

基于结构化编码的抗剪切图像数字水印

周翔翔¹, 尹忠海², 王 欣¹, 韩毅娜¹

(1. 空军工程大学 电讯工程学院, 西安 710077; 2. 空军工程大学 理学院, 西安 710051)

(zhouxiangxiang1982@163.com)

摘 要:提出了一种利用辅助信息的抗剪切数字水印算法。该算法通过对数字水印进行结构化编码使其具有标识功能,并设计了相应的结构化嵌入和提取策略。实验结果表明,算法提取效果好,速度快,能够有效地抵抗剪切攻击和一些常规攻击。

关键词:数字水印;结构化编码;剪切攻击;图像定位

中图分类号:TP309 **文献标志码:**A

Crop-resistant digital watermarking for image based on structured coding

ZHOU Xiang-xiang¹, YIN Zhong-hai², WANG Xin¹, HAN Yi-na¹

(1. Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an Shaanxi 710077, China;

2. Science Institute, Air Force Engineering University, Xi'an Shaanxi 710051, China)

Abstract: A digital watermarking algorithm based on the accessorial information was proposed to resist cropping attack. The algorithm coded watermark with structured coding, and made the digital watermarking possess the identifying function. The embedding and extracting strategies were designed too. Experimental results show that the algorithm has good extracting effect and the fast speed, and can resist cropping attack and some routine attacks effectively.

Key words: digital watermarking; structured coding; cropping attack; image orientation

0 引言

数字水印技术的理论与实践发展至今出现了大量的算法,这些算法具有一定的鲁棒性。但是多数算法只能抵抗常规信号处理,而无法抵抗破坏水印同步性的几何攻击。目前对于数字图像抗几何攻击进行的研究重点是抵抗 RST (Rotation, Scaling, Translation) 攻击,而对于抵抗剪切攻击的研究较少,且研究的多数剪切攻击只是针对图像的内部擦除而没有去同步,如文献[1-2]。

抗几何水印算法分为两大类:非盲提取方法和盲提取方法。非盲提取方法由于使用了原始图像,或者需要在海量数据库中寻找原始图像,从而盲提取技术具有更广泛的应用领域。目前抵抗几何攻击的盲提取方法大致分为两类^[3]:1)利用辅助信息的抗几何攻击水印,即在空域或变换域上嵌入一个可识别的结构或嵌入一个模板作为校准因子^[4-5];2)应用数据的重要特征来嵌入水印,即将水印嵌入到图像的重要特征点或用特征点作为水印检测的参考点^[6-7]。

本文研究的剪切攻击不仅包括内部擦除还包括去同步的边框剪裁,根据需嵌入水印数据量较大的特点,借鉴基于辅助信息的思想,通过将辅助信息与水印信息绑定到一起,并设计相应的抗剪切嵌入及提取策略。

1 抗剪切数字水印算法

图像的剪切操作包括:图像边框剪裁和内部图像擦除,如果剪切操作的对象是嵌有水印的掩蔽图像,则势必会对水印的正确提取产生影响。

图像边框剪裁操作,残留部分图像,改变了图像的大小,破坏了载体图像和水印之间的同步性,即失去了水印嵌入位置的信息,该操作属于同步攻击。在载体图像的内部擦除部分信息,仍可以提取出部分水印信息,可将之归入局部攻击。下文出现的剪切攻击无特别声明时,皆为图像边框剪裁这类改变图像大小的剪切攻击。

为提高整个系统的抗剪切攻击能力,本文对数字水印嵌入前结构化编码,并在载体图像中嵌入多个拷贝水印。

1.1 水印结构化编码

水印可以选择有意义的二值图像、创作者的序列号或者伪随机序列。本文选择由 12 个字符组成的有意义的二值图像作为图像数字水印,这 12 个字符表示数字图像的发行商、授权用户以及分发时间等信息,产生大小为 32×30 的有意义二值水印图像。

以二值水印图像表示的大小为 960 bit 的一维 0、1 数组为信息字段 W ,然后在信息字段前增加 32 bit 的数据作为同步字段。结构化编码构成数据 $W' = (11110000101000110000111101011100) \parallel W$,用 32 个特定比特作为数据帧头,能有效标识水印数据。在 W' 后面增加 32 bit 作为备用字段,共构成长为 1024 bit 的编码后水印 W'' 。

1.2 结构化嵌入算法

若在载体图像中自左至右、自上而下选择需嵌入水印的离散余弦变换 (Discrete Cosine Transform, DCT) 块,不同剪切位置对数字水印的提取有不同的影响。若仅剪切掉掩蔽图像下侧,剩余图像又含有足够的数字水印信息,则水印提取不受

收稿日期:2008-12-02;修回日期:2009-02-17。

作者简介:周翔翔(1982-),男,江苏盐城人,博士研究生,主要研究方向:指挥控制信息系统、数字水印; 尹忠海(1964-),男,河北沧州人,副教授,博士,主要研究方向:计算机网络、信息安全; 王欣(1983-),女,四川成都人,博士研究生,主要研究方向:网络安全、指挥控制信息系统; 韩毅娜(1965-),女,陕西西安人,讲师,硕士,主要研究方向:信息安全、数字水印。

任何影响。对掩蔽图像左侧、上侧、右侧的任何剪切攻击均有可能破坏水印在图像中的结构信息。为此本文采用以下 DCT 块选择及嵌入策略。

1) 对载体图像进行分片, 每个分片大小为 256×256 , 在每个分片中嵌入一个完整的水印信息 W'' 。

2) 在每个大小 256×256 的分片中, 将分片分为互不重叠的 8×8 小块, 则一个分片可以分成 8×8 小块的数目为 1024, 选择分片中固定位置的 256 个 8×8 小块作为水印的嵌入块。本算法 8×8 小块选择方法是, 隔行隔列地选择 8×8 小块作为嵌入位置, 如图 1 所示, 黑色的 8×8 小块为水印嵌入块。因为选定的小块要进行 DCT 来嵌入水印, 所以把选定的 8×8 小块称为 DCT 块。一个分片中 DCT 块个数为 256, 在每个小块中嵌入 4 bit, 则一个分片共可嵌入 1024 bit, 正好可以嵌入一个完整的水印数据。

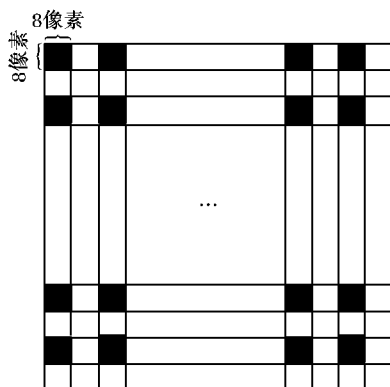


图1 256×256 分片中 DCT 块选择

3) 将 DCT 块数据变换到 DCT 域, 选择 DCT 域 4 个低频 AC 系数以嵌入水印比特。本文选择 4 个低频系数的频域位置为 $P_0 = \{(0,1), (1,0), (2,0), (1,1)\}$, 如图 2 所示, 其中 D 表示直流系数, A 表示 AC 系数, 颜色为黑的 4 个位置为水印比特嵌入系数。每个比特的嵌入方法采用嵌入系数最低位和较高位比特二值逻辑关系法^[8]。

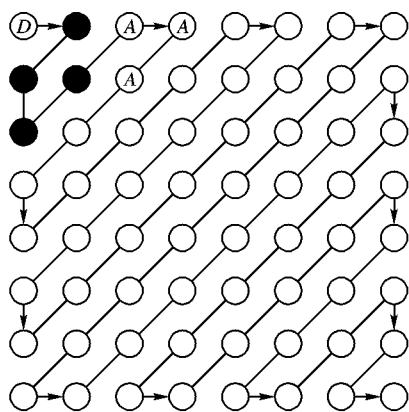


图2 单个 8×8 块 DCT 域嵌入系数选择

1.3 盲检测提取算法

1.3.1 图像定位

定义 1 给定一个二维坐标系, 对于任意的矩形图像 I , 该图像 I 满足相邻的两条边与两个坐标轴重合, 图像 I 最左上角的像素点称为参照点, 并位于坐标系的原点。

定义 2 遭受剪切攻击后的掩蔽图像称为残留图像, 在残留图像中保留的原掩蔽图像中的一个完整分片简称为残留完整分片, 所有的残留完整分片构成残留分片图像。

结论 1 残留分片图像的参照点必定在残留图像的第一个分片大小范围内。

证明 设定残留分片图像的参照点为 C 点, 残留图像的参照点为 B 点, B 点必定位于未剪切掩蔽图像的某个分片内, 设这个包含 B 点的分片为 P 。在未剪切掩蔽图像中存在图 3 所示的四个分片。

若 B 点位于分片 P 的最左上角, 则 C 点与 B 点重合, 如图 3(a), 结论显然成立; 若 B 点位于分片 P 的上边沿、左边沿、其他位置, 则 C 点与 B 点的关系分别如图 3(b) ~ (d)。以上四种情况包含了 B 点位置所有的可能, C 点与 B 点在 x 和 y 两个方向上的距离都在区间 $[0, 255]$ 上, 故结论成立。

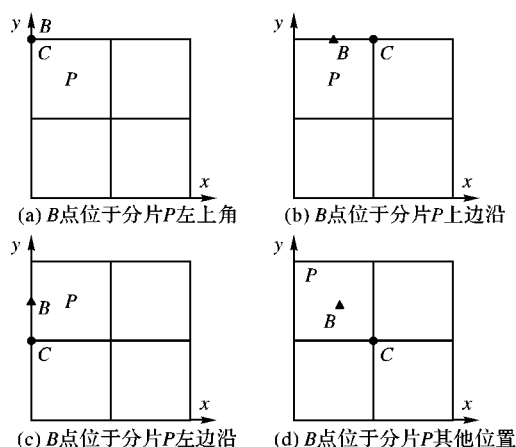


图3 残留分片图像参照点与残留图像参照点关系

结论 1 表明 C 点必定在以 B 点为参照点的一个分片图像范围内, 即在以 B 点为原点的坐标系中, C 点坐标 (c_x, c_y) 满足: $c_x, c_y \in [0, 255]$ 。

掩蔽图像可能遭受剪切攻击, 所以图像定位的目标是从残留图像中找到残留分片图像, 关键是定位残留分片图像参照点。

在对数字水印信息进行了结构化编码并采用结构化嵌入策略的前提下, 数字水印的盲提取算法为: 由于残留分片图像参照点不确定, 可以在残留图像的第一个分片大小范围内, 假定任意一个像素点为残留分片图像参照点, 通过图像分片, 得到假定的残留分片, 在假定的残留分片中得到嵌入块位置, 通过使用文献[8]中单个嵌入块的比特数据提取算法, 提取同步字段数据, 使用大数判决方式对多个假定残留分片中提取的多个版本数据进行判决, 之后判断提取的数据与原始设定的同步字段是否满足码距不大于容差, 如果满足则表明假定的残留分片图像参照点即为真正的残留分片图像参照点, 并可以得到所有的残留分片位置。

1.3.2 水印信息提取

图像定位步骤后, 可以确定出所有的残留完整分片位置。在一个残留完整分片中可以得到嵌入块位置, 通过使用文献[8]中的单个嵌入块比特数据提取算法, 提取出一个版本的水印数据, 将多个分片中的多个版本的水印数据进行大数判决, 得到 960 bit 大小的水印信息。根据这些 0、1 数据可以产生一个尺寸为 32×30 的二值图像, 由此可以得到盗版者的信息。

2 实验结果与分析

实验系统搭建在 PC 机上, 开发工具为 Visual C++ 6.0

专业版。实验过程中使用 PhotoShop 8.0 对掩蔽图像进行了各种攻击。图4是对载体图像实施剪切攻击后的提取结果。

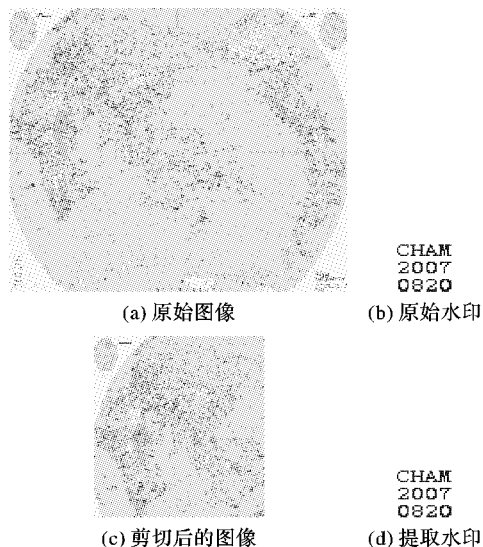


图4 剪切攻击

图5是对图像进行 JPEG 压缩之后再提取恢复的实验,随着压缩品质的降低,指纹提取效果降低,当达到压缩品质为1时,无法判别出指纹信息。

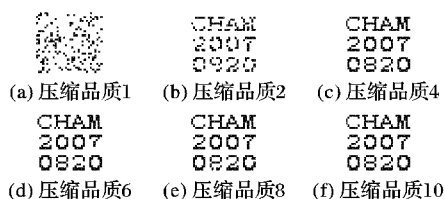


图5 JPEG 压缩

图6是图像亮度和对比度变化。

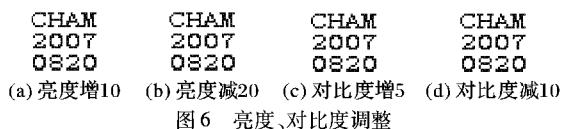


图6 亮度、对比度调整

图7是局部擦除攻击和局部扭曲的实验结果(其中的擦除即为内部擦除剪切攻击)。

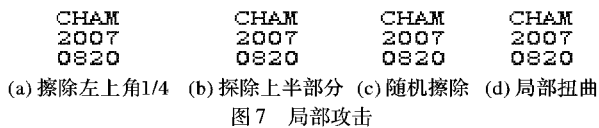


图7 局部攻击

图8是模糊、锐化攻击的提取效果。



图8 滤波攻击

理论上来说,只要提取时水印定位正确,并且剪切后的图像中至少包含一个完整的分块,水印都能够正确地提取出来。但是剪切位置能否正确定位主要取决于剩下的那些分块的统计特性,如果剩下的分块数太少,则有可能定位出错。而定位出错,就不能正确地提取水印。经过大量实验发现,如果剩余的分块的数目不小于4,则水印基本能够被正确检测出来。

由此可知:本文将作为同步字段的辅助信息与水印信息进行绑定的方法,配以相应的嵌入与提取算法,实现抗剪切攻击版权保护是可行的。

通过与文献[1,5-7]算法的实验结果比较,本文算法具有以下特点:

1)由于对嵌入水印的 DCT 系数进行了 JPEG 量化后再嵌入水印,故算法抗 JPEG 压缩能力强;

2)由于进行了图像分片,在各个分散位置上集中嵌入一个完整的水印,且提取算法中图像定位方法定位比较准确,故算法抗剪切攻击效果好;

3)由于辅助信息嵌入在 DCT 域,相对于大多数将辅助信息嵌在时域的算法,其辅助信息不易被常规攻击破坏,具有更强的抗综合攻击能力。

本文算法的不足之处包括:

1)提取过程的耗时主要在图像定位操作上,有时耗时较长;

2)本文算法构造的水印数据量较大,比较适用于大尺寸载体图像。

综上所述,本文提出的算法具有较好的鲁棒性,能够有效地抵抗多数去除攻击,最为主要的是该算法能很好地抵抗剪切攻击。

3 结语

本文提出了一种针对数字图像抗剪切攻击的鲁棒水印算法,不仅对边框剪裁这类剪切攻击具有很好的鲁棒性,并且对常见的内部擦除剪切攻击、压缩、加噪等多种图像处理操作也具有很好的效果,该算法已成功应用于某工程项目。下一步可以对每个拷贝水印进行纠错编码,在水印提取时不使用大数表决,只须找到一个版本的无误差水印,从而进一步提高水印系统的鲁棒性。

参考文献:

- [1] 尹德辉,李炳法.抗剪切的彩色数字图像盲水印算法[J].计算机应用,2005,25(4):853-855.
- [2] ZHENG DONG, LIU YAN, ZHAO JI-YING. RST invariant digital image watermarking based on a new phase-only filtering method [C]// Proceedings of 7th International Conference on Signal Processing: ICSP '04. Washington, DC: IEEE Press, 2004, 1: 25-28.
- [3] 刘九芬,黄达人,黄继武.图像水印几何攻击研究综述[J].电子与信息学报,2004,26(9):1495-1503.
- [4] 谢荣生,刘承香,杨树国,等.基于模板匹配的抗几何攻击图像数字水印[J].哈尔滨工程大学学报,2002,23(3):54-58.
- [5] 王丽,赵媛媛,赵耀.一种抗剪切的鲁棒数字水印[J].数据采集与处理,2006,21(3):330-333.
- [6] KANG XIAN-GUI, HUANG JI-WU, SHI Y Q. An image watermarking algorithm robust to geometrically distortion [C]// Proceedings of International Workshop on Digital Watermarking: IWDW2002, LNCS 2613. Berlin: Springer-Verlag, 2002: 212-223.
- [7] 邓峰森,王炳锡.基于特征点的抗几何失真数字图像水印[J].信号处理,2005,21(1):12-16.
- [8] 杨恒伏,陈孝威.一种鲁棒的 DCT 域公开水印算法[J].计算机工程,2003,29(6):142-144.