文章编号:1005－0523(2006)01－0078－04

数字水印技术的研究

费伦科,丁振凡

(华东交通大学 信息工程学院,南昌 江西 330013)

摘要:数字水印技术是作为版权保护的重要手段,在众多领域有广泛的应用前景,同时数字水印技术也是一项不成熟的技术,有很多技术难点需要进一步研究解决,本文详细分析了这些技术难点并给出它们研究方向.

关 键 词:数字水印;应用领域;关键技术;研究方向

中图分类号:TP391　　**文献标识码**:A

1 引言

随着计算机通信技术的迅速发展,多媒体存储和传输技术的进步使存储和传输数字化信息成为可能,然而,这也使盗版者能以低廉的成本复制及传播未经授权的数字产品内容,出于对利益的考虑,数字产品的版权所有者迫切需要解决知识产权(Intellectual Property Rights)的保护问题.密码学的加解密技术是保护数字产品的一种方法,它能够保护数字产品安全传输,并可作为存取控制和征收费用的手段,但它不能保证数字产品解密后的盗版问题,因此,1995 年人们提出了信息伪装技术,其中,数字水印技术是数字产权保护主要技术[1],其研究是在 20 世纪 90 年代受到重视并蓬勃发展起来的.数字水印从实质上说也是一类信息隐藏,但是其目的不是为了保密通信,而是为了标明载体本身的一些信息[2],如多媒体信息的创作者、版权信息、使用权限等一系列需要标明的信息,利用数字水印,还可以跟踪多媒体产品的非法传播和扩散,打击盗版.这种被嵌入的水印可以是一段文字、标识、序列号等.

2 数字水印的主要应用

数字水印的提出是为了保护版权,然而随着数字水印技术的发展,人们已经发现了水印更多更广的应用.目前,数字水印技术的应用大体上可以分为版权保护、数字指纹、认证和完整性校验、内容标识和隐藏标识、使用控制、内容保护、Web 网的自动监控等方面[3].

版权保护:即数字作品的所有者可用密钥产生一个水印,并将其嵌入原始数据,然后公开发布他的水印版本作品.当出现版权纠纷时,所有者提取出水印作为证据[1,2].

数字指纹:为了避免数字产品被非法复制和散发,出品人可以将不同用户的 ID 或序列号作为不同的水印(指纹)嵌入作品的合法拷贝中,如果发现了未经授权的拷贝,就可以根据此拷贝恢复出的指纹来确定他的来源.

认证和完整性校验:在许多应用中,需要验证数字内容未被修改或假冒,尽管数字产品的认证可通过传统的密码技术来完成,但利用数字水印来进行认证和完整性校验的优点在于,认证同内容是密不可分的,因此简化了处理过程,当对插入了水印的数字内容进行检验时,必须用惟一的与数据内容相关的密钥提取出水印,然后通过检验提取出的水印完整性来检验数字内容的完整性[4].

内容标识和隐藏标识:此类应用中,插入的水印信息构成一个注释,提供有关数字产品内容的进一步信息.数字水印可用于隐藏标识和标签,可在医学、制图、多媒体索引和基于内容的检索等领域得到应用.

使用控制:在特定的应用系统中,多媒体内容中嵌入的数字水印信息能够对计算机系统的硬件或者软件进行控制[5].

收稿日期:2005－10－20

作者简介:费伦科(1982－),男,江西九江人,华东交通大学信息工程学院硕士研究生.

内容保护：在一些特定应用中，数字产品的所有者可能会希望要出售的数字产品能被公开自由地预览，以尽可能多地招徕潜在的顾客，但也需要防止这些预览的内容被他人用于商业目的，因此，这些预览内容被自动加上可见的但同样难以除去的水印.

Web 网的自动监控：利用自动搜索程序寻找带有版权标记的资料，来识别可能的非法使用.

3　关键技术及难点分析

3.1　数字水印基本技术

数字水印技术基本要求包括：鲁棒性、安全性、透明性和水印容量等[6].

鲁棒性和安全性是数字水印最基本的要求，鲁棒性即稳健性、抗攻击性，是指水印信息在经过各种有意无意的处理后，在载体信息依旧可用的情况下，水印信息仍然存在.其中无意的处理包括：剪切、亮度和对比度的修改，增强、模糊等滤波算子，放大、缩小、旋转、有损压缩、加入噪声等，有意的攻击包括：剪切、帧平均、滤波等.安全性即可靠性，是指数字水印应能对抗非法的探测和解码，面对非法攻击也能以极低差错率识别作品的所有权，同时数字水印应很难为他人所复制和伪造.常见的攻击主要分为以下几个方面：破坏水印、消除水印、加入假水印和利用水印检测器进行攻击等.

根据数字水印的透明性可把水印分为可感知水印和不可感知水印，可感知水印是一种可以看见的水印，就像插入或覆盖在图像上的标识.与可感知水印相反，不可感知水印从表面上是不可察觉的.在版权保护的今天，用到的多为不可感知水印.因为数字产品，包括图片、音频、视频、文本等，都是为了满足人们的感官需求的，这就要求它的水印不可破坏其观赏价值和使用价值，要求水印不引人注目，若一个数字文件的数字签名(数字水印)以可感知的形式出现，则不但很容易被擦除或取代，而且还会影响对作品的观赏.

目前水印的嵌入主要是空间域方法和变换域方法，基于变换域的算法可以嵌入大量比特的数据而不会导致不可察觉的缺陷，成为水印嵌入的主要算法，这些变换包括离散余弦变换(DCT)、离散小波变换(DWT)、付氏变换(FT)以及哈达马变换(Hadamard Transform)等等[7]，其中小波变换是数字水印算法中最常用的一种变换，因为在小波变换域加入水印有如下的优点：a.多分辨率分析，可以不需要整幅图进行水印的验证；b.分考虑人类视觉特性.基于 DWT 数字水印算法嵌入水印时，对载体图像进行 k(k＝1,2,3,4)层小波变换得到图像得小波系数，通过改变频域的一些系数的值来隐藏数字水印信息，如果选择在低频系数中嵌入水印，则水印的透明性不好，如果选择在高频系数中嵌入水印，则水印的鲁棒性不好，大多算法水印嵌入公式[7,8]为：

$$p'(x,y)=p(x,y)+\partial^{*}w(x,y) \tag{1}$$

$$p'(x,y)=p(x,y)^{*}(1+\partial^{*}w(x,y) \tag{2}$$

其中 ∂ 为水印嵌入的强度，∂ 越大，水印的稳健性越好，但水印的不可见性越差，反之，∂ 越小，水印的不可见性越好，但水印的稳健性越差.所以提出稳健性高不可感知的数字水印算法仍然是数字水印技术的一个难点问题.因此应当建立更好的水印模型，提出更好的算法来嵌入和检测水印信息.同时，也应重视对数字水印攻击方法的研究，分析算法的抗攻击性和稳健性等性能，这有利于促进研制更好的数字水印算法.

水印容量即嵌入载体的水印信息的大小，嵌入的水印信息必须足以表示多媒体内容的创建者或所有者的标志信息，以保护数字产权合法拥有者的利益.为了提高数字水印的可证明性，通常数字水印中包含有大量的证明信息.而水印容量和鲁棒性之间又是相互矛盾的，水印容量的增加会带来鲁棒性的下降，对不可见性也有影响.为抵抗各种变换，水印通常需要在图像中按照一定的排列方式反复加入多次，当水印容量大时，这样做的结果会导致重复次数减少，而鲁棒性不好就会导致检测结果的不可靠，所以如何提高数字水印的容量乃是当前数字水印技术研究的一个难点问题.

3.2　水印检测技术

检测算法根据研究客体大致可分为：非盲检测、半盲检测和盲检测算法[8].

1) 非盲检测.非盲检测过程需要将隐秘载体和原始载体对比，通常从原始载体和隐秘载体的像素之间的关联分析、变换域系数的关联分析发现隐藏信息的可能性，这种方法相对简单，但通常情况下因为原始载体无法获取，因此实际意义不大.

2) 半盲检测.半盲水印的检测过程不需要原图，但需一些参考信息.一般的自适应水印属于这一类型，此类算法需要通过阈值来筛选嵌入水印的位置，往往生成一个定位水印位置的 0－1 矩阵，1：代表嵌入，0：代表未嵌入[9]；或产生一个一维序列，记录嵌入位置的坐标.

3) 盲检测.就是指在没有原始载体的情况下，只通过隐秘载体检测隐藏信息，通常通过对自然数字图像特征进行分析，水印检测需计算提取的水印与嵌入的水印的相关系数，主要计算公式[8]有：

$$Sim(w,w')=\frac{w^{*}w}{\|w'\|^{2}} \tag{3}$$

$$Sim(w,w')=\frac{\Sigma w\bullet w'}{\sqrt{\Sigma w^{2}}\sqrt{\Sigma w'^{2}}} \tag{4}$$

再将相关系数 Sim 与阀值 T 进行比较来判断是否嵌入水印.阀值 T 的确定与虚警概率和漏警概率有关，减小 T，漏警概率降低而虚警概率提高，反之，增加 T，虚警概率降低而漏警概率提高.盲检测技术具有非常广泛的应用前景，但由于阀值难以给出导致其实现起来难度较大.

4　主要相关技术

数字水印技术目前正处于一个快速发展和持续深入的阶段，应用领域也在快速扩展，从最初的图像水印发展到音

频水印、视频水印等;从最初的算法研究,扩展到行业领域的应用,如数字地图的版权保护、数字图书的版权保护、证件防伪、电子公文防篡改等.基于数字水印技术的这些应用领域当中,许多技术问题还有待进一步研究.

1) 脆弱性数字水印技术

根据数字水印的识别篡改能力,一般把数字水印分为脆弱水印(Fragile Watermarking)和半脆弱水印(Semi-fragile Watermarking)两种[4],脆弱水印相对与鲁棒性水印,更强调对篡改攻击的敏感性,其主要任务是检测发生在多媒体数据中的篡改,并对其定位.这在一些应用中具有重大意义,如对医学图像的任何修改都可能引起一个误操作,在法庭上,重要证据信息的几个比特值的改变都可能改变证据性质.但在一些有意的(如恶意攻击)或无意的(如图象压缩、滤波、扫描与复印、噪声污染、尺寸变化等等)操作,都会对脆弱水印造成不同程序的危害,对于这类问题需要从脆弱性水印方法本身的设计来减少虚警错误与漏检错误,同时需保护水印的添加与提取过程,以减少攻击者通过推断水印添加方法来对水印检测过程进行攻击的可能性[10],所以要设计一个完善的脆弱水印认证系统时,系统的安全性不只是建立在几个好的算法基础之上,更需要安全有效的协议来保证.

2) 非对称数字水印技术

在数字产品中嵌入数字水印,是对其进行版权保护的一种有力的手段.许多学者对于数字水印也提出了不少技术方案,但是大部分都是对称的,即用于水印嵌入和水印检测的密钥是相同的,而许多实际的应用都要求非对称的数字水印方案,即水印嵌入时使用私人密钥,水印检测时只需要一个公开密钥.近年来,有不少学者在非对称水印算法方面作了不少的研究工作,提出了一些可行的技术,这主要包括扩频非对称数字水印、Legendre水印、特征向量水印、基于单向信号处理的非对称水印、基于DEFG图像类型标记水印等技术[11].现有真正非对称水印算法还不是很多,而且都不是很成熟,大多数算法,其非对称性只是体现在从公钥很难推导出私钥,但是它们很难保证用公钥不能移去或伪造水印[12].因此,要解决的关键技术问题是提出一种非对称水印算法,在水印检测时,公钥提供的信息足够检测出水印的存在,但又不至于移去水印,也不能伪造出一个水印.

3) 基于视频数字水印技术

视频水印研究是当前水印技术研究方向中的一个热点和难点,这主要是由于视频信号本身的复杂性和视频水印的特殊性,热点在于大量消费类数字视频产品如VCD、DVD的推出,使以数字水印为重要组成部分的数字产品版权保护技术的市场需求更为迫切,难点是由于虽然数字水印技术近几年得到长足的发展,但方向主要是集中在静止图像的水印技术,然而在视频水印的研究方向,由于包括时间域掩盖效应等特性在内的更为精确的人眼视觉模型尚未完全建立,使视频水印技术相对于图像水印技术发展滞后,同时现有的标准视频编码格式又造成了水印技术引入上的局限性,而另一方面,由于一些区别静止图像水印的独特要求,例如,在视频水印图像嵌入一个不同的水印,一个攻击者可以通过比较具有同一场景的相邻帧之间的微小变化,对这些帧进行简单的帧重组就可以消除大多数数字水印信号,对各帧采用同一水印同样会带来问题,由于攻击者可以通过将完全不同的几帧进行组合攻击对水印加以破坏.目前,基于视频信号的水印技术研究还较少,视频水印技术的研究进展较慢,导致当前对基于视频信号的水印方案还比较少,已有的部分视频水印算法实际上就是将其图像水印的结果直接应用到视频领域中,抗攻击能力较差[13,14].

4) 基于音频数字水印技术

当前对静态图像水印和图像序列水印的研究很多,而对于音频水印的研究却较少.随着mp3、MPEG、AC-3等新一代压缩标准的广泛应用,对音频数据产品的保护就显得越来越重要,而当前数字音频水印技术面临着许多难题.主要存在的问题有:目前存在的数字音频水印算法,在提取水印的过程中大多数需要原始音频信号,这不便于数字音频水印技术的工程应用,而且多数算法的计算量非常大;在联合使用多种攻击方案对现有水印算法进行攻击时,算法的鲁棒性就表现的很差[15].

如何把数字水印嵌入到音频当中还有很多研究工作需要去做,在目前存在的音频水印算法中,变换域水印算法的优越性没得到充分发挥,把正交变换引入到水印技术当中,是一个值得研究的课题;在水印信号嵌入之前对其进行预处理,可提高水印算法的不可感知性和鲁棒性;可考虑采用扩频序列(如混沌序列等)对水印信号进行扩频调制;现有的音频水印算法,在水印的嵌入和提取过程中很少考虑同步问题,如何在水印的嵌入过程中为水印提取提供行之有效的同步信息,是水印技术实际应用中必须考虑的关键问题;对现有的音频水印算法进行总结,给出评价数字音频水印算法性能的统一标准是一个有待解决的问题;寻找与新一代压缩标准MP3、MPEG、AC-3相适应的数字音频水印算法[16],对音频水印技术的广泛应用具有重要的意义;现有的音频水印算法,往往针对一种或几种水印攻击具有鲁棒性,而当多种攻击同时使用时,水印的抗攻击能力就大大降低,提出能抵抗多种攻击的水印算法,是音频水印技术走向实际工程应用中需要研究的重要内容.

5 结束语

数字水印技术作为在开放的网络环境下保护版权的新技术,借鉴了多门学科中的思想、理论、方法、经验和技术,形成了自己的发展方向,但数字水印技术作为一种新兴的应用技术,一个尚未完善的科学领域,目前还很不成熟,特别是基于视频和音频的数字水印技术,同时还有很多尚待解决的问题,对研究学者提出严峻挑战的同时,也带来了难得的机遇,如数字水印标准的制定,算法分析,数字水印代理,估计水印能量的理论框架,基于特征的数字水印技术,与密码技

术的结合，与压缩算法的统一等，这些问题的解决是促进数字水印技术的发展和应用的关键.

参考文献：

[1] JIAN Zhao and Eckhard Koch，A Generic Digital Watermarking Model[J]. Comput. & Graphics，1998(4)：397－403.

[2] ZHAO Xian－feng，WANG Wei－nong，CHEN Ke－fei. Reversibility，Deceptions，and Counteractions in Adaptive Digital Watermarking[J]. Journal of Software，(9)：787－1795.

[3] Fred Mintzer，Jeffrey Lotspiech，Norishige Morimoto. Safeguarding Digital Library Contents and Users－Digital Watering [J]. D-Lib Magazine，1997.11.

[4] 侯振华，等. 脆弱性数字水印研究[J]. 计算机应用 2003.12：106－108.

[5] Adnan M. Alattar，“Smart Images” Using Digimarc's Watermarking Technology[J]. IS&T/SPIE's 12th International Symposlum on Electronic Imaging，San Jose，CA，2000，(25)：1－7.

[6] 刘世栋，等. 信息隐藏原理及数字水印技术的若干问题和趋势[J]. 计算机工程与应用，2003.12.

[7] THAI Duy Hien，YEN－Wei Chen，Zensho Nakao. Robust Digital Watermarking Based on Principal Component Analysis [J]. International Journal of Computational Intelligence and Application，2004(2)：183－192.

[8] 张　英，等. 基于小波域的数字图像水印算法综述[J]. 计算机工程与应用，2004.11.

[9] LIU Tong，QIU Zheng-ding. A DWT Domain Image－Adaptive Digital Watermarking Alogrithm[J]. journal of Software，2002，(4)：213－230.

[10] 宋玉杰，等. 基于脆弱性数字水印的图像完整性验证研究[J]. 中国图象图形学报，2003，(1)1－7.

[11] Joachim J Eggeers，Jonathan K Su，Bemd Girod. Asymmetric watermarking schemes，Sicherheit in Mediendaten. GMD Jahrestagung，Proceedings，Springer Verlag，2000.

[12] 邹潇湘，等. 非对称数字水印技术研究[J]. 计算机工程与应用 2002.6.

[13] 杭中文，等. 视频水印技术研究[J]. 计算机工程与科学 2004，(9)：44－47.

[14] Wenwu Zhu，Zixiang Xiong，and Ya－Qin Zhang，Multiresolution Watermarking for Images and Video[J]. IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS FOR VIDEO TECHNOLOGY，1999，(4)：545－550.

[15] Soo-Chang Pei and Yuan-Hsiang Tai，Digital Audio Watermarking Techniques Utilizing Human Auditory System[J]. 影像与识别，2000，(6)：49－78.

[16] 刘长青. 音频数字水印技术的研究与应用[J]. 湖南文理学院学报. 2005，(1)：39－41.

Research on Developmental Direction of Digital Watermarking

FEI-Lun-ke，DING-Zhen-fan

(School of Information Engineering，East China Jiaotong University，Nanchang 330013，China)

Abstract：Digital watermarking technology is an important methods of copyright protection，it has gained wide applications in many areas，but it also has many problems needed to be solved，This paper has analysed these problems and give theirs research direction at the same time.

Key words：digital watering；application area；key technology；research direction