

基于高斯金字塔分解和圆谐傅里叶矩的 图像复制移动检测算法

董美丽, 张华, 周亚南

(河南财经政法大学 计算机与信息工程学院, 河南 郑州 450002)

摘要: 针对图像子块滑窗方式的移动导致数字图像复制移动检测算法的空间复杂度和时间复杂度很高的问题, 提出基于高斯金字塔分解和圆谐傅里叶矩的检测算法. 该算法首先对图像进行高斯金字塔分解, 提取图像的低频区域, 然后计算每个图像子块的 3 阶圆谐矩, 并对各个图像块的特征向量进行字典排序, 最后根据阈值进一步找到图像的复制粘贴区域. 实验结果表明, 该算法对经噪声污染和重压缩后的篡改图像具有很好的检测效果, 且运算量较小.

关键词: 高斯金字塔分解; 圆谐傅里叶矩; 字典排序

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A

The image copy-move detection algorithm based on Gaussian pyramid decomposition and circular harmonic Fourier moments

DONG Mei-li, ZHANG Hua, ZHOU Ya-nan

(College of Comp. and Infor. Eng. Henan Univ. of Economics and Law Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Aiming at the problem that the space and time complexity of digital image copy-move detection algorithm are very high because of the movement of image sub-block sliding window approach, the detection algorithm based on Gaussian pyramid decomposition and circular harmonic Fourier moments was proposed. The algorithm firstly finished the Gaussian pyramid decomposition of the image and extracted the low frequency component of image, then calculated 3-circular harmonic Fourier moments of each image sub-block and completed the dictionary sort to feature vector of each image sub-block, finally further find the image copy-taste area according to various threshold. The experimental results showed that this algorithm had good detection effects for the tampered image added noise or compression again, and less computation.

Key words: Gaussian pyramid decomposition; circular harmonic Fourier moments; sort by dictionary

0 引言

先进的数码相机和新近的 Photoshop 编辑软件包使得对图像的伪造篡改变得相对容易. 尽管数字签名和数字水印在检测和定位图像的篡改方面起

到了一定的作用, 但是数字签名^[1]和数字水印技术^[2]受到必须在检测前对图像进行预处理的限制, 如计算哈希值或者在图像中嵌套水印. 数字图像盲取证技术^[3-4]可以在不依赖任何预签名, 也不需要先在图像嵌入水印的前提下, 对数字图像的真伪和来

收稿日期: 2011 - 12 - 30

作者简介: 董美丽(1985—), 女, 陕西省渭南人, 河南财经政法大学硕士研究生, 主要研究方向为数字图像处理.

源进行鉴别.面向真实性鉴别的数字图像盲取证技术包括:基于图像伪造过程的遗留痕迹的盲取证技术、基于成像设备一致性的盲取证技术和基于自然图像统计特性的盲取证技术^[5].

图像复制移动篡改作为一种图像伪造过程遗留痕迹盲检测的一个重要方面,是一种特殊的篡改模式,它将一幅图像的一部分复制粘贴到另外一部分来隐藏一些重要的目标.由于复制的部分来自同一幅图像,其重要的属性,如噪声、色彩板和纹理都会与图像的其余部分相似,因此区别和检测这些部分比较困难.穷举搜索^[6]是最直接简单的方法,但是这种方法的时间复杂度太大,需要高性能的并行计算机才能满足实时性的要求.

为了减少运算时间,J. Fridrich等^[7]提出了将点匹配改为块匹配的方法,即先对每一小块计算DCT(discrete cosine transform)量化系数,再采用字典排序来检测篡改区域. A. C. Popescu等^[8]提出采用主成分分析PCA(principal component analysis)方法来减少特征空间的维数.本文拟基于高斯金字塔分解和圆谐傅里叶矩提出一种检测算法,以减小特征维数,从而提高运算速度.

1 检测算法

本文提出的算法是基于块匹配的.首先对图像进行高斯金字塔分解,提取图像的低频分量作为检测分析对象;然后对图像进行矩变换,求出图像的低阶矩作为图像子块的特征向量,并对特征向量进

行排序,从而缩小图像块匹配范围;最后利用阈值判别实现对篡改区域的定位.

1.1 高斯金字塔分解

基于块匹配的数字图像复制移动区域的检测由于一次移动一个像素,因此运算量太大.本文则先对原始图像进行高斯金字塔分解,然后提取图像的低频分量,从而减少程序运行时间.

高斯金字塔变换分为分解和重构2个步骤.分解的步骤如下:首先用一个滤波算子 H 对第 K 尺度的信号滤波,再经过一个 M 抽取,得到下一级的平滑逼近信号;然后次平滑信号经过一个 M 插补后,再经过一个平滑预测滤波器得到它的预测信号;最后预测信号与原始信号相减就得到了下一级的细节信号.重构的过程与之相反.经高斯金字塔分解后,原始图像分解成许多子图像,这些子图像在不同空间有不同的分辨率.高分辨率的图像在最底层,低分辨率的在上层,从而形成了一个金字塔的形状.图1为金字塔分解后的图像.

假设原始图像为 T , T_0 为第0层也就是最底层,那么构造第 l 层的过程为:将 $l-1$ 层图像与低通滤波函数 $W(s,t)$ 进行卷积(即点乘),然后对卷积后的结果进行隔行隔列降采样,即

$$T_l = \sum_{s=-2}^2 \sum_{t=-2}^2 W(s,t) T_{l-1}(2i+s, 2j+t)$$

$$0 < l \leq P \quad 0 \leq i < C_l \quad 0 \leq j < R_l \quad \textcircled{1}$$

其中 P 为金字塔分解的层数; C_l 为第 l 层的列数; R_l 为第 l 层的行数; $W(s,t)$ 为窗口函数,也叫生成



a) 原始图像

b) 分解为1/2的图像

c) 分解为1/4的图像

图1 金字塔分解后的图像

核,即一个 $s \times t$ 的矩阵,通常取 5×5 . 随着高斯金字塔分解层数的增加,分辨率逐渐下降.

1.2 圆谐傅里叶矩

采用矩作为图像特征是因为图像矩具有多畸变不变性,即当图像进行旋转、缩放、平移等变化时,作为图像特征的矩可以保持不变.而在各种矩中,圆谐傅里叶矩^[9-10]性能较好,并且运算简单,因此本文在计算图像子块特征的时候采用圆谐傅里叶矩作为图像子块的特征.

圆谐傅里叶矩的定义为

$$\phi_{mn} = \int_0^{2\pi} \int_0^1 f(r, \theta) T_n(r) \exp(-jm\theta) r dr d\theta$$

$$\text{其中 } T_n(r) = \begin{cases} 1/\sqrt{r} & n=0 \\ \sqrt{2/r} \sin[(n+1)\pi r] & n \text{ 为奇数} \\ \sqrt{2/r} \cos(n\pi r) & n \text{ 为偶数} \end{cases}$$

函数系 $T_n(r)$ 在 $0 \leq r \leq 1$ 区间内是正交和完备的.

1.3 算法步骤

本文的具体检测步骤如下:

1) 高斯金字塔分解. 假设被检测图像的行数为 M , 列数为 N . 将图像进行高斯金字塔分解得到 T_1 , 大小为 $\lfloor M/2 \rfloor \times \lfloor N/2 \rfloor$.

2) 提取图像子块. 将图像 T_1 按从左到右、从上到下的顺序提取 $B \times B$ 块, 那么总共有 $\lfloor (M/2 - B + 1) \rfloor \times \lfloor (N/2 - B + 1) \rfloor$ 个图像子块. B 为圆谐矩的阶数加 1.

3) 计算每个子块的圆谐矩. 计算每个图像子块的圆谐矩, 得到一个 $N_w \times B(N_w = \lfloor (M/2 - B + 1) \rfloor \times \lfloor (N/2 - B + 1) \rfloor)$ 大小的矩阵.

4) 对得到的 $N_w \times B(N_w = \lfloor (M/2 - B + 1) \rfloor \times \lfloor (N/2 - B + 1) \rfloor)$ 的特征值向量矩阵进行字典排序, 排序后的矩阵记为 S . S_i 代表 S 中的第 i 行, 其中 $i = 1, 2, 3, \dots, N_w$. (X_i, Y_i) 代表 S_i 对应的图像的左上角的坐标值.

5) 遍历 S 中相邻 2 行, 计算出它们对应的图像块左上角坐标值的偏移矢量 $(\Delta X, \Delta Y)$.

6) 对满足 $\Delta X > B$ 或者 $\Delta Y > B$ 的 2 行 S_i 和 S_j , 统计其偏移率 $C(\Delta X, \Delta Y)$, 由此得到偏移率矩阵. $C(\Delta X, \Delta Y) = C(\Delta X, \Delta Y) + 1$.

7) 对偏移率大于阈值 R 的块进行标识. 如果这些块是连续的, 就组成了复制粘贴区域; 如果是孤

立的, 则有可能是噪声.

8) 最后对图像进行形态学的开或闭操作以消除噪点.

2 实验结果分析

实验环境: Windows XP 系统、Pentium(R) Dual-Core 的 CPU 2.8 GHz 的主频、2 GB 的内存. 分别对灰度图像和彩色图像采用本文所提出的算法进行验证. 参数的选取如下: 图像子块的大小为 8×8 , 高斯金字塔分解 2 次, 取圆谐矩的 3 阶矩, 偏移率阈值 R 取偏移率矩阵 C 中最大值的 0.7 倍.

首先对只复制粘贴没有后处理的篡改进行检测, 然后对有各种后处理(如重压缩、加噪)的篡改进行检测.

2.1 灰度图像的复制粘贴区域检测

实验采用 260×400 的图像, 原始图像如图 2a) 所示, 篡改图像如图 2b) 所示, 前面的垃圾桶复制粘贴到左边. 图 2c) 是对图 2b) 的检测效果图; 图 2d) 是对图 2b) 加了均值为 0, 方差为 0.01 的高斯噪声后的图像; 图 2e) 是对图 2d) 的检测效果图; 图 2f) 是对图 2b) 进行重压缩后的图像, 压缩因子为 95; 图 2g) 为图 2f) 的检测效果图.

2.2 彩色图像的复制粘贴区域检测

对彩色图像检测有 2 种处理方式: 1) 先将 RGB 图像转换为灰度图像, 再进行处理; 2) 对 RGB 图像的 R, G, B 分量按类似灰度图进行检测, 然后将 3 个分量的结果做与运算, 最后经过开运算操作得到检测结果. 本文采用的是第一种方法.

以 400×290 的图像为例, 图 3a) 为原图像, 图 3b) 为对草地的足球进行复制粘贴的篡改图像, 图 3c) 为图 3b) 的检测效果图; 图 3d) 为加了均值为 0, 方差为 0.01 的高斯噪声后的篡改图, 图 3e) 为图 3d) 的检测效果图; 图 3f) 为重压缩的篡改图, 压缩因子为 80, 图 3g) 为图 3f) 的检测效果图.

实验结果表明, 无论是灰度图像还是彩色图像, 本文提出的算法对图像的篡改伪造区域具有很好的检测和定位效果.

2.3 实验分析比较

本文算法采用字典排序的匹配方法, 并且事先对图像进行了高斯金字塔分解, 因此运算量较小. 假设一幅 256×256 大小的灰度图像, 子块的大小为

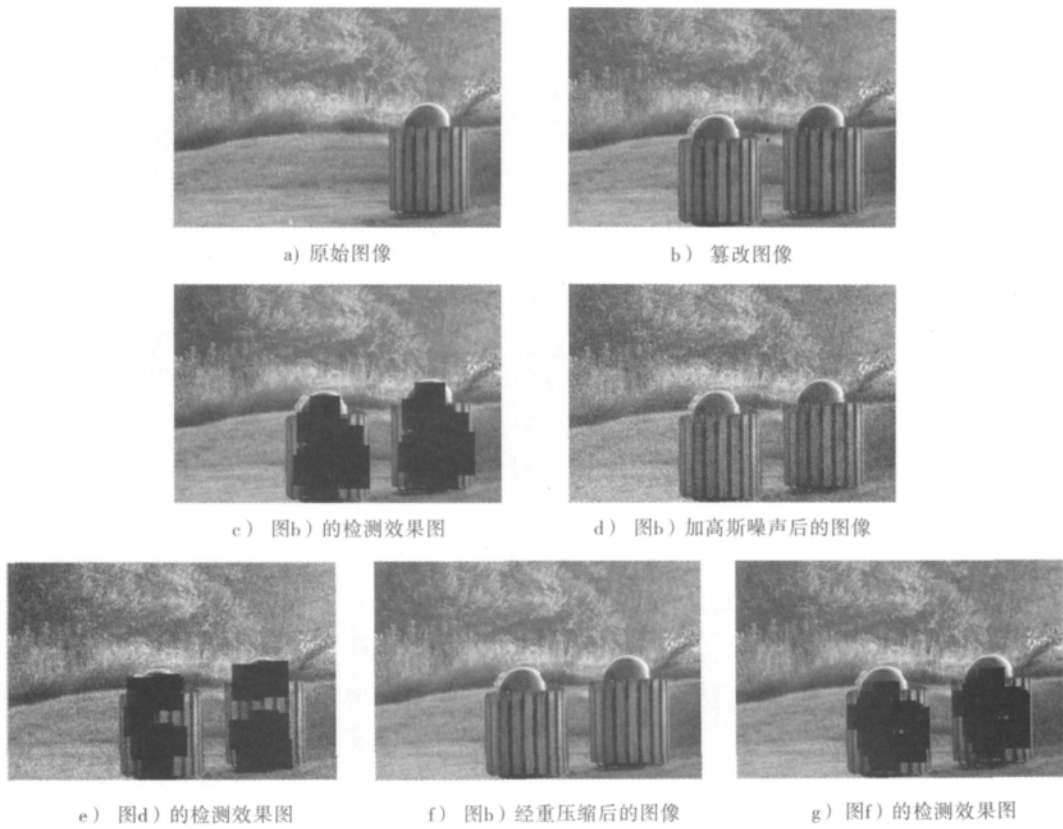


图2 灰度图像的复制粘贴区域检测效果

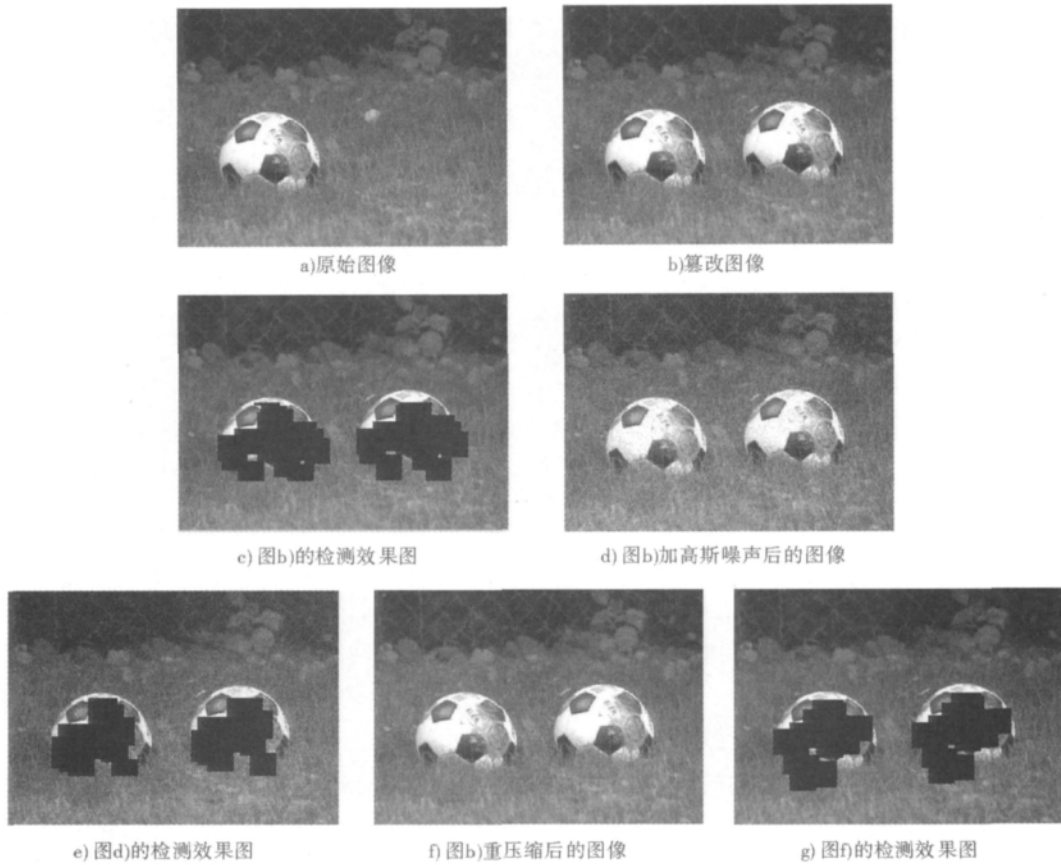


图3 彩色图像的复制粘贴区域检测效果

8×8 ,在图像与子块大小相同的情况下,比较 DCT 算法、PCA 算法和本文算法的图像块总数和特征维数(见表 1)。从表 1 可以看出,本文算法的块总数是前 2 种算法的 1/4,因此本文算法大大降低了时间复杂度。

表 1 DCT 算法、PCA 算法和本文算法的比较

算法	特征提取	子块总数	特征维数
DCT 算法	DCT	62201	32
PCA 算法	PCA	62201	64
本文算法	低频空域	14641	4

3 结论

本文提出基于高斯金字塔分解和圆谐傅里叶矩的检测算法。该算法首先对图像进行高斯金字塔分解,提取图像的低频区域,然后计算每个图像子块的 3 阶圆谐矩,并对各个图像块的特征向量进行字典排序,最后根据阈值进一步找到图像的复制粘贴区域。实验结果表明该算法检测效果好、运算量小。但是算法本身也有不足之处,比如它只能检测连续的复制粘贴区域,并且篡改区域面积需要大于一定距离才能检测出来。

参考文献:

[1] 周琳娜. 数字图像盲取证技术[D]. 北京:北京邮电大

(上接第 61 页)

参考文献:

- [1] 温泉,孙锁锋,王树勋. 零水印的概念与应用[J]. 电子学报,2003,31(2):214.
- [2] Kim Hyung Shin, Lee Heung Kyu. Invariant image watermark using zernike moments[J]. IEEE Trans on Circuits and Syst for Video Tech,2003,13(8):766.
- [3] Alghoniemy M, Tewfik H. Geometric invariance in image watermarking[J]. IEEE Trans on Image Proc,2004,13

学,2007.

- [2] 杨义先. 信息隐藏与数字水印[M]. 北京:北京邮电大学出版社,2004.
- [3] 吴琼. 面向真实性检测的数字图像盲取证方法研究[D]. 长沙:国防科技大学,2008.
- [4] 王鑫. 数字图像盲取证技术研究[D]. 郑州:解放军信息工程大学,2009.
- [5] 吴琼,李国辉,涂丹,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,2008,34(12):1458.
- [6] 朱艳玲. 数字图像取证的关键技术研究[D]. 北京:北京邮电大学,2011.
- [7] Fridrich J, Soukal D, Lukas J. Detection of copy-move forgery in digital images[C]//Proc of Digital Forensic Research Workshop, Washington: IEEE, 2003:55-61.
- [8] Popescu A C, Farid H. Exposing Digital Forgeries by Detecting Duplicated Image Regions[R]. Hanover: Dartmouth College, 2004.
- [9] 肖斌. 基于不变矩的图像几何变换不变性的识别研究[D]. 西安:陕西师范大学,2007.
- [10] 姜红军,海鹰,平子良. 用圆谐傅里叶矩描述图像[J]. 内蒙古师范大学学报:自然科学汉文版,2003,32(4):344.

(2):145.

- [4] 陈实,高有行. 一种轮廓变化图像小波矩的步态识别[J]. 西安交通大学学报,2009,43(1):90.
- [5] 冯桂,卢健,林宗坚. 图像直方图不变特征在影像匹配定位中的应用[J]. 计算机辅助设计与图形学报,2000,12(2):146.
- [6] 何冰,王珣,赵杰,等. 基于 Coutourlet 变换的抗旋转攻击零水印算法[J]. 计算机应用,2009,29(3):802.