

面向纹理特征的图像置乱程度的衡量方法

綦科^{1,2},张大方¹,谢冬青²

QI Ke^{1,2},ZHANG Da-fang¹,XIE Dong-qing²

1.湖南大学 计算机通信学院,长沙 410082

2.广州大学 计算机科学与教育软件学院,广州 510006

1.Computer and Communication College,Hunan University,Changsha 410082,China

2.Computer Science and Education Software College,Guangzhou University,Guangzhou 510006,China

E-mail:qikersa@163.com

QI Ke,ZHANG Da-fang,XIE Dong-qing.Evaluation method of image scrambling degree based on texture feature.Computer Engineering and Applications,2010,46(8):174-176.

Abstract: Image scrambling is a common method in information hiding with purpose of improving robustness and imperceptibility of image by scrambling image's information order.How to evaluate the image scrambling degree is the important issue of research.This paper describes a new evaluation method of scrambling degree based on the description of image quality which measures the image features of texture primitive scale and continuous probability of gray level.Experimental results show that the proposed method can well evaluate the scrambling degree and is consistent with human subjective vision.

Key words: information hiding;image scrambling degree;scrambling algorithm

摘要:图像置乱是信息隐藏中最常用的一项技术,其目的是通过将图像的信息次序打乱来提高隐蔽载体的鲁棒性和隐蔽性。如何评价图像置乱的程度,是信息隐藏研究的重点问题之一。利用图像纹理基元行程特征和灰度级的连续概率特征对图像质量的描述方法,提出了基于图像纹理特征的图像置乱程度衡量方法,实验表明,该方法能较好地评价图像的置乱程度,与人的主观视觉评价有较好的一致性。

关键词:信息隐藏;图像置乱程度;置乱算法

DOI:10.3778/j.issn.1002-8331.2010.08.049 文章编号:1002-8331(2010)08-0174-03 文献标识码:A 中图分类号:TP391

1 引言

信息隐藏是利用多媒体信号本身存在的冗余,将秘密信息隐藏于一个宿主信号中而不被察觉。到目前为止,被认为成熟的信息隐藏算法基本上都是以图像作为载体的,利用图像信号的冗余性进行时(空)域或变化域的信息隐藏,从而实现“非加密”方式的隐蔽通信。

图像置乱作为信息隐藏中最常用的一项技术,其目的是通过将图像的信息次序打乱来提高隐蔽载体的鲁棒性和隐蔽性。图像置乱的方法取得了相当大的进展,已有的置乱算法主要包括 Arnold cat 变换^[1]、Hilbert 曲线变换^[1]、幻方变换^[2]、Hash 置乱变换^[3]、Fibonacci 变换^[4]等,置乱的程度越大,图像的各灰度等级在图像中分布越均匀,说明置乱后的图像作为隐蔽载体的隐蔽性和鲁棒性越好。因此如何衡量置乱程度关系到信息隐藏的质量。目前衡量置乱程度的方法有基于置乱前后位置和像素值变化的方法^[5],该方法将图像的所有像素点放在一起考虑,如果图像整体或局部发生同样的变化,则以整体来考虑置乱程度并

不合适;利用不动点、 k 阶位移因子、 k 阶矩的方法^[6],这些方法从图像变换域的角度考虑置乱程度,但是变换复杂,计算量大。

文章提出了基于图像纹理基元行程特征和灰度级的连续概率特征的图像置乱程度的评价方法,该方法利用纹理特征对图像质量的影响程度来定义置乱程度。实验表明,所提出的方法可以很好地衡量图像置乱程度,而且直接在空域中计算,计算速度快,方法简单易行。

2 Arnold 置乱变换

Arnold 变换是 V.I.Arnold 在研究环面上的自同态时提出的一种变换,具有混沌映射的特点。将其应用于数字图像,Arnold 变换可以看作是裁剪和拼接的过程,通过这一过程将数字图像矩阵中的点重新排列,达到置乱的目的。其表达式如式(1)所示:

$$\begin{bmatrix} x_{n+1} \\ y_{n+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & a \\ b & ab+1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_n \\ y_n \end{bmatrix} \bmod(N), x, y \in \{0, 1, \dots, N-1\} \quad (1)$$

基金项目:广东省自然科学基金(the Natural Science Foundation of Guangdong Province of China under Grant No.8151007101000021)。

作者简介:綦科(1972-),男,博士生,副教授,研究方向为信息隐藏,数字水印,PKI/PMI;张大方(1959-),男,博士,教授,博士生导师,研究方向为网络与通信安全,信息安全,网络容错等;谢冬青(1965-),男,博士,教授,博士生导师,研究方向为网络与通信安全,信息安全,密码算法等。

收稿日期:2008-10-23

修回日期:2008-12-17

其中, (x_n, y_n) 是像素在原图像的坐标, (x_{n+1}, y_{n+1}) 是变换后该像素在新图像的坐标, N 是数字图像矩阵的阶数, 即图像的大小, a, b 是系统参数。

应用 Arnold 变换, 令 $a=1, b=1$, 即进行标准 Arnold 变换, 对 256×256 的灰度图像 baboon 置乱后的效果如图 1 所示, 分别是原始图像、置乱 1 次、2 次、10 次、64 次、192 次的结果。

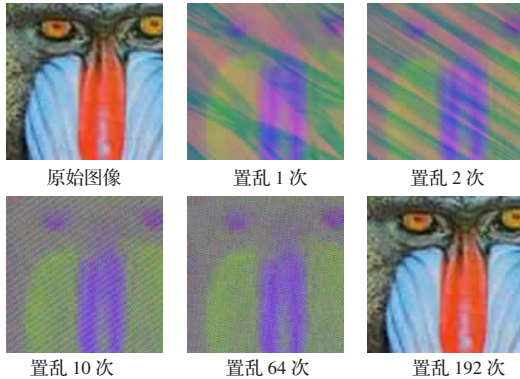


图 1 baboon 原始图像和置乱图像

从图 1 中看出, 置乱 1 次、2 次、10 次的图像有明显的条纹, 说明条纹处像素点的变化具有一定的规律性, 图像的各灰度值没有均匀分布在图像中, 没有达到良好的置乱效果。置乱 192 次还原回原始图像, 说明标准 Arnold 置乱变换的周期是 192 (置乱周期随参数 a, b 取值不同而不同)。

所以需要找到衡量图像置乱程度的方法, 用以评价在置乱周期内第几次置换能够达到最好的置乱效果。目前衡量置乱程度的方法有基于置乱前后位置和像素值变化的方法^[9], 利用不动点、 k 阶位移因子、 k 阶矩的方法^[9], 但是这些方法都有其局限性, 因此提出了基于图像纹理特征的方法来评价图像置乱程度。

3 基于图像纹理特征的置乱程度

图像纹理是表达图像像素点色调和结构的属性。纹理基元是一个具有某种色调属性和结构属性的像素的连续集, 可以通过灰度级、长度以及方向来描述。基元的空间关系可以是随机的, 或两两相关的, 因此通过基元的数目和类型 (灰度级) 以及它们的空间关系来描述图像纹理。

图像的纹理特征与人类视觉系统 (HVS) 有很高的一致性: 如果图像中的纹理基元较大且包含若干像素, 则产生粗糙纹理, 且容易被视觉识别; 如果图像中纹理基元较小, 且如果相邻基元间的色调相差很大, 则产生精细纹理, 这种精细纹理具有随机性且不易被视觉识别。

如果图像灰度值分布越均匀, 则相应的精细纹理基元长度越小、基元数量越多, 因此, 可用图像纹理特征来定义图像的置乱程度。

在不同方向上具有相同灰度级的纹理基元的长度可以作为纹理的一种描述, 因此用基于对纹理中基元的长度和灰度级的连续概率来计算纹理特征, 并以此为基础定义基于图像纹理特征的置乱程度如下。

定义 1 设图像 $I=[i(x, y)]_{N \times N}$, N 为图像的维数, L 为图像灰度级的数目; 令 $B(a, r)$ 为具有长度 r 和灰度级 a 的所有方向的基元的数目; 令 Nr 为图像中最大的基元长度; 令 K 为行程的总数, 则:

$$K = \sum_{a=1}^L \sum_{r=1}^{Nr} B(a, r) \tag{2}$$

定义 2 图像基元百分比定义为:

$$\beta = \frac{K}{\sum_{a=1}^L \sum_{r=1}^{Nr} rB(a, r)} = \frac{K}{N \times N} \tag{3}$$

定义 3 将 $N \times N$ 图像沿着水平方向、垂直方向、 45° 方向、 135° 方向分别采样, 得到一维向量。令 $B_0(a, r)$ 为具有长度 r 和灰度级 a 的水平方向的基元的数目, $B_1(a, r)$ 为具有长度 r 和灰度级 a 的垂直方向的基元的数目, $B_2(a, r)$ 为具有长度 r 和灰度级 a 的 45° 方向的基元的数目, $B_3(a, r)$ 为具有长度 r 和灰度级 a 的 135° 方向的基元的数目, 则定义图像的置乱程度为:

$$\delta = \frac{\sum_{a=1}^L \sum_{r=1}^{Nr} (B_0(a, r) + B_1(a, r) + B_2(a, r) + B_3(a, r))}{4 \times N \times N} \tag{4}$$

在实际应用中, 考虑到 (1) 图像置乱后的基元长度一般比较小, 所以取经验值 $Nr=5$; (2) 根据图像的灰度等级数目不同, 取 $L=255$ 或 $L=65535$ 。

4 实验结果

用 Arnold 变换, 分别取不同的 a, b 值, 对 256×256 的 baboon 图像进行置乱, 并用式 (4) 衡量置乱程度。

(1) 当 $a=4, b=6$ 进行标准 Arnold 变换时, 第 0 次、第 1 次、第 7 次、第 26 次、第 64 次、第 110 次、第 128 次置乱后的效果如图 2 所示, 置乱程度如表 1 所示。置乱次数和置乱程度的关系如图 3 所示。

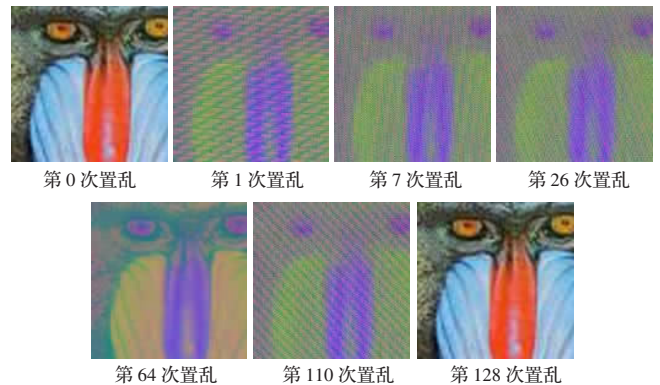


图 2 baboon 图像置乱效果 ($a=4, b=6$)

表 1 各次置乱程度 ($a=4, b=6$)

置乱次数	1	7	26	64	110	128
置乱程度	0.986 63	0.993 29	0.990 78	0.934 37	0.991 17	0.934 37

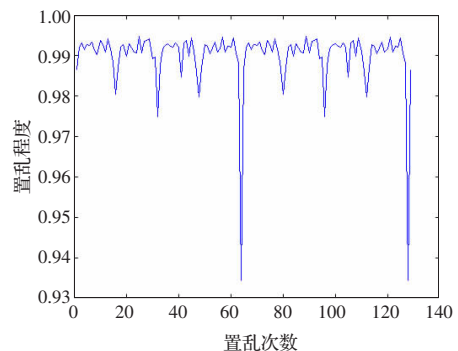


图 3 置乱次数与置乱程度的关系

(2)当 $a=8, b=14$ 时进行 Arnold 变换,第 0 次、第 1 次、第 7 次、第 26 次、第 64 次、第 110 次、第 128 次置乱后的效果如图 4 所示,置乱程度如表 2 所示。置乱次数和置乱程度的关系如图 5 所示。

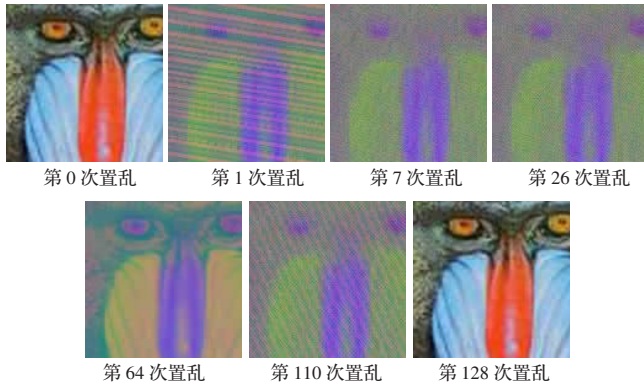


图 4 baboon 图像置乱效果($a=8, b=14$)

表 2 各次置乱程度($a=8, b=14$)

置乱次数	1	7	26	64	110	128
置乱程度	0.982 93	0.992 72	0.993 33	0.934 37	0.991 59	0.934 37

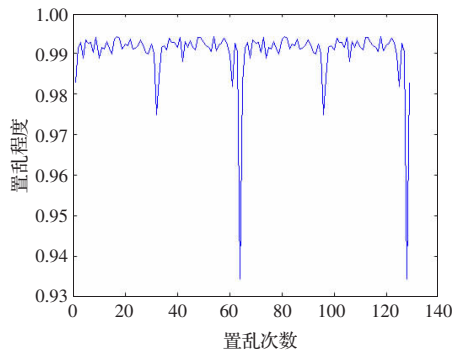


图 5 置乱次数与置乱程度的关系

分析实验结果,注意到 Arnold 置乱变换的周期为 128,因此置乱 128 次图像恢复到原始图像。当 $a=4, b=6$ 时,置乱次数为 89 次时达到最大置乱程度 0.994 77;当 $a=8, b=14$ 时,置乱

次数为 118 次时,达到最大置乱程度 0.994 19。但是从图 3 和图 5 的置乱次数与置乱程度的关系曲线看出置乱次数多并不代表置乱程度就好,而且置乱程度在 64 次时效果最差,置乱值为最小值 0.934 37,通过比较置乱程度值可以找到理想的置乱次数。

因此,通过取不同的 a, b 参数进行实验得到的结果表明:

(1)该文方法可以很好地衡量图像的置乱程度,所计算的置乱程度与主观视觉评价基本一致;(2)置乱次数并不是越多越好,置乱程度与置乱次数并不是线性关系,通过比较置乱程度的计算结果可以找到合适的置乱次数。

5 结束语

从图像纹理特征的基元长度和灰度级的连续概率角度出发,提出了一种基于图像纹理特征的衡量置乱程度的方法。实验结果表明,所给的定义能较好地刻画图像的置乱程度,并且与人的视觉具有很高的一致性,计算速度快,方法简单易行。给出图像置乱程度的精确定义,结合空域和变换域从多角度提出更精确快速的图像置乱程度评价方式,是进一步研究的重点。

参考文献:

- 丁玮,齐东旭.数字图像变换及信息隐藏与伪装技术[J].计算机学报,1998,21(9):839-843.
- 陈巧琳,廖晓峰,陈勇,等.改进的基于混沌序列的幻方变换图像加密[J].计算机工程与应用,2005,41(22):138-139.
- 王丽娜,张焕国.信息隐藏技术与应用[M].武汉:武汉大学出版社,2003.
- Qi D X,Zou J C,Han X Y.A new class of scrambling transformation and its application in the image information covering[J].Science in China:Series E,2000,43(3):304-312.
- 卢振泰,黎罗罗.一种新的衡量图像置乱程度的方法[J].中山大学学报:自然科学版,2005,44(6):126-129.
- 秦红磊,郝燕玲,孙枫.一种基于混沌的图像置乱网格的设计[J].计算机工程与应用,2002,38(7):104-106.
- Sonka M,Hlavac V.Image processing,analysis,and machine vision[M].2nd ed.[S.l.]:Cengage-Engineering,1999.
- DC:IEEE Computer Society,2005.
- Beil F,Ester M,Xu Xiao-wei.Frequent term-based text clustering[C]//KDD,2000.
- Latorre A,Pena J M,Robles V,et al.A survey in Web page clustering techniques.
- 刘娜,蒋波,刘宁.CMAR 方法中的分类分析技术[EB/OL].http://www.ahcit.com/lanmuyd.asp?id=679.
- 梁循.数据挖掘算法与应用[M].北京:北京大学出版社,2006:195.
- 李晖晖,郭雷,刘航.基于二代 Curvelet 变换的图像融合研究[J].光学学报,2006,26(5):657-662.
- 晁锐,张科,李言俊.一种基于小波变换的图像融合算法[J].电子学报,2004,32(5):750-753.
- 杨俊,赵忠明.基于 Curvelet 变换的多聚焦图像融合方法[J].光机工程,2007,34(6):67-71.
- 倪林,Miao Y.一种更适合图像处理的多尺度变换-Curvelet 变换[J].计算机工程与应用,2004,40(28):21-26.
- 张强,郭宝龙.基于 Curvelet 变换的图像融合算法[J].吉林大学学报:工学版,2007,37(2):458-463.

(上接 126 页)

- Strehl A,Ghosh J,Mooney R.Impact of similarity measures on Web-page clustering[C]//Proc of the AAAI on Workshop on Artificial Intelligence for Web Intelligence for Web Search,AAAI 2000.Menlo Park:AAAI press/MIT Press,2000:58-64.
- Rigutini L,Maggini M.A semi-supervised document clustering algorithm based on EM[C]//Proceedings of the 2005 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence.Washington,

(上接 173 页)

- 成礼智,王红霞,罗永.小波的理论与应用[M].北京:科学出版社,2005.
- Candes E J,Donoho D L,Ying L.Fast discrete curvelet transforms[R].Applied and Computational Mathematics,California Institute of Technology,2005.
- Strela V.Multiwavelets:Theory and application[D].U.S:Massachusetts Institute of Technology,1996.
- 阳方林,郭红阳,杨风暴.像素级图像融合效果的评价方法研究[J].测试技术学报,2002,16(4):35-39.