

基于 DCT 的自适应盲数字水印

季 燕

(南京信息工程大学计算机与软件学院 南京 210044)

摘 要 针对一般数字水印算法对于水印不可感知性和鲁棒性无法达到较好平衡的问题,提出了一种改进的 DCT 的自适应盲数字水印。嵌入水印的时候,根据云图的纹理和暗影特征,结合人类视觉系统(HVS),DCT 块的 DC 分量利用奇偶量化法嵌入水印,AC 分量利用确定固定系数法嵌入水印;提取水印的时候,利用盲检测方法。实验结果表明,提出的自适应盲数字水印不仅对常见的高斯噪声、椒盐噪声攻击具有很好的鲁棒性,而且较好地满足了水印的不可见性,同时减少了水印的嵌入和提取时间。

关键词 盲数字水印, DCT, 奇偶量化, 自适应

中图分类号 TP311 **文献标识码** A

Adaptive Blind Watermarking Based on DCT

Ji Yan

(School of Computer and Software, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract Aiming at the problem that the imperceptibility and robustness of the general digital watermarking algorithm can not reach better balance, this paper put forward an improved DCT adaptive blind digital watermarking. When embedding watermark, we used the odd-even quantization method to embed the watermark in DC component of the DCT block and used the fixed coefficient method to embed the watermark in AC components according to the texture and shadow character in the cloud chart and human visual system (HVS). The experimental results show that the adaptive blind digital watermarking proposed in this paper not only has good robustness for the Gauss noise, common salt and pepper noise attack, and also better meets the invisibility of watermark, while reducing the watermark embedding and extraction time.

Keywords Blind digital watermarking, DCT, Odd-even quantization, Adaptive

数字水印是目前广泛应用于版权保护的一项技术,它是将一段标注所有者的信息(即水印)嵌入到要保护的数字多媒体(宿主数据)中,通常在视觉上人们无法感知到宿主数据中水印的存在,只有拥有知识产权的所有者才能通过特定的检测器确定是否存在水印,并以此来判断版权所有^[1]。

从实现的角度来看,图像数字水印算法总体上可分为空域的方法和变换域的方法两类。在基于变换域的数字图像水印算法中,基于离散余弦变换(DCT)的方法一直受到人们的重视,出现了许多有效的算法。例如 Cox 等提出的“扩展频谱”数字水印算法,将水印信息隐藏在图像的 DCT 变换域中^[2];文献^[3]通过公式计算出方差,然后在值比较大的区域嵌入水印,而方差小的地方就不进行水印的嵌入。文献^[4]以 DCT 变换为基础,自适应地选择嵌入水印的位置,同时,对水印嵌入强度的调节可以根据人类视觉系统亮度掩蔽模型来自适应。在我国,黄继武等人将人类视觉系统的特性引入到数字水印技术中,利用 HVS 对水印的图像进行块分类,从而使该水印算法具有自适应的特征。

本文在传统基于 DCT 的自适应数字水印算法上做一些改进,结合人类视觉系统(HVS^[2]),根据照度掩蔽特性和纹理掩蔽特性决定在不同区域嵌入不同强度的水印。DCT 块

分为 DC 分量和 AC 分量。DC 分量利用系数奇偶量化方法嵌入水印,AC 分量利用确定一个固定系数去修改图像嵌入点系数的方法嵌入水印。

1 生成水印

为了提高水印的鲁棒性和抗攻击能力,在水印图像嵌入到宿主图像前,先对水印进行 Arnold 置乱预处理,Arnold 置乱使图像的空间位置混乱,有效降低了各像素之间的关联。同时,所有者可以决定变换的次数,以次数作为密钥对图像进行加密,从而增加了系统的安全性和保密性。置乱公式^[3]如下:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \pmod{N}, (x, y) \in N \quad (1)$$

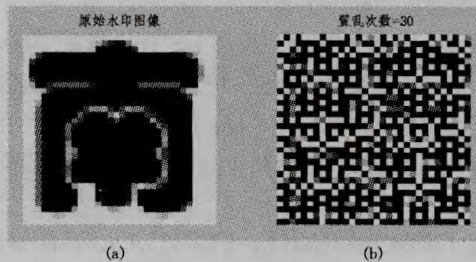


图 1 置乱前后的二值化水印图像

到稿日期:2012-09-14 返修日期:2012-12-03 本文受江苏省自然科学基金项目(BK2009411)资助。

季 燕(1985-),女,硕士生,主要研究方向为气象信息技术与安全,E-mail:dsfu@vip.sina.com.

式中, x, y 为变换前像素坐标, N 为图像大小(图像的长宽必须相等), x', y' 为置乱后的坐标。图 1(a) 是初始水印图像, 图 1(b) 为置乱 30 次后的水印图像。

2 嵌入水印

算法的主要步骤如下:

(1) 预处理。对水印图像进行二值化和置乱处理。

(2) 将原宿主图像进行 8×8 分块, 分成互不覆盖的图像块 $block(x, y)$, 且 $1 \leq x, y \leq 8$, 然后按照图像块的灰度方差公式:

$$\sigma^2 = \frac{1}{8 \times 8} \sum_{x=1}^8 \sum_{y=1}^8 [f(x, y) - m]^2 \quad (2)$$

计算每一块的方差, 其中 m 为每个图像块的平均灰度:

$$m = \frac{1}{8 \times 8} \sum_{x=1}^8 \sum_{y=1}^8 f(x, y) \quad (3)$$

式中, $f(x, y)$ 为每个图像块在 (x, y) 处的像素值。然后对每一块进行 DCT 变换, 变换后的每一块图像的左上角即 $block(1, 1)$ 为 DC 分量, 其余为 AC 分量^[4]。

(3) 利用人类视觉系统, 对分块后的图像进行分类, 结合方差和 DC 分量选定 2 个门限值, 根据 Webber 定律将图像分成 3 类: 第一类, 方差和 DC 分量分别小于门限值; 第二类, 方差和 DC 分量分别大于门限值; 第三类, 介于第一类和第二类之间。

(4) 在每一块图像中嵌入预处理的图像。其中用系数奇偶量化方法把水印嵌到 DC 系数中, 如果嵌入的水印数据是 0, 就将 $block(1, 1)/q(u, v)$, 然后选取最近的偶数, 其中 $q(u, v)$ 对应 jpeg 亮度量化表中的参考值; 对于 AC 中频系数, 确定一个固定系数去修改图像嵌入点的能量系数, 根据以下判断将水印比特 WM 嵌入(见式如(4)):

$$IMAGE_x^n = \begin{cases} (A) - \alpha_1, & WM=1 \\ (A) - \alpha_2, & WM=0 \end{cases} \quad (4)$$

式中, A 为固定系数, α_1, α_2 为可变嵌入强度系数^[5]。

图像整体能量值越大, 能够嵌入的水印能量值越大。通过实验, 验证 $A=8/1000, \alpha_1=-0.06$ 和 $\alpha_2=0$ 时, 水印对原始图像的影响最小, 峰值信噪比(PSNR)的值最大。

(5) 将已经嵌入了水印的分块图像分别进行 DCT 逆变换。

(6) 将经过 DCT 逆变换的各块图像合并成一幅完整的图, 就可得到含有水印的载体图像, 水印嵌入完成。

3 水印提取与评价

水印的检测一般包含水印的提取和水印的判定。

水印提取算法具体步骤如下:

(1) 将含有水印的图像进行 8×8 分块得到 $block(x, y)$, 并且每一块互不覆盖, 计算每一块的方差并进行 DCT 变换, 继续取左上角的 $block(1, 1)$ 为 DC 分量。

(2) 利用人类视觉系统, 结合方差值和 DC 分量对分块图像进行分类。

(3) 将上面得到的 $block(x, y)$ 乘以 $q(u, v)$, 即得到原 DC 分量上的值; AC 分量上的值根据以下公式得到:

$$WM' = \begin{cases} 1, & > A + (\alpha_1 + \alpha_2) / 2 \\ 0, & \leq A + (\alpha_1 + \alpha_2) / 2 \end{cases} \quad (5)$$

式中, A 为固定系数, α_1, α_2 为水印嵌入时的可变嵌入强度, 选

取的值与嵌入水印的步骤(4)中的取值相同。

(4) 将上述得到的图像利用 Arnold 变换具有周期性的特点进行逆置乱变换, 即可成功提取水印。

图像数字水印的性能指标主要有隐蔽性和鲁棒性。

其中隐蔽性即不可见性, 直观上可以通过人的视觉看出水印嵌入前后图像的区别, 客观上可用峰值信噪比(PSNR, Peak Signal-to-Noise Ratio)比较嵌入了水印的宿主图像和原始宿主图像的区别。峰值信噪比表示上述二者之间的失真度, PSNR 值越高, 说明水印具有越好的透明性。如果 I 代表原始图像, I' 表示含水印图像, 则

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{MN \max[\max(I^2)]}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [I(i, j) - I'(i, j)]^2} \quad (6)$$

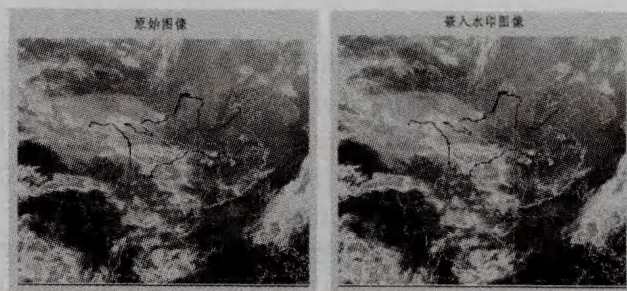
鲁棒性可以采用归一化相关系数(NC)来度量, NC 用来度量评价从宿主图像中提取出来的水印与原始水印之间的相似度。二者之间的差距成反比, NC 越大, 相似度越高。其计算公式见式(7)。

$$NC = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M W(i, j) W'(i, j)}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M W(i, j)^2} \quad (7)$$

式中, W 表示原始水印图像, W' 表示从宿主图像中提取出来的水印图像。

4 仿真结果与分析

在 MATLAB7.0 的平台上进行仿真实验。实验中水印图像选择尺寸 32×32 的“南”, 其大小为 2.05kb(见图 1(a))。先对水印进行 Arnold 置乱, 置乱次数选择为 30, 置乱后的水印如图 1(b) 所示。原宿主图像为 384×384 的卫星云图(见图 2(a)), 嵌入水印后如图 2(b) 所示。



(a) 原始宿主图像 (b) 嵌入水印后的图像

图 2

比照图 2(a)、图 2(b) 可见, 嵌入水印前后通过肉眼无法看出两者存在差别。

对嵌入水印的图像进行椒盐攻击和图像增亮攻击后分别提取水印, 效果图分别如图 3、图 4 所示。

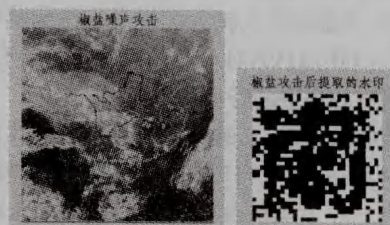


图 3 椒盐噪声攻击后的图像及提取的水印

[4] 魏楚元. Web Services 体系结构与实现机制探讨[J]. 航空计算技术, 2003, 33(1): 101-105

[5] Jeng J J. System Dynamics Modeling for SOA Project Management[C]// Service-Oriented Computing and Applications, SOCA'07. IEEE International Conference, 2007(7): 286-294

[6] 徐明伟, 胡春明, 刘旭东, 等. 一种基于 WebService 的分级 Qos 的研究与实现[J]. 计算机研究与发展, 2005, 42(4): 669-675

[7] Liu Yan. Performance Prediction of Service-Oriented Applications based on an Enterprise Service Bus[J]. Computer Software

[8] Jiang Ji-chen. Enterprise Service Bus and an Open Source Implementation[J]. Management Science and Engineering, IEEE, 2006(10): 926-930

[9] Ziyayeva. Content-Based Intelligent Routing and Message Processing in Enterprise Service Bus[J]. Convergence and Hybrid Information Technology, IEEE, 2008(8): 245-249

[10] 李国勇, 陈蜀宇, 高崢. Web 服务中心的跨应用单点登录[J]. 重庆理工大学学报: 自然科学版, 2011, 25(2): 68-73

(上接第 130 页)

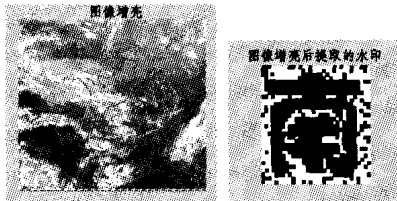


图 4 图像增亮攻击后的图像及提取的水印

表 1 为正常状态、受攻击状态下基于 DCT 的自适应盲数字水印峰值信噪比与归一化相关系数分布情况。由表可见, 3 种状态下, PSNR 均大于 36.6254, NC 均大于 0.8017, 具有良好的隐蔽性和鲁棒性。

表 1 基于 DCT 的自适应盲数字水印效果

攻击名称	PSNR	NC
椒盐噪声攻击	36.6254	0.8242
图像增亮攻击	36.8527	0.8017
未受攻击	37.9452	0.8512

为验证本算法的先进性, 选择传统的 DCT 水印算法, 在同样的平台上进行仿真实验。效果如表 2 所列(图略)。

表 2 传统 DCT 数字水印效果

攻击名称	PSNR	NC
椒盐噪声攻击	34.5456	0.7845
图像增亮攻击	35.1086	0.7427
未受攻击	36.8431	0.7890

比较表 1、表 2 可见, 基于 DCT 的自适应盲数字水印较传统 DCT 数字水印, 峰值信噪比提高率分别为 6.02%、4.96% 和 2.99%, 归一化相关系数提高率分别 8.12%、7.94% 和 7.88%, 这表明改进的算法在抗攻击性和透明性方面都比传统的算法要好。

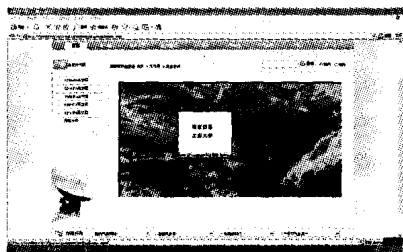


图 5 天气图和嵌入水印“南京信息工程大学”

基于数字水印的气象信息发布系统已成功用于业务中。如在天气图的上传过程中需要对天气图进行水印的嵌入, 以

防止天气图在发布后被非法修改。用户通过左侧的菜单项可以选择浏览相应的高空图, 点击提取水印菜单项即可提取并显示嵌入在天气图中的水印信息(见图 5)。

图 6 为南京 2011 年降水量图和提取出的嵌入水印“南京”的合成界面。

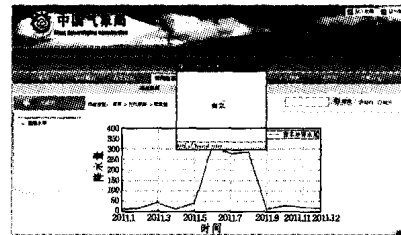


图 6 降水量预测图和嵌入水印“南京”

结束语 本文在充分考虑了卫星云图的保密性和纹理特征^[8]的基础上, 根据云图的纹理和暗影特征, 结合人类视觉系统(HVS), 采用自适应的方法将水印嵌入到卫星云图中。在 DC 系数中, 采用系数奇偶量化方法嵌入水印; 在 AC 中频系数中, 采用确定一个固定系数去修改图像嵌入点的系数。其在保证了水印不可见的同时, 对一般的噪声攻击和椒盐攻击具有很好的鲁棒性。

参考文献

[1] 杨文泉, 陆阳. 基于离散余弦变换图象水印算法的研究[J]. 计算机工程与应用, 2003, 13

[2] Cox I J, Killian J, Eighton F T, et al. Secure spread spectrum watermarking for multimedia[J]. IEEE Trans on Image Processing, 1997, 6(12): 1680-1685

[3] Nikolaidis A, Pitas I. Region-based Image Watermarking [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(11): 1726-1740

[4] 赵红, 郑琳琳, 陈彩琼. 一种基于 DCT 和 DWT 的自适应图像水印算法[J]. 漳州师范学院学报, 2008(2): 46-49

[5] 邵晓根, 孙天凯, 王兴元. 基于 HVS 和分形自相似的数字水印算法[J]. 计算机工程与设计, 2010, 31(14)

[6] 黄武辉. 基于 DCT 域的自适应盲数字水印算法研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2010: 36-40

[7] 路玲, 孙新德. 基于图像子块 DCT 系数对的盲检测数字水印[J]. 郑州大学学报: 工学版, 2010, 31(2)

[8] 庄陵, 王光宇, 邵凯. 基于离散余弦变换的 SC-FDMA 系统[J]. 重庆邮电大学学报: 自然科学版, 2011, 23(6): 691-694