计算机科学2000Vol. 27№ .1

频域图像水印算法模型及其分析*)

A Model and Analysis of Image Watermarking in Frequency Domain

周四清[1,2] 余英林[1]

(华南理工大学电子与通信工程系 广州510641)[1]

(广东职业技术师范学院计算机系 广州510633)[2]

Abstract We propose a model of image watermarking in frequency based on the analysis of image watermarking, and describe the characteristics—imperceptivity, robustness and security by quantity, and provide a basic framework for using in the future. Experiment results prove the efficent of the model.

Keywords Image watermarking, Algorithm, Model

一、引言

多媒体通信业务和Internet——"数字化、网络化"的迅猛发展给信息的广泛传播提供了前所未有的条件,同时也带来了新的问题——信息数字化产品(如电子出版物、音频、视频、动画、图像产品等)的侵权、盗版和随意篡改,信息数字产品的安全传播问题(如知识产权保护、电子商务支付安全、网络安全等)成了一项重要而紧迫的研究课题。

在已经使用的版权保护方法中:(1)加密或条件存取:只在传输信道中保护数据或一般只能存取加密数据。(2)版权保护机制:在开放系统中实现十分困难或通常版权保护机制是预防性质的。如公用加密系统不能完全解决非授权拷贝问题,RSA系统对于待加密文件的处理是将其加密成密文,使得在网络传递过程中的非法拦截者无法从中获取机密信息,达到保密的目的。但经过加密后,只有被授权持有解密密钥的人,才可以存取数据,无法向更多的人展示自己的作品;而且一旦破密,就以电子形式存在,同时完全置于解密人的控制之下,可以无限制地拷贝,同时如果存在多个接受者,就没有任何直接证据来证明特殊的授权者传给非授权者,原创作者没有办法追踪作品的复制和转发。再者,至少对某些人来说,加密具有挑战性,很难阻止一个加密文档解密时被"剪掉"。因此,需要一种更有效的技术手段来保护数字化信息的著作权。

近几年发现的数字水印技术为电子数据的版权保护等需要提供了一个潜在的手段,成为了多媒体信息安全研究领域的一个热点问题,受到了国际学术界与企业界的广泛关注。(1)数字水印本质上是一个隐藏在数字化图像、视频、音频录音等多媒体中的信息,水印与内容本身集成在一起,因此不需要额外的存储空间或新的存储格式标准,它包括各种信息;它不象传统的水印(在纸上),一般是肉眼可见的,数字水印可以是不可见的或不可听的,然而它能够被计算机"阅读"。(与传统"水印"的区别)。(2)从保密的角度来讲,由于非法拦截者从网络上拦截下来的是伪装后的普通文档,看起来和其它非机密的一般资料没有差别,因而十分容易逃过非法拦截者的破解。(3)使用持久的数字水印的思想来唯一地识别信息数字化产品的安全和合法的接受者,在电子出版行业具有更大的兴趣,它可以嵌入关于原接收者的有关信息,不阻止拷贝但能够追踪非法拷贝,也可以说是"最后一道防线"。(4)图像水印技术是一门交叉的新兴技术,它结合了许多不同的研究领域的思想,如信号处理、图像理论、编码理论、信息论、加密、计算机科学、检测理论、概率论和随机过程、对策论、算法设计等技术,以及公共策略和法律。

在国内外,已有许多大学、科研机构以及大公司都正从事数字水印的学术和应用研究,同时也设计了许多不同的水印算法,在本文中,我们首先分析已有的图像水印算法,然后我们提出了一个频域图像水印算法模型,对算法中的主要特征给出定量描述,并用一个具体实验来说明这个模型的有效性。

*)本文得到国家自然科学基金资助。周四清 副教授,在职博士生,研究方向:数字水印,图像处理,网络安全,盲信号处理等。余英林 教授,博导,研究方向:图像处理,盲信号处理,神经网络,模糊技术,计算智能等。

二、已有的图像水印算法分析

在大量的应用中，已经开发了许多图像水印算法，它们主要有两个过程：嵌入水印和检测水印，根据嵌入图像空间的不同可分为两大类：时域（空间域）水印和频域水印[1]；频域水印比时域水印具有更好的性质，因此在这里我们主要研究频域图像水印算法，在频域中嵌入水印必须首先用变换 T 将图像 I 化成 $T(I)$，最典型的图像变换有 DCT DFT DWT WP 等，如 Cox[2]等在 DCT 域中利用 SS 和 HVS，将水印嵌入视觉最重要系数中，获得了很好的效果，算法流程框图见图1。随后许多人进行了大量的工作，结合图像压缩方法和基于分块 DCT，将水印嵌入中频或中低频。在 DWT 域中，如 Xia[3]等结合 SPIHT 压缩方法，分级将水印嵌入小波域，Kundur[4]结合图像处理和数据融合，设计了易脆性水印，Houng-Jyh Wang[5]结合 MTWC 压缩方法，将水印集成于压缩图像中。它们的算法都是对图1的某些部分采用不同的策略。检测水印的方法主要有两大类：根据是否需用原图像作参考来分为盲水印检测和非盲水印检测，利用信号的检测理论，有提取水印与嵌入水印的相似性检测，或提取水印与图像的相关性检测，即水印的完整性与水印的存在性检测。它们将图像水印分为两个阶段，考虑到水印化图像可能受到的各种攻击后才检测的，我们可以将图像水印的三个主要过程—嵌入水印、攻击和检测水印一看成一个系统，对每一个组成部分，不同的算法用了一些不同的处理策略，详细说明在下一节。

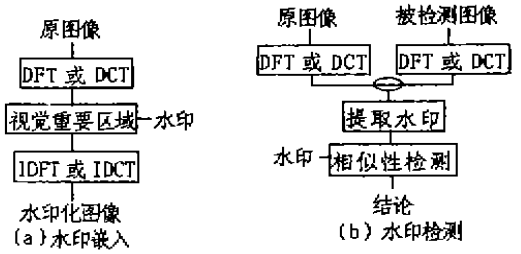

图1 *Cox* 的图像水印算法

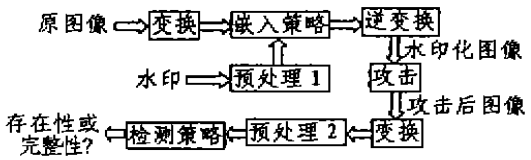

图2 频域图像水印算法框图

三、频域图像水印算法模型

通过上面的分析，我们提出了一个频域图像水印算法模型如图2。

在我们这个模型中，构成图像水印算法有下面以下几个主要部分：

1 利用变换 T 将原图像 I 转化为 $T(I)$，以便我们能够充分利用图像的频域特性，其中 T 可以是我们常用的 DCT DFT DWT WP 等；

2 水印 W 经预处理 P_1 转化为 $P_1(W)$，其中 W 可以是注册商标、日期、或任何有意义的数字序列，预处理 P_1 可以是扩频编码或信道控制纠错编码或密钥等，$P_1(W)$ 就表示二极数字序列或模板；

3 经过嵌入策略 E 将 $T(I)$ 和 $P_1(W)$ 生成 $E(T(I),P_1(W))$，其中嵌入策略 E 主要是考虑用 $T(I)$ 和 $P_1(W)$ 来修改 $T(I)$，如何结合 HVS、量化、调制等方法去修改低频、中频还是高频等，满足图像水印的一些性质；

4 用逆变换 T^{-1} 将 $E(T(I),P_1(W))$ 变换为一个水印化图像 $I_w=T^{-1}(E(T(I),P_1(W)))$；

5 水印化图像 I_w 在传输过程中，可能受到各种蓄意或无意的图像操作，如常见的图像去噪、压缩、滤波、量化等及图像的几何变换等。这些操作对水印化图像的质量都有很大的影响，以至于原来嵌入的水印受到破坏而无法检测，我们将所有的这些操作叫做攻击，记为 A。当没有攻击时，$A=id$（其中 $id(I_w)=I_w$），因此，我们在检测水印面对可能就是受攻击后的图像 I_w^*，$I_w^*=A(I_w)$；

6 在检测水印时，对提交的图像 I_w^* 作同样的变换 T，得到 $T(I_w^*)$；

7 预处理 P_2 与预处理 P_1 相对应，如果预处理 P_1 是编码，那么 P_2 就是解码，如果预处理 P_1 是扩频，那么 P_2 就是解扩频等。得到 $P_2(T(I_w^*))$；

8 检测策略 D 主要是考虑是否需要用原图像分为盲水印检测或非盲水印检测，得出的结果是水印的存在性（二值性回答"是"或"否"）还是水印的完整性（W^* 是否与原来的 W 一致或相似，可以用度量来回答），检测策略 D 与嵌入策略 E 也是相关联的，

上述1—4为嵌入水印过程，5为攻击过程，6—8为检测水印过程。

对比上面图像水印算法模型的分析，我们可以看出已有的许多图像水印算法都是其特例，这个模型给出了一般性框架。

四、图像水印算法性能分析

在图像水印算法中，有几个很重要的特征——不

可视性、鲁棒性(或易破性)、安全性、误检或漏检的概率、计算的复杂性等,以满足图像水印算法的特征为目标来设计算法。为了分析图像水印算法的性能,我们给出它们的定量描述。

1 图像水印的不可感知性(也叫不可视性):从图像 I 嵌入水印 W 后得到水印化图像 I_w,对图像的视觉质量没有影响,也就是从视觉上无法分辨出图像 I 是否嵌入了水印 W,这种性质就叫做水印的不可感知性。我们用一个与视觉有关的一个函数 $V(I,I_w)$ 来度量,它存在一个阈值 V_0,具有下面的性质:当 $V(I,I_w)\leqslant V_0$ 时,表示人眼无法分辨出原图像和水印化图像的区别;当 $V(I,I_w)>V_0$ 时,表示人眼对原图像和水印化图像感觉有明显的区别,这样的水印嵌入方法是不可取的。

2 图像水印的鲁棒性:图像水印的鲁棒性就是水印化图像 I_w 经过 A 攻击得到 I_a,水印 W 仍然存在于图像中的能力,或者说对 I_a 作水印检测时,仍然能够保证水印的存在性或完整性。设计一个函数 B 来度量 I_w 和 I_a 之间的关系,$B(I_w,I_a)$,同样也存在一个阈值。

3 图像水印的检测可靠性:我们使用检测理论来检测水印的完整性或存在性,必须要保证误检和漏检的概率最小,其中误检就是当水印不存在时却报告其存在,而漏检却是当水印存在时却报告其存在。用二元假设检测来定义,H_0 表示没有水印,H_1 表示有水印存在,用条件概率 $P(H_0|H_1)$、$P(H_1|H_0)$ 分别表示漏检、误检的概率,因此,设计水印时必须要设法满足 $\min(P(H_0|H_1)+P(H_1|H_0))$。

4 图像水印的安全性:安全性是指无任何可能有关水印的信息被别人知道,为了保证嵌入图像中水印的安全性,对有关水印的信息采用密钥的方式。

图3 原图像与水印化图像

五、实验结果

我们用一个基于小波包变换的图像水印算法来说明这个频域图像水印模型的有效性。图像为512x512 Baboon,变换 T 用小波包变换 WP,噪声型水印经预处理调制后,采用嵌入策略将经预处理后的水印嵌入最低频域,图3无法从视觉上区分原图像和水印化图像,达到了图像水印算法的第一个要求——不可感知性。检测策略采用水印与原图像的相关性,对于水印化图像经过模糊攻击得到的图像如图4(a),图4(b)表示经过模糊攻击后,仍然能检测到水印的存在,说明了图像水印算法的鲁棒性,利用密钥能保证水印的安全性。

图4 (a)模糊图像

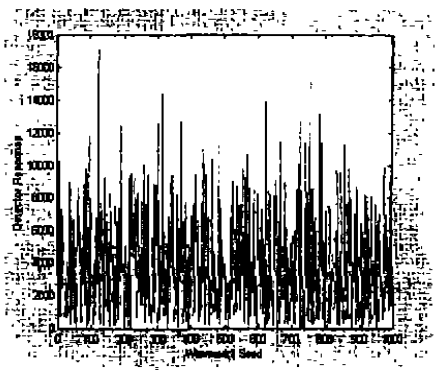

图4 (b)检测结果

计算机科学2000Vol.27№.11

无向完全图的哈密顿回路

Hamilton Circles of No Direction Graph

梁 震 陈新军

(中山大学软件研究所 广州510275)

Abstract In this article, a way of finding all Hamilton cycles of a perfect no direction graph will be presented. Then we can find out the formula of all Hamilton circles of a perfect no direction graph. Finally the way will be expanded to other cases like finding whether a graph has Hamilton cycles or not.

Keywords Hamilton route, Hamilton circle, NP complete problem

一、引言

判断一个图是否有Hamilton回路的充要条件一直没有解决，尽管充分条件与必要条件都有了，而且人们对图的研究已经非常深入——一个例子是竞赛图的研究[4]。在这里我们通过对求无向完全图的哈密顿回路总数的探讨，引申Hamilton回路的求法，另一个引申就是NP完全问题的解法。当然，这里引申出来的方法仍然是完全搜索式的，但在下面对完全图的Hamilton回路的分析中可以看到，里面没有重复的情况。比如两个黑盒子中一个装了一个球，你只能一个个试，才能找到那个球，同样，在求解Hamilton回路中不能确定在哪种情况，必然有或没有Hamilton回路的时候（很多情况下的确如此），只好一个一个地找，找的时候只要不重复，就是好方法。

二、基本概念

图：由点与边构成的集合，其中相关系的两点构成一条边，形式化的定义为：图G=(V,E)是一个系统，其中V是非空有限集合，V中的元素称为结点；E是有限的集合，E中的元素称为边，且E中的元素与V中的一对元素相连系。

无向图：边没有方向性的图。

完全图：若图G中每一对不同的结点间都有有边相连，则称G为完全图。

路、圈：设G=(V,E)为一图，G的有限非空点边交错序列

$$W=v_0e_1v_1e_2v_2\cdots e_kv_k$$

称为G的一条从v_0到v_k的途径。对于途径W，若$v_0<>v_k$则称此途径W是从v_0到v_k的一条路；若$v_0=v_k$则称途径W是圈。

简单路、简单圈、初级路、初级圈：无重复边的路称为简单路；无重复边的圈称为简单圈；无重复点的路称为初级路；无重复点的圈称为初级圈。

Hamilton图、Hamilton圈：设G=(V,E)为无向图$V=(v_{i1},v_{i2},v_{i3},\cdots,v_{in})$，若V是通过G中各点的初级圈，则称G为Hamilton图。

结点的度：设G=(V,E)是一无向图，以v为端点的边的条数称为v的度，记为deg(v)。

三、对无向完全图的Hamilton圈的讨论

为简单起见，只对无向完全图的Hamilton圈进行讨论，在后面可以看到，该问题引申出来的问题，都可以同样解决。

有关基于小波包变换的图像水印的详细算法在另一文中给出，它们的缺点是计算的复杂性没有得到解决，这也是下一步需要考虑的。

结论 我们在分析已有的图像水印算法基础上，提出了一个频域图像水印算法模型，并对图像水印算法的一些重要特性进行了定量描述，为下一步工作提供了一个框架。在这个模型中，如何定量刻画嵌入水印，检测水印以及攻击都是我们下一步继续深入的工作。

参考文献

1 Hartung, Kutter. Multimedia watermarking techniques. Proceedings of The IEEE, 1999, 87(7): 1079～1107
2 Cox I, et al. Secure spread spectrum watermarking for image, audio and video. In: Proc. IEEE Int. Conf. Image Processing (ICIP96), 1996
3 Xia X, et al. A multiresolution watermark for digital images. In: ICIP' 97, pp548～551
4 Kundur D. Digital Watermarking of Multimedia Signal: Algorithms and Implicactions: [Ph. D. Thesis]. June 1999
5 Houng-Jyh Mike Wang, Po-Chyi Su, C.-C. Jay Kuo. Wavelet-Based Digital Image Watermarking. Optics Express, 1998, 3(12): 491～496