

基于有限差分的置换图像盲检测方法

王 伟, 方 勇

(上海大学通信与信息工程学院, 上海 200072)

摘 要: 针对一类经过插值放大的置换篡改图像, 本文提出了一种基于有限差分算法的周期特性的盲检测方法. 该方法对插值信号进行有限差分, 检测差分序列的周期特性, 根据周期特性的异同辨识不同插值因子的放大图像, 具有原理简单, 计算量小的优点. 实验表明, 该方法对经历不同插值方式的置换篡改图像均能达到较高检测正确率, 同时, 算法对高斯噪声和有损 JPEG 压缩具有较好的鲁棒性.

关键词: 置换图像; 插值检测; 有限差分; 周期特性; 盲认证

中图分类号: TN911.73 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2010) 10-2268-05

A Blind Detection Method for Permuted Image Based on Finite-Difference

WANG Wei, FANG Yong

(School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: A novel blind detection algorithm based on finite-difference for interpolation permuted image was proposed in this paper. The periodic property of difference sequence was detected by finite-difference for interpolated signal, according to the periodic property, the various interpolation factor could be identified. The algorithm has simple principle and small computational load. Simulation results show a high detection accuracy on the permuted image with various interpolation operations. The proposed algorithm indicates a better performance on the robustness against gaussian noise and lossy JPEG compression.

Key words: permuted image; interpolation detection; finite-difference; periodic property; blind authentication

1 引言

随着计算机技术和图像处理技术的不断发展, 低成本、高性能图像处理软件的不断推出, 图像信息非常容易被篡改, 如何检测图像的原始性已经成为当前研究的热点问题. 数字图像的篡改方式有很多, 最常见的方式是由其他图像通过剪切部分与现有图像合并而成, 即数字图像的一部分被其他图像所置换, 我们把这类被篡改的图像称为置换图像^[1]. 通过检测置换图像后期处理的遗留痕迹^[2~5]是实现置换图像篡改检测方法之一. 图像篡改者为了消除视觉上的怀疑, 一般会对置换图像进行后期处理, 如对图像进行模糊操作, 通过检测后期处理遗留下来的痕迹达到辨识置换图像的目的. 但这种方法在应用中往往受到很大限制, 如果图像生成中数码相机的焦距不准, 图像本身存在模糊图像块, 通过检测其模糊痕迹会导致较高的误检率. 另一种置换图像的检测方法是依据成像设备的固有特性^[6~9]来实现的. 不同设备生成的图像具有不同的固有特性, 通过判断这些固有

特性的异同也是目前用来实现置换图像的检测方法之一, 比如通过检测数码相机的伽玛校正、彩色滤镜和模式噪声等固有特性的异同可对置换图像进行盲检测. 但该方法都对训练样本的依赖性较强, 如果没有对比训练样本数据库的支持, 检测算法将无法实施.

利用背景区域子图像和置换区域子图像的特征来实现置换图像的盲检测正受到广泛关注^[10~15], 由于其仅从图像本身具有的特征出发, 不需要训练样本的支持, 具有很强的实用性. 针对一类经过插值放大的置换图像, 文献[12, 13]提出利用方差的周期性来检测图像经历的插值操作, 该算法对有损 JPEG 压缩相当敏感, 在低信噪比时检测正确率较低, 且无法辨识频域特性一致的不同插值因子; 文献[14, 15]提出利用 EM 算法来检测周期特性的方法对插值图像进行盲检测, 然而 EM 算法的参数初始化设定对检测结果有很大影响, 且算法需要迭代运算, 复杂度较大, 算法同样对有损 JPEG 压缩相当敏感.

本文针对上述算法的不足, 提出了一种利用有限差

分算法来检测周期特性的方法,通过对插值信号进行有限差分,得到差分后的序列具有周期特性,利用该特性的异同实现了不同插值因子放大图像的盲检测.该算法不需要迭代运算,其复杂度大大降低.仿真结果表明该方法可以有效的检测经历不同插值方式放大的置换图像,并能对局部置换区域进行准确定位.

2 插值放大置换图像

图像的插值放大过程可以通过一维或二维方式进行,本文处理的插值放大图像是通过一维方式进行插值放大的.设一个大小为 $N \times N$ 的图像第 i 行表示为 $x_i[n], i=1, \dots, N, n=0, 1, \dots, N-1$, 采用上采样、插值和下采样三个过程对 $x_i[n]$ 进行插值放大,假设插值放大因子为 p/q , 先将原信号扩大 p 倍,即在原信号相邻两点内填 $p-1$ 个零,上采样后得到序列 $x_i^p[k], k=0, 1, \dots, (N-1)p+1$. 当 $k=0, p, 2p, 3p, \dots, (N-1)p$ 时 $x_i^p[k] = x_i[n]$, 在 k 取其他值时 $x_i^p[k]$ 为 0; 其次,将填零处进行插值,得到序列 $x_i^c[k], k=0, 1, \dots, (N-1)p+1$; 最后,将插值后信号缩小为原来的 $1/q$, 即每隔 $q-1$ 个点取一个点保留,下采样后得到序列 $x_i^q[n] = x_i^c[qn], n=0, 1, 2, \dots, \lfloor pN/q \rfloor - 1$. $x_i^q[n]$ 即为原图像的第 i 行 $x_i[n]$ 经过插值 p/q 倍后所得插值图像的第 i 行. 同样,对经过行插值的图像第 j 列 $x_j[n], j=1, 2, \dots, \lfloor pN/q \rfloor$ 按照上面的插值步骤进行插值,所有列插值完成后,得到原图像放大 p/q 倍的插值图像,其第 i 行表示为 $y_i[n], i=1, 2, \dots, \lfloor pN/q \rfloor, n=0, 1, 2, \dots, \lfloor pN/q \rfloor - 1$. 其中,第二步插值过程常用的方式有:最近邻插值(nearst)、线性插值(linear)和三次多项式插值(cubic)^[16]. 最近邻插值算法是采用离插值位置最近的原像素值来插值;线性插值算法是基于灰度值在两个像素之间是线性变化的来插值;而三次多项式插值算法则是基于曲线变化来进行插值的.

原图像经过不同方式插值后结果如图 1 所示.



图1

在图像篡改中,篡改者为了对感兴趣的事物进行夸大,通常会对置换篡改图像中的置换子图像进行插值放大处理,如图 2 所示,篡改置换图像 c 是由原图像 a 中的坦克经过插值放大后与原图像 b 置换得到的.本文的目的就是在没有任何先验信息的情况下,针对 c 这类置换篡改图像检测出其中的置换子块,为图像盲认

证提供一种新的方法.



图2

3 基于有限差分的周期特性检测方法

尽管存在不同类型的插值方式,但从图像的一维插值结果看,插值后图像的原像素点与其周围的插值点之间都存在某种相关性.例如,对于线性插值则是一种线性相关性,即插值图像的第 i 行某个点 $y_i[n], i=1, 2, \dots, \lfloor pN/q \rfloor, n=0, 1, \dots, \lfloor pN/q \rfloor - 1$, 可以表示为它的 M 邻域的线性组合:

$$y_i[n] = \sum_{k=-M}^M a_k y_i[n+k] \quad (1)$$

这里 $k \neq 0, a_k$ 为相关系数.而最近邻插值和三次多项式插值也可以表示成类似的组合. Farid^[14]等说明了如果 $y_i[n]$ 存在邻域线性相关,则对 $y_i[n+T]$ 也存在这种关系,即这种邻域线性相关性会周期性出现.而这种周期性是由插值引入的,通过检测这种周期性就可以辨识经过插值放大的图像.

本文将利用有限差分算法来检测这种周期特性.为了易于表达,先以线性插值为例进行讨论,然后推广到最近邻插值和三次多项式插值.

首先,根据有限差分的定义, $y_i[n]$ 经过 R 阶有限差分后可以表示为:

$$\Delta^R y_i[n] = \Delta^{R-1} y_i[n+1] - \Delta^{R-1} y_i[n] \quad (2)$$

其中, $n=0, 1, 2, \dots, n, \Delta^R$ 表示 R 阶有限差分, Δ^{R-1} 表示 $R-1$ 阶有限差分.

其次,按照前一节的插值步骤,对原图像的第 i 行 $x_i[n]$ 作插值因子为 p/q 倍线性插值放大,经过上采样插值放大 p 倍后得到

$$\left\{ x_i[0], \frac{(p-1)x_i[0] + x_i[1]}{p}, \dots, \frac{x_i[0] + (p-1)x_i[1]}{p}, x_i[1], \dots, x_i[n-1], \frac{(p-1)x_i[n-1] + x_i[n]}{p}, \dots, \frac{x_i[n-1] + (p-1)x_i[n]}{p}, x_i[n] \right\} \quad (3)$$

其中 p, q 是正整数.

当取 $q=1$ 时,原图像的第 i 行 $x_i[n]$ 经过插值因子为 p/q 倍线性插值放大后得到插值图像的第 i 行 $y_i[n]$ 如式(3)所示,可以看出插值点是由邻域的原像素点线性组合而成.对式(3)利用式(2)进行二阶有限差分后可表示为:

$$\left\{ \underbrace{0, 0, 0, \dots, 0}_{p-1}, \frac{x_i[2] + x_i[0] - 2 \cdot x_i[1]}{p}, \underbrace{0, 0, 0, \dots, 0}_{p-1}, \right. \\ \left. \frac{x_i[3] + x_i[1] - 2 \cdot x_i[2]}{p}, \dots, 0, 0, 0, \dots, 0, \right. \\ \left. \frac{x_i[n] + x_i[n-2] - 2 \cdot x_i[n-1]}{p} \right\} \quad (4)$$

由此可得到序列(4)是周期为 $T = p$ 的周期序列。

从式(3)可知,图像的原像素点与其邻域的插值点之间的线性相关性是由上采样插值引入的,只要图像的插值因子满足 $p/q > 1$,上采样引入的线性相关性就会保留在插值图像中,插值图像的行或列经过有限差分后序列就会出现周期性.由于经过最近邻插值和三次多项式插值的图像原像素点与其邻域的插值点之间也有类似的相关性,插值图像的行或列经过有限差分后序列都会出现类似的周期性。

为了使有限差分后序列的周期性更加明显,对 $\Delta^R y_i[n]$ 作如下定义

$$p_i[n] = \begin{cases} 0 & , \Delta^R y_i[n] \leq T_h \\ 1 & , \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

其中 T_h 为阈值.由于周期信号的频谱是由一系列的离散谱线组成,对式(5)求幅度谱为

$$|P_i[k]| = \left| \sum_{n=0}^{N-1} p_i[n] e^{-j\frac{2\pi}{N}kn} \right| \quad (6)$$

根据式(6)的频谱特性异同可以有效的辨识插值因子.同时,对式(6)作频率归一化处理,可以通过幅频特性估计出插值因子大小^[12,13]

$$\hat{N} = \frac{1}{f} \text{ 或 } \hat{N} = \frac{1}{1-f} \quad (7)$$

其中, \hat{N} 为插值因子, f 为归一化频率。

根据式(5)~(7)可以有效的检测插值引入周期性,并根据周期特性估计出原始插值因子,同时,利用差分序列的时域周期特性可以有效的识别频域特性一致的不同插值因子。

4 置换图像的盲检测

在图像篡改中,置换子图像经过插值放大处理是一类常见的篡改方式,本文在没有任何先验信息的情况下,提出利用有限差分算法来对此类置换篡改图像进行盲检测,具体检测步骤为:

(1)对待检测图像 $I(i, j)$ 进行大小为 $m \times m$ 的子块划分,每次移动 d 像素点,共划分为 U 个子块 $Y_u, u = 1, 2, \dots, U$;

(2)把每一个子块 Y_u 的第 i 行 $y_i[n], i = 1, 2, \dots, m, n = 0, 1, 2, \dots, m-1$, 代入式(2)求其有限差分序列;

(3)对得到的差分序列用式(5)进行重新表示,并代入式(6)求其幅度谱;

(4)对得到的幅度谱进行频率归一化处理,代入式(7)估计出插值因子;

(5)重复 2~4 步,完成所有子块的插值因子估计,根据插值因子(或周期特性)的异同实现分类;

(6)根据类的不同完成置换区域的检测和定位。

对于置换区域经过插值放大的置换篡改图像,经过上面的步骤检测后,由于置换子图像经过插值操作,它的有限差分序列具有周期特性,而没经过插值操作的背景子图像的有限差分序列则没有周期特性,根据周期特性(或插值因子)的异同实现对局部置换区域的准确定位。

5 实验仿真与性能分析

为了验证本文算法的有效性,首先,利用有限差分算法对经过插值放大的图像进行盲检测.实验采用最近邻插值、线性插值和三次多项式插值对大小为 256×256 的标准图像(如图 1(a)所示)以插值因子为 1.5、2.25 和 4 分别插值放大,得到 9 幅插值图像,利用有限差分算法来检测周期特性(或插值因子).其中,最近邻插值经过一阶有限差分后序列就会出现周期性,而线性插值或三次插值则需要经过两阶或高阶差分,差分阶数与插值因子有关;而当插值采用最近邻插值和线性插值时,阈值 $T_h = 0$,采用三次插值时,根据大量的实验取经验阈值 $T_h \in (0.8 \sim 1)$.原始图像经过三种插值方式不同插值因子的插值放大后,其第 i 行对应的幅频特性如图 3 所示,从图中可以看出,经过插值后的图像行或列都具有周期特性,根据归一化的幅频图可以估计出插值因子,仿真结果表明了本文算法的有效性。

其次,针对置换篡改图像的盲检测,实验采用三组大小为 256×256 的待检测图像.从上到下依次为待检

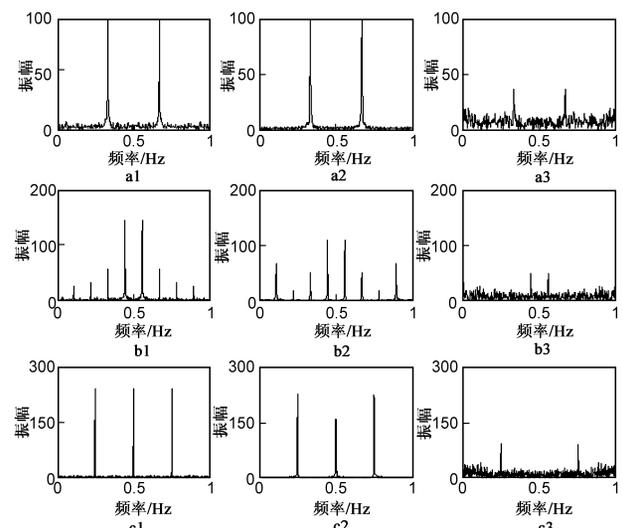


图3 三种插值方式和插值因子对应的幅频图;每一行对应不同的插值因子(从上到下依次为1.5、2.25和4);每一列对应不同的插值方式(从左至右为最近邻、线性和三次插值)

测图像的置换区域经过最近邻插值放大 1.25 倍、线性插值放大 1.5 倍和三次插值放大 2 倍. 实验按照第 4 节的检测步骤进行, 其中 $m = 16, d = 8, U = 961$, 根据 $|P_i[k]|$ 的周期特性(或插值因子)异同实现分类, 继而分为不同的类 M_1 (置换区域)、 M_2 (背景区域), 最后, 依据最终判决结果生成二值图像 L , 其中白色区域为置换区域. 检测结果如图 4 所示, 从仿真结果可以看出, 算法对最近邻插值检测效果最好, 线性插值次之, 三次插值略差, 但置换区域都基本完整的检测定位出来.

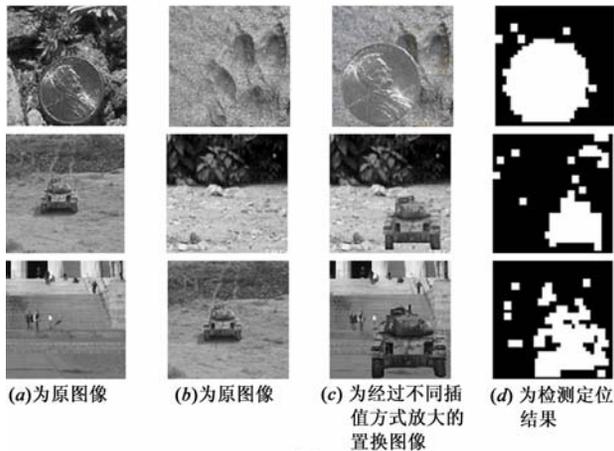


图4

为了测试本文算法对加性高斯白噪声和有损 JPEG 压缩的鲁棒性, 实验数据采用图像库中任意选取的不同分辨率, 不同场景的 200 幅图像. 每幅图像分别经过三种插值算法进行插值放大, 在添加不同的噪声和以不同压缩因子的 JPEG 压缩情况下, 利用本文算法分别对插值置换图像进行盲检测, 正确检测率与信噪比、JPEG 压缩因子的对应关系如图 5、图 6 所示. 从实验结果看, 对于加性高斯白噪声, 在高信噪比情况下, 本文算法与文献[13]、文献[14]中的算法性能基本相当, 但是对于低信噪比 20dB 的插值置换图像, 本文算法的平均检测正确率能达到 57.73%, 而文献[13]中算法则仅为 23.18%. 对于存在的有损 JPEG 压缩的情况, 本文算法对几种常见的插值方式都具有较好的抗 JPEG 压缩性能, 即使在压缩因子低至 50 的情况下, 算法依然能够达到最低 68.00%、平均 73.67% 的检测正确率, 而文献[13]、文献[14]中算法则对有损 JPEG 压缩都相当敏感,

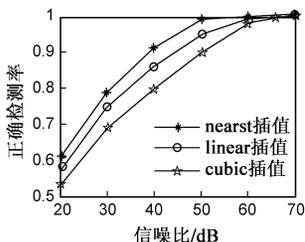


图5 算法对加性高斯白噪声的鲁棒性

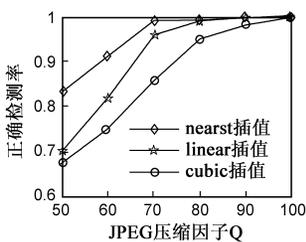


图6 算法对JPEG压缩的鲁棒性

只有在压缩因子为 95 ~ 100 时, 算法才能获得较好的检测正确率.

针对插值放大中最常用的线性插值, 表 1 给出了本文算法与文献[14]、[15]的 EM 算法在不同图像大小情况下的时间消耗. 本文算法由于避开了文献[14]、[15]中的迭代运算, 时间消耗方面显示极大优势, 实验结果显示随着图像的阶数的增大, 时间节省更加明显.

表 1 两种算法复杂度比较

	图像大小及算法运行时间(s)			
	30 × 30	50 × 50	70 × 70	90 × 90
本文算法	0.895	0.937	0.953	1.032
EM 算法	1.265	7.156	54.875	172.140

6 结论

利用图像本身具有的特征来实现置换图像的盲检测, 由于不需要训练样本的支持, 具有很强的实用性, 目前已受到广泛的关注. 针对一类插值放大置换图像, 本文利用有限差分算法来对插值引入的周期性进行检测, 根据周期特性的异同估计出原始插值因子, 从而辨识出不同插值因子的放大图像. 同时, 算法根据差分序列的时域周期特性可以有效的识别频域特性一致的不同插值因子. 大量实验结果表明, 对于不含噪声、未压缩的、经过 3 种不同插值方式处理的置换篡改图像, 其平均检测正确率可高达 99.67%. 同时本文算法对加性高斯白噪声和有损 JPEG 压缩都具有较好的鲁棒性.

参考文献:

- [1] 方勇, 王伟, 王睿. 置换混叠信号的盲检测和分离[J]. 应用科学学报, 2009, 27(5): 491 - 497.
Fang Yong, Wang Wei, Wang Rui. Blind detection and separation for permuted signals[J]. Journal of Applied Science, 2009, 27(5): 491 - 497. (in Chinese)
- [2] Hsiao D Y, Pei S C. Detection digital tampering by blur estimation[A]. In Proc. IEEE SADF'E'05[C]. Taipei, Taiwan, 2005. 264 - 278.
- [3] 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.
Wang Bo, Sun Lu-lu, Kong Xiang-wei, et al. Image forensics technology using abnormality of local hue for blur detection[J]. Acta Electronica Sinica, 2006, 34(12A): 2451 - 2454. (in Chinese)
- [4] Sutcu Y, Coskun B, Sencar H T, et al. Tamper detection based on regularity of wavelet transform coefficients[A]. In Proc. IEEE ICIP'07[C]. San Antonio, USA, 2007. 397 - 400.
- [5] 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]. 电子学报, 2008, 36(6): 1047 - 1051.

- Zhou Lin-na, Wang Dong-ming, Gou Yun-biao, et al. Exposing digital forgeries by detecting image blurred mathematical morphology edge[J]. Acta Electronica Sinica, 2008, 36(6): 1047 – 1051. (in Chinese)
- [6] Farid H. Blind inverse gamma correction[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(10): 1428 – 1433.
- [7] Popescu A C, Farid H. Exposing digital forgeries in color filter array interpolated images[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2005, 53(10): 3948 – 3959.
- [8] Lukás J, Fridrich J, Goljan M. Digital camera identification from sensor pattern noise[J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2006, 1(2): 205 – 214.
- [9] Chen M, Fridrich J, Goljan M, et al. Determining image origin and integrity using sensor noise[J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2008, 3(1): 74 – 89.
- [10] Johnson M K, Farid H. Exposing digital forgeries by detecting inconsistencies in lighting [A]. In Proc. ACM Multimedia and Security Workshop'05[C]. New York, USA, 2005. 1 – 10.
- [11] Johnson M K, Farid H. Exposing digital forgeries in complex lighting environments[J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2007, 2(3): 450 – 461.
- [12] Gallagher A C. Detection of linear and cubic interpolation in JPEG compressed images[A]. In Proc. IEEE CRV'05[C]. Canada, 2005. 65 – 72.
- [13] Mahdian B, Saic S. Blind authentication using periodic properties of interpolation [J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2008, 3(3): 529 – 538.
- [14] Popescu A C, Farid H. Exposing digital forgeries by detecting traces of resampling[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2005, 53(2): 758 – 767.
- [15] Kirchner M, Bohme R. Hiding traces of resampling in digital image[J]. IEEE Transaction on Information Forensics and Security, 2008, 3(4): 582 – 592.
- [16] Parker J A, Kenyon R V, Troxel D E. Comparison of interpolating methods for Image resampling[J]. IEEE Transaction on Medical Imaging, 1983, 2(1): 31 – 39.

作者简介:



王 伟 男, 1983 年 9 月出生于江苏省, 现为上海大学通信与信息工程学院博士研究生, 主要从事图像处理和盲信号分离方面的研究。
E-mail: wwang.shu@163.com



方 勇 男, 1964 年出生于四川省, 教授, 博士生导师. 主要从事盲信号处理, 通信信号处理和智能信息系统方面的研究。
E-mail: yfang@staff.shu.edu.cn