

6-4-2020

## Multipurpose Image Watermarking Algorithm for Progressive Transmission

Jianqiu Jin

1. *School of Computer Information and Engineer, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018, China;;*

Bangqing Cao

2. *Xinyang Vocational & Technical College, Xinyang 464000, China;;*

Wang Xun

1. *School of Computer Information and Engineer, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018, China;;*

Haiyan Wu

1. *School of Computer Information and Engineer, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018, China;;*

*See next page for additional authors*

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

---

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

---

# Multipurpose Image Watermarking Algorithm for Progressive Transmission

## Abstract

**Abstract:** Multipurpose watermarking, which has the property of both robust and semi-fragile watermarking, can realize two or more purposes in one algorithm, e.g. copyright protection and content authentication usually. It can be classified into multi-segment and single-segment watermark embedding. The latter is better in invisibility, but more challenging than the former. *A multi-purpose image watermarking algorithm with single-segment watermark embedding for progressive transmission was proposed.* It embedded a watermark abstracted from original image into middle and low-frequency coefficients of block DCT transform. In the watermark embedding process, the intensity of watermark could be dynamically adjusted according to the local texture and highlight intensity of the host image. In this way, the algorithm could fast perform copyright protection and locate spiteful tamper. The intensive experimental results show that our algorithm meets our expectation that copyright protection and locating spiteful tamper can be carried out at the same time.

## Keywords

multipurpose watermarking, progressive transmission, JPEG, human visual system (HVS)

## Authors

Jianqiu Jin, Bangqing Cao, Wang Xun, Haiyan Wu, and Bailing Yang

## Recommended Citation

Jin Jianqiu, Cao Bangqing, Wang Xun, Wu Haiyan, Yang Bailing. Multipurpose Image Watermarking Algorithm for Progressive Transmission[J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(7): 1615-1622.

## 面向渐进传输的图像多功能水印算法

金剑秋<sup>1</sup>, 曹帮琴<sup>2</sup>, 王勋<sup>1</sup>, 吴海燕<sup>1</sup>, 杨柏林<sup>1</sup>

(1.浙江工商大学计算机与信息工程学院, 浙江 杭州 310018; 2.信阳职业技术学院, 河南 信阳 464000)

**摘要:** 多功能水印同时实现了用于版权保护的鲁棒水印和用于内容认证的半脆弱水印。它分为多段水印嵌入与单段水印嵌入, 后者在不可见性上优于前者, 但技术上更具挑战性。提出了一种面向图像渐进传输的单段水印嵌入的多功能水印算法, 它将图像的特征子图作为水印信息, 依据宿主图像局部区域的纹理强度和亮强度, 动态调整水印嵌入的强度, 将水印嵌入至 DCT (Discrete Cosine Transform) 变换域的中低频系数, 从而能在图像渐进传输的过程中快速判断版权归属和定位恶意篡改, 具备自验证特性。实验表明: 我们的方法在实现了版权保护的同时, 也实现了篡改定位。

**关键词:** 多功能水印; 渐进传输; JPEG; 人类视觉系统

中图分类号: TP309.7 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2016) 07-1615-08

## Multipurpose Image Watermarking Algorithm for Progressive Transmission

Jin Jianqiu<sup>1</sup>, Cao Bangqing<sup>2</sup>, Wang Xun<sup>1</sup>, Wu Haiyan<sup>1</sup>, Yang Bailing<sup>1</sup>

(1. School of Computer Information and Engineer, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018, China

2. Xinyang Vocational &amp; Technical College, Xinyang 464000, China)

**Abstract:** Multipurpose watermarking, which has the property of both robust and semi-fragile watermarking, can realize two or more purposes in one algorithm, e.g. copyright protection and content authentication usually. It can be classified into multi-segment and single-segment watermark embedding. The latter is better in invisibility, but more challenging than the former. A multi-purpose image watermarking algorithm with single-segment watermark embedding for progressive transmission was proposed. It embedded a watermark abstracted from original image into middle and low-frequency coefficients of block DCT transform. In the watermark embedding process, the intensity of watermark could be dynamically adjusted according to the local texture and highlight intensity of the host image. In this way, the algorithm could fast perform copyright protection and locate spiteful tamper. The intensive experimental results show that our algorithm meets our expectation that copyright protection and locating spiteful tamper can be carried out at the same time.

**Keywords:** multipurpose watermarking; progressive transmission; JPEG; human visual system (HVS)

## 引言

随着计算机技术的发展, 和互联网的迅速普



收稿日期: 2015-01-13 修回日期: 2015-03-25;  
基金项目: 国家高技术研究发展(863 计划)(2013AA013701), 浙江省自然科学基金(y1101326);  
作者简介: 金剑秋(1977-), 男, 浙江, 博士, 副教授, 研究方向为数字水印技术; 曹帮琴(1966-), 女, 河南, 研究方向为多媒体技术。

及, 在方便人们共享信息的同时, 也给信息的安全提出更加严峻的考验: 计算机和网络使人们能够非常方便地编辑、修改、存储和传播数字媒体信息, 但一些个人或团体受利益驱动, 在未经所有者许可的条件下擅自篡改数字媒体内容; 或者在传输过程中, 遭受各种有意无意的篡改攻击, 使得人们对数字媒体的完整性和内容的真实性产生质疑; 同时数字媒体信息在网络上近乎完美的复制和几乎无代

价的分发, 带来了一个严重的版权保护问题。

数字水印技术就是在这样的情况下应运而生的一种版权保护和内容认证技术, 它是在不影响媒体使用的情况下, 直接在媒体数据修改以嵌入水印, 从而能在媒体产品的正常使用过程中与原始媒体永久地结合在一起。因此, 它可以作为数字媒体产品保护的一种有效补充手段<sup>[1-2]</sup>。

数字水印技术依据宿主媒体不同, 主要可分为图像水印、音频水印、视频水印、文本水印, 以及三维网格模型水印<sup>[3-4]</sup>等等。依视觉效果分类, 可以分为不可见水印和可见水印 2 种。根据检测水印阶段是否需要原始媒体分类, 可分为盲水印和非盲水印。按用途分, 传统上可分为用于版权保护的鲁棒水印和用于内容认证的(半)脆弱水印, 但近些年来, 也出现了不少可同时用于版权保护和内容认证的多功能水印算法<sup>[5-6]</sup>。本文将提出一种图像多功能水印算法, 它同时具备鲁棒水印和半脆弱水印两种功能, 且能在网络渐进传输时快速提取检测水印, 以判断版权归属和图像是否被恶意篡改, 以及定位何处被篡改。

## 1 相关工作

相继嵌入多个不同性质水印也能在起到多功能水印的目的。但多功能水印决不是简单的 2 个或多个不同性质水印加入, 而是需要考虑单一嵌入优缺点的同时, 还要把它们有机的结合起来, 有时需要牺牲某种水印的优点以谋求整体的最佳。多功能水印算法又可以分为 2 类: 多段水印嵌入方法和单段水印嵌入方法。

多段水印嵌入方法多段水印嵌入方法是先将水印信息分成多段, 分别嵌入, 各段水印信息实现各自的用途。目前多功能水印技术大都采用多段水印嵌入方法。许多多段水印嵌入方法会结合空域水印方法和变换域水印方法, 这一方面可以利用空域算法在内容认证和篡改提示上的优势, 另一方面可以利用变换域水印算法具有较好的水印鲁棒性, 实现两者的优势互补。文献[7]将水印信息分成 3 段

嵌入 3 个不同的图像层次中, 第 1 段水印信息量最少, 在空域嵌入; 第 2 段水印信息量稍大, 嵌入 DCT 域中; 第 3 段水印信息最大, 嵌入小波域中。水印提取时, 空域的提取非常简单, 提出来的水印信息可以为后面 2 段水印提取提供足够信息, 所以不再需要其他密钥来针对两段变换域水印提取, 从而降低了传输信息的总量。而张利等人<sup>[8]</sup>将水印信息分成 2 段, 一段嵌入至图像的低频小波系数, 以实现鲁棒水印的功能; 另一段嵌入至图像 DCT 变换域中的高频系数, 以实现图像认证的目的。与之相反, 何涨桔等人<sup>[9]</sup>在图像的 DCT 域中嵌入鲁棒水印以保护版权, 在小波域内嵌入脆弱水印以实现篡改定位和恢复。也有在小波变换域的低频和高频部分分别嵌入水印, 分别实现鲁棒水印与脆弱水印功能<sup>[10]</sup>。也有文献在 VQ 域(Vector Quantization)嵌入水印以实现多功能的需求。如文献[11]提出了基于两级 VQ 技术来嵌入脆弱水印和鲁棒水印的多功能水印算法。在矢量量化第 1 级内, 利用邻近索引的特征参数, 如均值或方差, 嵌入一个水印, 因为受到攻击之后水印索引的变化非常大, 但其邻近索引的特征参数相对稳定, 从而使得该水印具有很强的鲁棒性; 在第 2 级内, 利用索引受限技术嵌入另一个水印, 含水印索引的任何变化都将导致提取出来的水印与原始水印产生差异, 从而体现脆弱性。

单段水印嵌入方法是指只嵌入一段水印, 通过不同的水印提取检测方法实现多功能水印的要求。相比多段水印方法, 这类方法需要嵌入的水印信息更少, 会有更好的水印不可见性, 但在技术上更有挑战性。文献[4]采用 Curvelet 对图像进行多层分解, 取其中的最粗糙成分的哈希值作为水印序列, 结合 HVS, 通过量化的方法将其嵌入至各层小波系数中。该方法能做到一次嵌入多种用途的单段水印方法的要求, 但仅使用哈希值无法定位恶意篡改的位置。文献[12-13]相继利用 SCS(Scalar Costa Scheme)水印嵌入策略分别实现了鲁棒水印和半脆弱水印, 事实上, SCS 嵌入策略可以实现只嵌入一段水印, 采用两种不同的水印提取方法, 同时实现

鲁棒水印和半脆弱水印。但 SCS 方法难以结合 HVS 理论以提高水印的鲁棒性。

本文将在下一节中提出一种单段水印嵌入的多功能水印算法, 它能快速盲检测的, 它是面向“网络渐进传输的”, 即在网络传输的过程中, 只需收到部分压缩数据就能够快速提取检测水印。

## 2 面向渐进传输的多功能水印算法

目前在网络上传输的图像大都采用 JPEG 压缩, 虽然最新的图像压缩标准 JPEG2000 在许多特性上优于 JPEG, 但迄今为止仍未得到广泛应用。因此本文针对 JPEG 压缩构造面向网络渐进传输的多功能水印算法, 简单介绍 JPEG 图像压缩标准。

### 2.1 JPEG 图像压缩编码标准

JPEG 是联合图像专家组(Joint Picture Expert Group)的英文缩写, 是国际标准化组织(ISO)和 CCITT 于上世纪 90 年代初联合制定的静态图像的压缩编码标准<sup>[14]</sup>, 是一种得到最广泛应用的有损压缩方法。其编码的基本流程如图 1(a)所示, 而解码则是为上述过程的逆过程, 如图 1(b)所示。

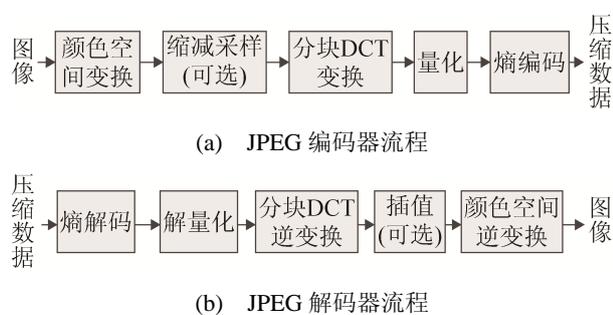


图 1 JPEG 编解码器流程图

整个 JPEG 编码过程我们需要关心的是量化之后, 熵编码之前如何将各 DCT 系数线性排列。JPEG 标准支持两种排列方式: 一种是用于顺序编码的“zigzag”方式, 如图 2 所示。

另一种则是将所有块第一个相同位置的系数收集在一起, 然后收集下一个相同位置的系数。详细地说, 若现在有 100 个  $8 \times 8$  的块  $B_i, i = 0, 2, \dots, 99$ , 则先收集各块  $(0, 0)$  位置的系数:  $A_0 = \{B_0(0, 0),$

$B_1(0, 0), \dots, B_{99}(0, 0)\}$ , 接着收集  $(0, 1)$  位置的系数至  $A_1$ , 依次类推。需要指出的是, 这种排列顺序可以使得 JPEG 压缩具有渐进传输功能。我们的水印算法要求图像采用这种 JPEG 渐进编码。

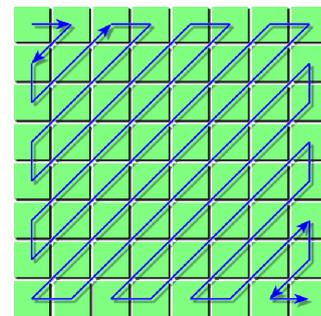


图 2 Zigzag 扫描顺序

### 2.2 水印算法整体结构

如图 3 所示, 我们的水印算法的嵌入过程大致分成 3 个步骤, 分别是水印生成、计算嵌入的强度和水印嵌入。我们的水印提取过程则相对简单很多, 无需给出示意图。

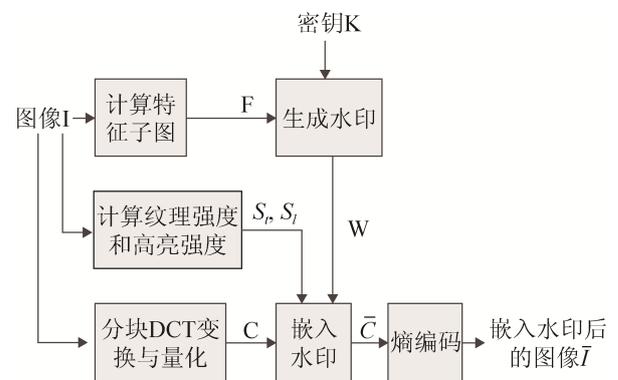


图 3 水印嵌入过程示意图

### 2.3 水印生成

本文中的水印信息不是随机生成的, 而是由图像自身的特征信息变换得到。具体地, 先由原始图像 I 生成一幅该图像的特征子图 F, 特征子图可以是灰度缩略图, 如图 4 所示; 也可以是用户需要保护的关键图像区域, 如图 5 所示。得到特征子图后, 把它表达成二进制序列; 接着让用户设定一个密钥 K, 以此密钥作为随机种子, 随机置乱该序列得到最终的水印序列 W。



图 4 人物例图



(a) 原图

(b) 特征子图

图 5 发票例图

## 2.4 纹理强度和高亮强度计算

人眼对图像的各块的敏感程度是不一样的，HVS(Human Vision System)理论<sup>[15-16]</sup>认为人眼对特别亮和特别暗的区域(后文统称为高亮区域)的噪声不敏感，对纹理区域的噪声不敏感。据此理论，我们需要度量图像各块的纹理和高亮强度，选择纹理强度大的，或高亮强度大的块嵌入水印信息。

记  $YB_i$  为图像 Y 分量的分块 DCT 变换域的第  $i$  个 block。根据 JPEG 编码中颜色空间的变换和分块 DCT 变换的性质， $YB_i(0,0)$  代表着块  $YB_i$  的平均

亮度，绝对值大的为高亮区域。因此我们选择  $YB_i(0,0)$  作为块  $YB_i$  高亮程度的度量，即： $S_l(i) = YB_i(0,0)$ 。而纹理强度则可以用 DCT 域中的中频系数来近似度量，我们选择下式计算纹理强度  $S_t$  (这只是一个经验公式)：

$$S_t(i) = |YB_i(0,2)| + 3|YB_i(1,1)| + |YB_i(2,0)| + |YB_i(2,2)|$$

## 2.5 水印嵌入

为了兼容 JPEG 压缩标准，也为了能够对 JPEG 图像快速检测水印，我们在 JPEG 压缩的第四步量化后嵌入水印。我们还利用上小节计算每一个 block 的纹理强度  $S_t$  和高亮强度  $S_l$ ，以便提高嵌入水印的能量和容量，最终提高水印的鲁棒性。为了快速检测，且能够在图像渐进传输过程中就能检测或提取水印，我们将水印信息嵌入至 DCT 域的中低频系数中；为了实现快速盲检测，我们修改了一般的 QIM<sup>[17]</sup> 水印嵌入策略，得到了一种三态 QIM 嵌入方法，详细描述见算法 1。

### 算法 1：三态 QIM

输入：载体数据  $c$  为一整数(取值范围不会超过  $[-128, 127]$ )，其二进制表示为，其中为符号位，水印信息  $w$ ，是否嵌入  $d$ ，事先设定的参数  $q$ 。

输出：嵌入水印后的。

过程：

如果  $d$  为真

$$\text{if } w=1, \quad \bar{c} = c_0 c_1 \cdots c_{q-1} 110 \cdots 0$$

$$\text{if } w=0,$$

否则

$$\bar{c} = c_0 c_1 \cdots c_{q-1} c_q 010 \cdots 0$$

我们记  $B_i$  为第  $i$  个 Block，它的第  $p$  个(按 zigzag 顺序排列)系数为  $c(p, i)$ ，嵌入过程由算法 2 描述。在算法 1 中需要设定参数  $q$ ，这个参数关系到水印的鲁棒性和不可见性，当  $q$  越小，鲁棒性越高，但可能破坏水印的不可见性。算法 2 中需要设定 2 个阈值  $\tau_t$  和  $\tau_l$ ，当这 2 个阈值变小时，可以增加

水印嵌入的容量, 但同样可能破坏水印的不可见性, 在选择中两个阈值时需要在水印不可见性和水印容量之间作出权衡。

### 算法 2: 水印嵌入

输入: 原始图像的分块 DCT 系数(量化后的), 每个 block 的纹理强度  $S_l$  和高亮强度  $S_h$ , 以及水印信息  $W=\{w_j\}$ , 事先设定的参数  $q$ , 阈值  $\tau_l$  和  $\tau_h$ 。

输出: 嵌入水印后的图像

step1.  $j=0$

step2. 顺序处理每一个  $B_i$ , 令  $d_l = (S_l(i) > \tau_l)$ , 运用算法 1 将  $w_j$  嵌入至  $c(0,i)$ , 若  $d_l$  为真,  $j=j+1$ ; 令  $d_h = (S_h(i) > \tau_h)$ , 运用算法 1 将  $w_j$  嵌入至  $c(4,i)$ , 若  $d_h$  为真,  $j=j+1$ 。

step3. 执行 JPEG 压缩的后续步骤(主要是熵编码), 得到嵌入水印后的 JPEG 图像。

## 2.6 水印提取与检测

根据 JPEG 渐进压缩的要求, 网络接收端先接收到的是所有 block 的低频系数, 当接收完每一 block 的第 5 个系数(按 zigzag 顺序), 就可以提取和检测水印了。这样, 符合本文提出的面向渐进传输的要求。水印提取算法具体地由算法 3 描述。

### 算法 3: 水印提取与检测

输入: 待检测图像  $\tilde{I}$  的分块 DCT 系数, 嵌入水印时用到的参数  $q$ , 生成水印时用到的密钥  $K$ 。

输出: 提  $\bar{c} = c_0c_1 \dots c_{q-1}010 \dots 0$  取的水印  $\bar{W}$ , 版权归属以及完整性认证结果。

step1.  $j=0$

step2. 顺序处理每一个  $B_i$ , 检查其第一个系数  $c(0, i)$  的第  $q+1$  位 bit, 若值为 0, 则表示该系数没有嵌入水印, 若值为 1, 则令  $\bar{w}_j$  等于该系数的第  $q$  位 bit,  $j=j+1$ ; 接着, 同样的方法检查第 4 个系数  $c(4, i)$ 。最终得到提取的水印  $\bar{W}$ 。

step3. 利用上一步得到的  $\bar{W}$  和密钥  $K$ , 执行 3.3.3 节水印生成的逆过程, 可以得到图像的特征子图  $\bar{F}$ 。同时利用当前接收到的数据, 可利用 JPEG 解码得到图像  $\tilde{I}$ , 用同样的方法, 得到图像  $\tilde{I}$  的特

征字体  $\tilde{F}$ 。

step 4. 比较  $\bar{F}$  和  $\tilde{F}$ , 如果  $\bar{F}$  杂乱无章, 与  $\tilde{F}$  完全不相同, 说明图像  $\tilde{I}$  不含有水印  $W$ , 或图像已被过分严重的攻击, 无法准确提取水印; 如果  $\bar{F}$  和  $\tilde{F}$  之间没有明显的差别, 说明图像  $\tilde{I}$  含有水印  $W$ , 也即说明了图像版权归属; 如果  $\bar{F}$  和  $\tilde{F}$  相似, 但在关键的处有着明显的差别, 说明图像被恶意篡改, 同时存在差别的地方定位了恶意篡改的位置。还需要说明的是如果密钥  $K$  不正确, 得到的是杂乱无章的, 这样也保护了水印信息的私密性, 同时也明确了版权归属: 只有拥有正确的密钥  $K$ , 才拥有该图像的版权。

在算法 3 的 step 4 中, 我们看到, 我们的算法能够实现快速盲检测的多功能水印, 且兼容于 JPEG 渐进传输标准; 即在网络传输过程中, 当仅接收到少量的低频系数, 就可以提取检测水印, 提示用户版权归属, 以及是否遭受恶意篡改, 若是, 还可定位恶意篡改的位置。

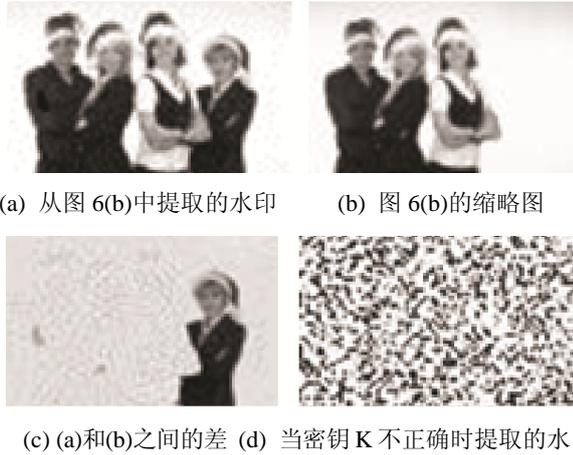
在整个水印嵌入提取算法过程中, 需要设定 3 个参数:  $q$  和  $\tau_l$  和  $\tau_h$ 。通过大量的实验, 我们选取  $q$  为 5,  $\tau_l$  和  $\tau_h$  分别为 35 和 45, 对绝大部分自然图像都有较好的效果。后文所列的实验结果全都采用这样的参数设定。

## 2.7 图像篡改实验

我们做了大量的实验来验证我们的算法是否具备多功能水印的需求。第一个例子, 我们运用本文算法嵌入水印至图 4(a)中, 之后篡改嵌入水印后的图像, 结果见图 6。可以看到, 篡改的图像(b)与(a)在色彩上也有点差别, 内容上也作了些修改。我们对图 6(b)提取水印, 结果见图 7(a); 同时对图 7(b)提取特征子图(缩略图), 结果见图 7(b)。图 7(c)是(a)和(b)的差, 将其放大至原来的分辨率得到(e), 从中我们容易看到哪个地方被篡改了; 但如果密钥  $K$  不正确时, 提取的水印就是杂乱无章的, 如图 7(d)所示。



图 6 人物例图



(e) (c)放大的结果

图 7 人物例图提取水印实验结果

另一个例子，原图见图 6(a)，将其特征子图 6(b)作为水印信息嵌入图 6(a)中，之后篡改其中的金额，见图 8(a)。接着对图 8(a)提取水印，见图 8(b)。图 8(a)和(b)两相对照，易见图像被篡改了，以及何处被篡改。



(a) 篡改后的图像

全 Amount 额			
十	千	百	元角分
		9	99.00
		9	99.00

(b) 从(a)提取的水印

图 8 发票例图的实验结果

## 2.8 鲁棒性分析与实验

多功能水印算法，既能判别和定位篡改，还能在多种非恶意的图像处理下保持水印的可检测性，以保护图像版权所有者的版权。这一节我们来验证我们方法的在常见图像处理下的鲁棒性。

我们做了大量的攻击测试，采用了平滑、压缩、直方图均衡化，以及这些攻击的组合等等图像处理手段对嵌入水印后的图像加以攻击；我们采用错误比特率(BER: bit error ratio)来衡量算法的鲁棒性，采用图像处理领域中经典图像作为水印载体来测试本文算法。实验结果见表 1，表中的 Lena 等共 3 幅图像均为彩色图像。

表 1 攻击测试。

攻击手段	Lena		Peppers		Mandrill	
	PSNR	BER %	PSNR	BER %	PSNR	BER %
Watermarked image	43.25		41.78		38.57	
直方图均衡化	19.62	8.2	27.21	1.2	30.56	0.85
JPEG 压缩 1	30.29	0	29.23	0	28.89	0
JPEG 压缩 2	25.41	0.23	25.39	0.14	25.74	0.11
高斯滤波 1	30.80	0.18	29.26	0.17	29.66	0.20
高斯滤波 2	26.71	0.92	25.23	0.97	26.31	0.86

这里的直方图均衡化是先将图像转换至 YUV 颜色空间，对 Y 分量做直方图均衡化，然后再转回 RGB 空间。

从表中可以看到, 算法对 JPEG 压缩具有很好的鲁棒性, 原因在于水印嵌入就是在 JPEG 压缩域上进行, 且只对中低频系数进行嵌入, 压缩比不大的压缩是不会破坏水印信息的。对直方图均衡化操作可能会破坏水印, 这依赖于原始图像本身的直方图, 如果它偏离均衡直方图很大, 则均衡化后会大幅修改图像的灰度值。

另外, 我们也做了许多实验来观察可能存在的误报现象。当密钥  $K$  不正确, 或待检测的图像中并不包含水印, 按照同样的方法提取水印并计算其 BER, 我们发现在所有这样的实验中,  $BER > 70\%$ 。综合两类实验(可能存在漏报的实验和可能存在误报的实验), 我们认为设定 10% 作为 BER 的阈值是恰当的。当提取出来的水印的  $BER < 10\%$ , 则认为含有我们嵌入的水印; 反之, 则认为没有。这样可以吧误报率控制在很低的水平。

就目前的设计, 本文算法还无法抵抗旋转变换等几何攻击。通常, 如果要考虑抵抗几何攻击, 则需要一种图像同步机制, 即要让被几何变形的图像矫正回来。在图像水印研究领域, 研究人员已经发现多种图像同步方法<sup>[18]</sup>, 事实上, 本文的方法再加上适当的图像同步方法, 也能抵抗几何攻击。

## 2.9 计算复杂度分析

首先考虑水印嵌入过程的计算复杂度。嵌入过程需要计算特征子图、生成水印、计算纹理和高亮强度、分块 DCT 变换和量化、QIM 水印嵌入, 以及最后的熵编码; 相对于对图像大小而言, 各个步骤的计算复杂度都是线性的, 因此整个水印嵌入过程的计算复杂度是线性的。而水印提取过程同样是线性时间复杂度的, 且更为简单快速: 它只需要熵解码和 QIM 提取水印两个步骤, 这两个步骤的计算复杂度同样是线性的。我们也在我们的测试平台(Intel 酷睿 E6400 处理器, Windows 7 64bit 操作系统)上做了仿真实验, 发现对所有的 512×512 大小的彩色图像, 水印嵌入和提取过程所需时间都不足 0.1 s(这里不包括图像加载至内存的时间)。

## 3 结论

2.4 节中的纹理强度计算可以有多种方法, 除了本文选择中频系数的绝对值之和和外, 还有求中高频系数的最大值, 或平方和, 或熵等等。但我们的实验发现, 我们的选择在多数情况下有着较好的效果, 只是在少数情况下, 会出现将图像的边缘误判为纹理。未来我们将研究更为准确的纹理强度度量方法。

在本文中, 通过采用图像的特征子图作为水印, 我们提出了一种水印自认证的多功能水印算法。我们的算法要求图像按 JPEG 渐进编码方式压缩, 并选择在分块 DCT 变换域的中低频系数上嵌入水印, 这使得我们的算法是面向“渐进传输”的, 即图像接收端在收到部分图像数据时, 即可解码数据, 快速提取水印信息, 从而可进行快速的版权归属判断和图像完整性认证。

## 参考文献:

- [1] 黄继武, 谭铁牛. 图像隐形水印综述 [J]. 自动化学报, 2000, 26(5): 645-655.
- [2] 刘瑞祯, 谭铁牛. 数字图像水印研究综述 [J]. 通信学报, 2000, 21(8): 780-789.
- [3] 杨国梁, 周明全, 武仲科, 等. 数字博物馆文物三维模型基于谱分析的数字水印技术 [J]. 系统仿真学报, 2014, 26(9): 2136-2141.
- [4] 王颖, 郑雪峰, 刘海燕. 一种基于 Geometry Image 的鲁棒三维水印 [J]. 系统仿真学报, 2010, 22(6): 1450-1453.
- [5] Lu C. Multipurpose watermarking for image authentication and protection [J]. Image Processing, IEEE Transactions (S1057-7149), 2001, 10(10): 1579-1592.
- [6] Zhang C, Cheng L. Multipurpose Watermarking Based on Multiscale Curvelet Transform [J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security (S1556-6013), 2008, 3(4): 611-619.
- [7] J Fridrich. A Hybrid watermark for tamper detection in digital images [C]// ISSPA'99Conf., Brisbane, Australia. USA: IEEE, 1999: 301-304.
- [8] 张利, 吕建平, 杨龙. 基于 DCT 和 DWT 变换域的双功能水印法 [J]. 西安邮电大学学报, 2013, 18(1): 50-53.
- [9] 何涨桔. 多功能数字图像水印算法研究 [D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2014.

(下转第 1627 页)