, y_i), (x_j, y_j)$ 。

(7) 用相同的颜色标记以 $(x_i, y_i), (x_j, y_j)$ 为左上角坐标的匹配块。并利用式(9) 计算旋转角度 θ_0 。

3 实验结果及分析

实验采用 256×256 的 ash-bin 图像和 128×128 的 flower 图像来测试文中算法的性能, 实验中各参数设置如下, ash-bin: $a=32, b=32$; flower: $a=8, b=8$ 。ash-bin 和 flower 的原始图像和直接复制粘贴篡改图像及检测结果如图 3 所示。

由图 3(c) 和 (f) 可以看出, 在直接复制粘贴的情况下, 文中算法的检测定位非常准确。ash-bin 图像区域经过顺时针旋转 90° 和逆时针旋转 90° 的篡改图像及检测结果如图 4 所示。

从图 4 可以看出, 将 ash-bin 图像区域选中复制, 经过顺(逆)时针旋转 90° 之后, 再粘贴到其他区域的这种复制旋转篡改操作, 文中算法的检测定位也非常准确。

flower 图像区域经过顺时针旋转 90° 和逆时针旋转 90° 的篡改图像及检测结果如图 5 所示。

从图 5 可以看出, 将 flower 图像区域选中复制, 经过顺(逆)时针旋转 90° 之后, 再粘贴到其他区域的这种复制旋转篡改操作, 文中算法的检测定位也非常准确。

由 ash-bin、flower 图像区域顺(逆)时针旋转 90° 的篡改图像, 计算得到区域旋转角度结果数据如表 1 所示, 这里选择 $p=4, 5; q=1, 2$ 的 Zernike 矩的相位信息计算区域旋转角度。



图 3 测试图像 ash-bin 及篡改检测结果

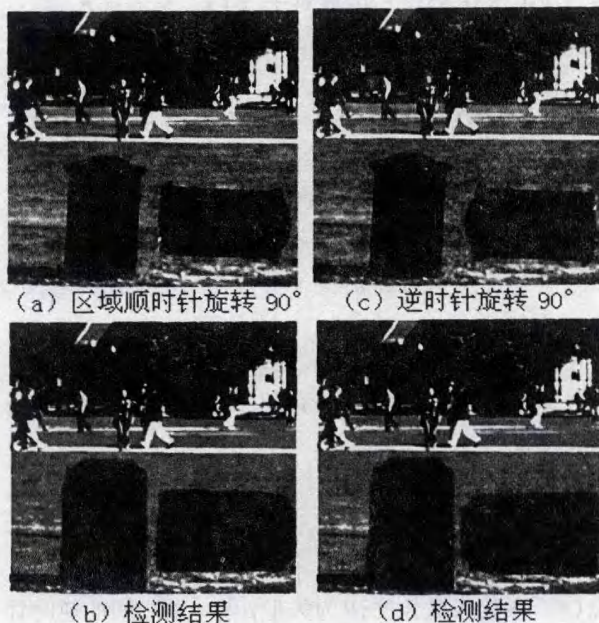
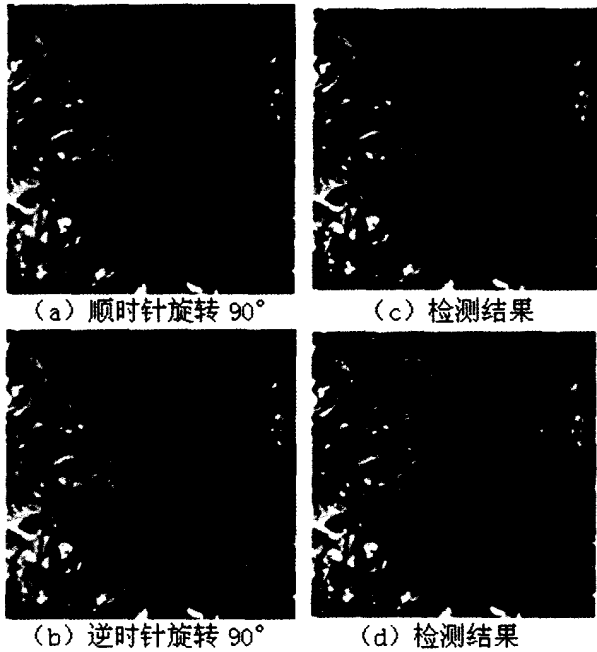


图 4 ash-bin 区域顺(逆)时针旋转 90° 检测结果

表中 θ_1 是原始区域的相角, θ_2 是篡改区域的相角, θ 是 θ_2 和 θ_1 的角度差。把 θ_1 和 θ_2 及相对应的 q 值代入公式(9), 即可计算出区域旋转角度。

从以上实验结果可以看到, 文中算法对图像区域复制粘贴篡改和区域旋转篡改检测定位都非常准确,



(a) 顺时针旋转 90°

(c) 检测结果

(b) 逆时针旋转 90°

(d) 检测结果

图5 flower 区域(顺逆)时针旋转 90°检测结果

表1 ash-bin 和 flower 区域顺(逆)

时针旋转 90°角度估计

(a) ash-bin 区域顺时针旋转 90°角度估计

(p, q)	(4, 1)	(4, 2)	(5, 1)	(5, 2)
θ_1	2.0082	2.8514	0.0181	2.9244
θ_2	0.4374	-0.2902	-1.5527	-0.2172
θ	-1.5708	-3.1416	-1.5708	-3.1416

(b) ash-bin 区域逆时针旋转 90°角度估计

(p, q)	(4, 1)	(4, 2)	(5, 1)	(5, 2)
θ_1	1.4415	-0.286	-0.1507	-0.1891
θ_2	3.0123	2.8556	1.4201	2.9542
θ	1.5708	3.1416	1.5708	3.1416

(c) flower 区域顺时针旋转 90°角度估计

(p, q)	(4, 1)	(4, 2)	(5, 1)	(5, 2)
θ_1	3.038	-1.2907	2.758	1.0822
θ_2	1.4672	1.8509	1.1872	-2.0954
θ	-1.5708	-3.1416	-1.5708	-3.1416

(d) flower 区域逆时针旋转 90°角度估计

(p, q)	(4, 1)	(4, 2)	(5, 1)	(5, 2)
θ_1	-1.7548	-1.0239	0.8333	-1.2414
θ_2	-0.814	2.1176	2.4041	1.9002
θ	1.5708	3.1416	1.5708	3.1416

并能计算出区域旋转篡改中区域旋转的角度,而文献[11,12]只能检测出区域复制粘贴篡改,对区域旋转

篡改及旋转角度的计算无能为力。

4 结束语

文中提出了一个区域复制(旋转)篡改的自动检测与定位算法,主要优点如下:

(1)把 Zernike 矩幅度值的旋转不变性运用到图像的局部区域,不仅能够检测出区域复制篡改,还有效地实现了区域旋转篡改的检测;

(2)准确地计算出区域旋转篡改中旋转的角度。

参考文献:

- [1] Zhu B B, Swanson M D, Tewfik A H. When Seeing isn't Believing [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2004, 21(2):40-49.
- [2] 吴金海,林福宗.基于数字水印的图像认证技术[J].计算机学报,2004,27(9):1153-1161.
- [3] Lu C S, Liao H Y M. Structural digital signature for image authentication: an incidental distortion resistant scheme [J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2003, 5(2):161-173.
- [4] 王 波,孔祥维,沈林杰,等.司法文检中的数字取证技术[C]//第七届全国信息隐藏暨多媒体信息安全学术大会.南京:出版者不详,2007:271-275.
- [5] 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,2006,34(12A):2451-2454.
- [6] 朱秀明,宣国荣,姚秋明,等.基于 EM 算法的数字取证中图像重采样检测[J].哈尔滨工业大学学报,2006,38(A):868-871.
- [7] Popescu A C, Farid H. Exposing Digital Forgeries by Detecting Duplicated Image Regions [D]. Hanover, New Hampshire, USA: Dartmouth College, 2004.
- [8] Fridrich J, Soukal D, Lukáš J. Detection of Copy-move Forgery in Digital Images [C]//Proceedings of Digital Forensics Research Workshop. Cleve-land: [s. n.], 2003.
- [9] Popescu A C, Farid H. Exposing Digital Forgeries by Detecting Traces of Resampling [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2005, 55(2):758-768.
- [10] Ng T T, Chang S F, Sun Q. Blind Detection of Photomontage Using Higher Order Statistics [R]. New York: Department of Electrical Engineering, Columbia University, 2004.
- [11] 姜 丽,吕婉丽,罗 斌.基于相位和幅度谱的数字图像被动认证算法[J].计算机工程与设计,2009,30(9):2121-2126.
- [12] 王俊文,刘光杰,张 湛,等.基于小波变换和 Zernike 矩的图像区域复制篡改鲁棒取证[J].光学精密工程,2009,17(7):1687-1693.