

综述与评论

图像隐形水印综述¹⁾

黄继武

(中山大学电子与通信工程系 广州 510275 E-mail: isshjw@zsu.edu.cn)

谭铁牛

(中国科学院自动化所模式识别国家重点实验室 北京 100080 E-mail: tnt@nlpr.ia.ac.cn)

摘 要 作为数字媒体版权保护的重要手段,数字水印技术近年来引起了人们极大的兴趣与关注.本文论述并讨论了如下问题:1)图象隐形水印的基本要求;2)图象隐形水印的原理和研究方法;3)图象隐形水印技术的研究现状,包括水印基本理论和算法、数据隐藏理论与方法、水印作为所有权证明的有效性、水印技术的应用动向;4)水印技术的应用前景;5)图象隐形水印目前存在的问题和未来研究的重点.

关键词 数字水印,图象隐形水印,数据隐藏.

A REVIEW OF INVISIBLE IMAGE WATERMARKING

HUANG Jiwu

(Dept. of Electronics, Zhongshan University, Guangzhou 510275)

TAN Tieniu

(NLPR, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract As an effective method to provide copyright protection for digital media, digital watermarking has received considerable attention in the past few years. For this paper, some important topics about invisible image watermarking are discussed. We focus on the following issues: 1) the basic requirements for invisible image watermarks, 2) the principle and implementation of invisible image watermarking, 3) an overview of existing work, including theory and algorithms of watermarking and data hiding, 4) possible applications of invisible image watermarking, and 5) open issues and possible future research directions.

Key words Digital watermarking, invisible image watermarking, data hiding.

1)国家自然科学基金(69975011)、广东省自然科学基金(980442)、国家杰出青年基金(59825105)资助课题.

1 引言

随着数字媒体(数字音频、数字图像、数字视频等)的广泛应用,其版权保护也成为一个问题.传统的加密系统^[1]在数据传输过程中虽有保护作用,但数据一旦被接收并解密,其保护作用也随之消失.因此只能满足有限的要求.

数字水印(digital watermarking)技术是解决数字媒体版权保护问题的有效补充办法^[2],依据所嵌入的主媒体不同,主要可分为图像水印、音频水印、视频水印、文本水印和网络水印.与传统加密系统不同,数字水印技术应用的主要目的并不是限制对媒体的访问,而是确保媒体中水印不被改变或消除,为媒体提供必要的证明信息.除此以外,也可用于保密通信和隐含信息标注等.

从视觉效果考虑,图像水印分可见^[3]和不可见^[2]二种.由于可见水印的应用范围受到较大限制,因而不可见(隐形)水印是目前图像水印的主要研究内容.通过在原始图像中嵌入秘密信息——水印(watermarks)来证实该数据的所有权归属或数据的完整性.水印可以是代表所有权的文字或 ID(identification)、图形、图像、音频数据、随机序列等.

对图像隐形水印的基本要求有^[2,4]:

1)不可见性.水印应该是视觉上不可见的,即它的存在不应该使原始图像视觉质量发生变化或影响原始图像的视觉效果.

2)稳健性.即水印图像经过一些常见的改变后,水印仍具有较好的可检测性.这些改变包括常见图像处理(如数据压缩、低通滤波、图像增强、二次抽样、二次量化、A/D 和 D/A 转换等)、几何变换和几何失真(如裁剪、尺度拉伸、平移、旋转、扭曲等)、噪声干扰、多重水印(multiple watermarking)的重叠等.对不同的应用场合,要求有不同的稳健性.需要指出的是,存在另一种与稳健水印性质相反的水印,称为易损水印^[5](fragile watermarks),它们被用来证实原始媒体是否被改变过.

3)低复杂性.算法应容易实现,在某些应用场合(如视频水印)下,甚至要求水印算法的实现满足实时性的要求.

4)秘密性.嵌入过程(嵌入方法和水印结构)是秘密的,水印是统计上不可检测的.对于通过改变水印图像来消除和破坏水印的企图,水印应该保持存在直到图像已严重失真而丧失使用价值.对于原版媒体的证实,通过识别水印是否失真应能判断原版媒体是否被改变过.

5)正确解决所有权的死锁^[6](不确定性)问题.即水印用来作为所有权证明时,应能给判断提供唯一性的证据.

不可见性和稳健性是对隐形水印的最基本要求,也是一对矛盾的两个因素.实现图像隐形水印的命题是:在保证不改变原始图像视觉感知效果(即不可见性)的前提下,实现的水印具有较好的稳健性和抗攻击性.

2 图像隐形水印的原理和研究方法

从图像处理的角度看,嵌入水印可以视为在强背景(原始图像)下迭加一个弱信号(水

印). 由于人的视觉系统(Human Visual System——HVS)分辨率受到一定的限制,只要迭加信号的幅度低于 HVS 的对比度门限, HVS 就无法感觉到信号的存在. 对比度门限受视觉系统的空间、时间和频率特性的影响. 因此,通过对原始图像做一定的调整,有可能在不改变视觉效果的情况下嵌入一些信息. 图 1 为水印嵌入的原理框图.

另一方面,从数字通信的角度看,水印编码(嵌入)可理解为在一个宽带信道(原始图像)上用扩频通信技术传输一个窄带信号(水印). 尽管水印信号具有一定的能量,但分布到信道中任一频率上的能量是难以检测到的. 水印的译码(检测)则是一个有噪信道中弱信号的检测问题.

设 F, F' 分别代表原始图像和嵌入水印的图像, W 为原始水印,则水印编码可以表示为:

$$F' = F + f(F, W).$$

有两种常用的水印嵌入公式^[2]:

$$\begin{aligned} v'_i &= v_i + \alpha x_i, \\ v'_i &= v_i(1 + \alpha x_i), \end{aligned}$$

其中 v_i, v'_i 分别表示原始图像像素(或从原始图像中提取的特征)和嵌入水印的图像像素(或改变后的图像特征); x_i 为水印信号分量, $0 \leq i < K$; α 为拉伸因子. 当 v_i 变化范围较大时, $v' = v_i(1 + \alpha x_i)$ 要更加合理一些. 为了保证在不可见的前提下,尽可能提高嵌入水印的强度, α 的选择必须考虑图像的性质和视觉系统的特性.

在应用伪随机序列噪声作为水印的情况下,水印检测方法通常采用如下假设检验:

$$\begin{aligned} H_0: E = F^* - F = N & \quad (\text{无水印}), \\ H_1: E = F^* - F = W^* + N & \quad (\text{有水印}), \end{aligned}$$

其中, F^*, F 分别代表待测图像和原始图像中用来隐藏水印的像素或特征值; W^* 为待测水印序列, $W^* = \{x_i^*\}$; N 为噪声. 由于嵌入水印的图像可能存在失真,从中所检测到的水印也将在一定程度上与原始水印有所不同. 为了确定图像中是否含有水印,需要计算 W^* 与 W 的相似度

$$\rho(W^*, W) = \frac{\sum_{i=0}^{K-1} x_i^* \cdot x_i}{\sqrt{\sum_{i=0}^{K-1} (x_i^*)^2}}.$$

水印存在与否的判定标准为:若 $\rho(W^*, W) > T$,可以判定被测图像中有水印 W 存在;否则,没有水印 W . T 通常为一门限,其选择要同时考虑虚警概率和漏警概率. T 减小,漏警概率降低而虚警概率提高; T 增大,虚警概率降低而漏警概率提高.

在一些应用场合下,水印的检测允许有原始图像的辅助. 而在另外一些场合下,有可能无法得到原始图像. 通常,由于水印信号与原始图像信号相比弱得多,没有原始图像辅助的检测方法更加困难. 也就是说,借助原始图像,水印算法的抗噪声稳健性能更好一些. 在几何变换和几何失真的情况下,水印分量的同步问题也将使检测更加复杂.

随机序列作为水印,只能给出“Yes”或“No”的结论. 换句话说,放进图像的秘密信息

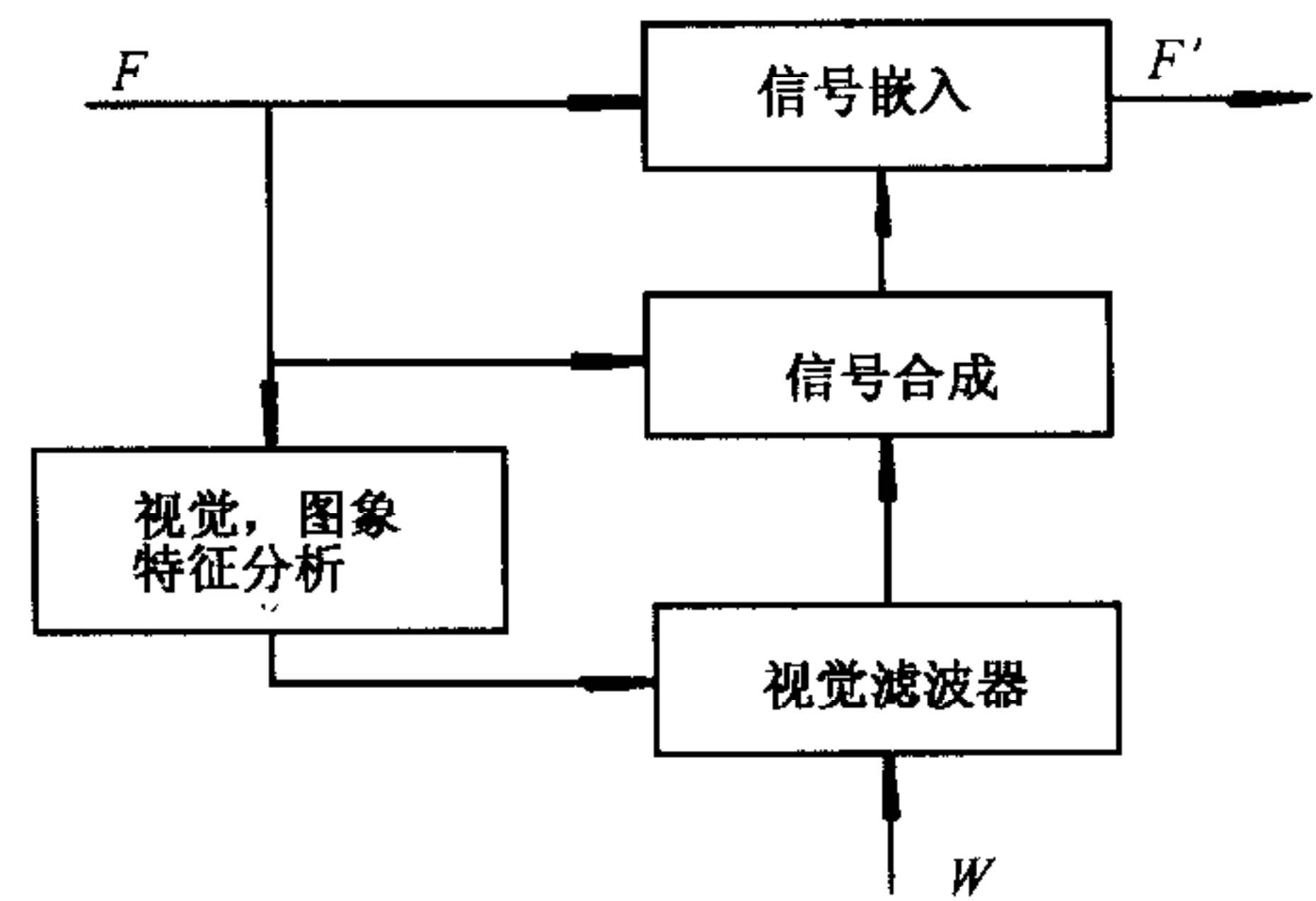


图1 数字水印嵌入方法

事实上仅为1bit. 在许多应用场合,要求嵌入图像的信息是可读的或可视的,如有意义(meaningful)的文字串或者一个图像(商标,印鉴等). 这种有意义的水印与无意义的伪随机噪声相比,所具有的优点是不言而喻的. 如何在图像中嵌入有意义的信息将是极具实际价值的研究内容.

3 图像隐形水印的研究现状

稳健水印理论与算法是目前隐形水印的主要研究内容. 有两个关键的技术影响水印的稳健性:1) 水印的结构;2) 嵌入策略. 为了使水印有较好的稳健性和抗攻击性能,大多数水印算法采用伪随机序列(Gaussian 序列^[2]、均匀分布序列、二进制序列^[7])作为水印. Cox 等人^[2]提出,利用 Gaussian 随机序列产生的水印具有更好的稳健性. 这是由于 Gaussian 分布的随机序列与其它分布的等长的随机序列相比,具有更大的自相关系数. 因此,Gaussian 分布的随机序列应具有最好的性能. 需要注意的是由 Gaussian 随机序列构成的水印当长度较长时,个别样值可能会过大,必须对其加以限制以满足不可见性的要求.

根据实现的过程,水印算法主要可分为两类:空域的方法和变换域的方法. 前者通过直接改变主图像某些像素值来嵌入水印. Van Schyndel 等人^[8]利用一个扩展的 m 序列作为水印并把它嵌入到图像每行像素的最低有效位(least significant bits——LSB)中. 其主要缺点是抗 JPEG 压缩的稳健性不好,且由于所有像素的 LSB 都改变和利用 m 序列而易受攻击. Wolfgang 等人^[9]在此基础上做了改进,把 m 序列扩展成二维,并应用互相关函数改进了检测过程,从而提高了稳健性. Fleet^[10]把 LSB 方法应用于彩色图像. 在 LSB 方法中,图像的 LSB 平面先被设置为0,然后根据要嵌入的水印改变为1或不变. 改变 LSB 的做法的依据是:不重要数据的调整对原始图像的视觉效果影响较小. 然而,由于最低有效位的数据最有可能在常见的信号处理过程(如数据压缩和低通滤波)中丢掉,因而稳健性差. 这种方法只适用于噪声(包括对嵌入水印的图像进行处理所引起的等效噪声)很弱的应用场合. Bruyndoncky 等人^[11]提出了一个基于空域分块的方法,通过改变块均值来嵌入水印. Nikolaidis 等人^[12]根据一个二进制伪随机序列,把图像中的所有像素分为两个子集,改变其中一个子集的像素值来嵌入水印.

另一类水印算法是在变换域中实现的. 在这一类算法中,某些变换系数被改变以嵌入水印. Langelaar 等人^[13]采用与调整 LSB 类似的做法,把水印嵌入频域的高频系数中. Cox 等人^[2]则提出了一个不同的观点:水印应放在视觉上最重要的地方(主要对应于频域的低频系数). 这种提法的理由是感觉上重要的分量是图像信号的主要成分,携带较多的信号能量,在图像有一定失真的情况下,仍能保留主要成分,作为水印载体,有利于提高水印的稳健性. 其方法现在已成为一种典型的模式. Hsu 和 Wu^[14]把图像进行 8×8 DCT (Discrete Cosine Transform),然后将一个二进制序列作为水印放入 DCT 中频频带. Barni 等人^[15]则计算整个图像的 DCT,把一个实数序列嵌入 DCT 的中频系数中. DCT 域的方法计算量较小,且与国际数据压缩标准(JPEG、MPEG、H261/263)兼容,便于在压缩域中实现,目前用得最多. Ruanaidh 等人^[16,17]提出了两个 DFT (Discrete Fourier Transform) 域的水印算法. 一个把水印嵌入图像 DFT 系数的相位信息中. 其算法的依据

是 Hayes^[18]的结论:从图像的可理解性角度,相位信息比振幅信息更重要.另一个算法实现了水印的平移、旋转和尺度拉伸不变性,这对于图像在传输过程中产生几何失真的情况是十分有意义的. Xia 等人^[19]提出了一种在 DWT (Discrete Wavelet Transform) 域实现水印的方法,其优点是稳健性好和层次性的检测方法. Swanson 等人^[20]利用时域小波变换和频率掩蔽特性相结合,实现了多分辨率视频水印. Kundur 和 Hatzinakos^[7]的方法则把信息融合的思想引入到 DWT 域水印的实现中. DWT 域的方法由于 DWT 良好的空间-频率分解特性(更符合 HVS 的特点)和即将成为新一代图像压缩标准的极大可能性而有十分好的前景. 变换域的方法应是水印算法未来趋势的主流.

变换域的方法与空域的方法相比具有如下优点:

- 1) 在变换域中嵌入的水印信号能量可以分布到空域的所有像素上,有利于保证不可见性;
- 2) 在变换域, HVS 的某些特性(如频率特性)可以更方便地结合到水印编码过程中,有利于稳健性的提高;
- 3) 变换域的方法可与国际数据压缩标准兼容,从而实现在压缩域(compressed domain)内的水印算法.

隐形水印与视觉系统紧密相关,提高水印稳健性的有效途径是充分利用人眼的视觉特性,在满足不可见性的要求下,合理分配水印信号的能量,尽可能提高局部嵌入水印分量的强度. 基于这一思想的自适应水印算法已经开始受到人们的重视. Swanson 等人^[4,20]在 DCT 域和 DWT 域算法中应用了视觉系统的频率掩蔽(frequency masking)特性. Wolfgang 等人^[21]应用 JPEG 算法中所采用的视觉模型,提出了基于图像自适应性的 DCT 和 DWT 水印算法. 文献[22,23]利用照度掩蔽(luminance masking)和纹理掩蔽(texture masking)特性,提出了基于块分类的自适应算法. Podilchuk 和 Zeng^[24]采用 JND (Just Noticeable Difference) 视觉模型,计算了 DCT 和 DWT 系数允许的最大嵌入量. Wang 等人^[25]借助多门限小波编码(MTWC)的思想,将小波系数根据其重要性进行排序,并对不同的子带采用不同的强度系数. Delaigle 等人^[26]根据视觉系统的对比度模型,提出了一个视觉掩蔽标准和应用该标准的数据隐藏(data hiding)算法. 这些自适应算法都在一定程度上改善了水印的稳健性.

图像隐形水印本质上属于数据隐藏技术的范畴. 在多数算法讨论随机序列水印的同时,有意义水印的研究也引起了人们的注意. Bender 等人^[27]讨论了几种可能用于数据隐藏的技术并提出了两个实现数据隐藏的方法:统计的方法和视觉的方法. 从方法分析看其抗失真性能不会太好. 一些研究者^[28~30]探讨了图像容量问题. 他们把数据隐藏等价为一个数字通信问题,并试图回答一定分辨率的图像允许嵌入多少数据. 尽管这类研究十分有意义,但由于嵌入的数据量与许多因素(图像的纹理特征与尺寸、嵌入算法、噪声类型与强度等)有关,要准确回答这个问题是困难的. Hernandez 等人^[31]把数据隐藏和水印嵌入过程模型化为一通信系统,理论上分析隐藏了数据的图像在受到加性噪声干扰、裁剪和线性滤波后所引起的误码率和水印作为所有权识别时的特性变化. Cox 等人^[32]比较了水印嵌入和传统通信问题的相似性和不同点,得出了几种信号嵌入的特征. 其它的研究则着重在如何隐藏数据上. Delaigle 等人^[26]所提出的算法在一幅 512×512 的图像中隐藏了 165bits 的信息. 其主要缺点是嵌入的数据量太少. 黄等人^[28,33]在 512×512 的图像中分别隐藏了

32个字符的信息和 $64 \times 64 \times 8$ 的灰度图像,隐藏的数据具有一定的抗噪声能力. Swanson等人^[34]在一个视频信号(主信号)中隐藏另一低分辨率的视频信号,但稳健性不好. 一般说来,在不可见性的要求下,水印的稳健性和水印的数据量构成一对矛盾. 在相同的算法和一定的图像尺寸下,嵌入的数据量越大,稳健性越差.

由于数据压缩在数字媒体的传播中起着十分重要的作用,嵌入水印的图像很有可能遭遇数据压缩过程. 实现压缩域内的数据操纵,从而简化解压缩、再压缩的过程,降低处理复杂性,是当前多媒体技术领域里很受注意的问题. Hartung、Girod^[35,36]、Chung等人^[37]都研究了如何在MPEG压缩码流中嵌入水印,这项研究需要考虑的问题是保持码流比特率基本不变以及实现不需要原始媒体的盲检测(blind extraction). Wang和Kuo^[38]将水印技术集成到小波编码系统中,在实现压缩的同时也完成了水印的嵌入. Lacy等人^[39,40]也开发了把水印和压缩技术相结合的算法.

在大多数文章研究稳健水印的同时,一些研究者也开始研究对水印的攻击方法^[41~43]和水印作为所有权(ownership)证明的有效性^[44,45]. 这对于提高水印的抗攻击性能是极为有意义的. Craver等人^[46]研究了水印算法的不确定性(ambiguity)问题. 他们构造了不确定性的实现方法,证明潜在的非法拷贝者有可能诱使水印检测器作出“Yes”的回答. 在研究如何造成不确定性的机制的基础上,部分地提出了解决该方法——基于内容(content-based)的水印. Tewfik和Swanson^[4]也提出了解决不确定性问题的双水印模式. 一种观点^[47]认为,水印技术必须与相应的法规相配合,才可能最终解决版权争议问题. 还应该承认,到目前为止,不存在任何一种水印算法,可以确保水印在遭受各种人为的攻击之后仍然可靠地存在.

随着学术界对图像水印理论和技术的研究,产业界也对图像水印的应用给予了足够的重视. IBM在其数字图书馆(Digital Library)研究计划中采用了可见水印技术^[3]. 该计划的研究成果已为美国国会图书馆等著名图书馆所采用. NEC公司则研究如何把水印技术应用于DVD系统的拷贝保护机制^[48]中. 与此同时,一些公司已逐步推出了有关水印技术的商用软件系统(如DICE的专利技术^[49]、Digimarc Corporation的Digimarc Tools^[50]、MediaSec的SysCoP^[51]、Signafy Inc.的OwnerMark^[52]、Signum Technologies的SureSign^[53]、剑桥大学的Stirmark^[54]等).

随着图像水印技术应用的推广,其标准化工作也开始受到重视^[55]. IBM、Sony、Hitachi、NEC和Pioneer等五家大公司在1999年2月联合宣布了一个保护数字视频和数字电影的水印标准协议,标志着水印标准化已逐步迈向正轨.

近两年来,我国学术界对此前沿领域也倾注了极大的热情,众多的科研机构 and 高等院校开展了该方向的研究工作. 2000年1月,由国家“863计划”智能计算机系统专家组主办、模式识别国家重点实验室等单位承办的我国首次数字水印技术学术研讨会在北京举行,取得了圆满成功. 与会学者近百人,表明我国数字水印研究队伍已初具规模.

4 图像隐形水印技术的应用

图像水印技术的研究是与数字媒体的版权保护紧密相关的. 其研究成果主要应用于:
1) 媒体所有权的认定和版权保护. 应用数字水印技术,可以辨认媒体所有权信息、媒

体合法用户信息,对媒体的传播进行跟踪.对于媒体创作者,可在媒体传播前嵌入水印.例如,把水印技术实现在数字照相机中,可以使照片带上摄影师的信息.有了原始图像、原始水印以及嵌入算法,可在任何情况下对可疑的、有争议的图像进行测试,证实该图像的所有权归属,从而对媒体的传播进行跟踪.对于媒体用户,则需要确认媒体的合法来源.在这种情况下,可采用类似于密码学中的“公开密匙”方法,用户根据密匙对媒体进行检验.后者也称为数字签名(digital signature).

2)非法拷贝防护.在媒体的录/放设备的设计中应用图像水印技术,当录放设备工作时,检测媒体上是否有水印存在,以决定该媒体应不应该被录/放,从而拒绝非法拷贝媒体的流行和使用.同样的原理也可用于广播、电视、计算机网络在线多媒体服务中的听、看、访问权限的控制.例如,在广播、电视接收机和计算机网络的浏览器中应用水印技术,就可以控制音、视媒体的听、看权限.

3)媒体的真伪鉴别.与名画家的作品类似,随着时间的推移,某些数字媒体作品也将显示出其昂贵的价值.类似于名画正品和赝品的鉴别也将在数字媒体中出现.应用水印技术,这一工作将变得比较简单.

4)保密通信.可以把需要传递的秘密信息嵌入可以公开的图像中.由于嵌入秘密信息的图像在主观视觉上并未发生变化,察觉到秘密信息的不大可能的.从这个意义上讲,传输秘密信息的信道也是秘密的.这将有效地减少遭受攻击的可能性.同时,由于信息的嵌入方法是秘密的,如果再结合密码学的方法,即使敌方知道秘密信息存在,要提取和破译该信息也是十分困难的.

5)多语言电影系统和电影分级.利用图像隐形水印技术,可以把电影的多种语言配音和字幕嵌入到视频图像中携带,在保证图像视觉质量不受影响的情况下节省了声音的传输信道.与此类似,把电影分级信息嵌入到图像中,可以实现画面放映的控制,从而实现电影的分级播放.

6)数字媒体附加描述和参考信息的携带.例如可以把感兴趣的图像特征(或区域)的位置和识别信息直接嵌入图像中,实现特征的定位和识别.

5 存在问题和未来研究重点

图像隐形水印是多媒体通信和多媒体信号处理领域近年来新的研究方向,到目前为止,许多问题的研究尚处于初级阶段.这些问题包括:

1)大多数算法尚未很好地利用视觉系统的特性,对视觉特性应用的定性/定量描述尚未见到.事实上对视觉系统的研究也仍是一项长期的工作.

2)水印的不可见性只是一个十分模糊的主观视觉概念.为了衡量算法的性能,有必要建立一种与视觉特性相匹配的客观标准.然而,与图像压缩的情况相似,建立这样一种标准并不是件容易的工作.

3)一些必要的基础理论和基本方法尚未得到充分研究.例如,在水印算法的性能比较上的研究还不够深入,尽管已有 StirMark 等测试水印稳健性的软件,但要科学地比较算法的优劣还需要做非常深入地研究.另外,在许多问题(如嵌入对策、水印结构等)上还存在完全不同的观点和做法.

4) 水印作为所有权识别的不确定性问题尚未得到很好解决. 不确定性的各种情况以及如何克服需进一步更深入地研究.

5) 有意义水印的研究还不够. 目前的绝大多数水印均由随机序列组成, 许多应用场合将逐步提出嵌入有意义信息的要求且继续保留随机序列水印保密性好的特点. 由于有意义的信息不允许有大的检测错误概率(甚至不允许有任何错误), 当嵌入数据量较大时, 水印编码和检测将存在较大的难度.

6) 目前绝大多数水印算法是针对静止黑白图像的, 只有少数涉及到视频信号, 涉及彩色的更少. 尽管针对静止黑白图像的水印算法也可以推广到视频信号或彩色图像上, 但视频信号和彩色图像有其本身特点, 视觉系统对它们也具有某些独有的视觉特性.

根据水印的研究现状分析, 如下几方面将可能成为未来图像隐形水印技术研究的重要方向:

1) 水印基本理论的研究, 包括水印结构、水印嵌入对策、水印检测方法、水印性能评价标准、水印的标准化等.

2) 基于视觉系统的自适应水印算法的研究, 包括视觉特征的研究和应用这些特征的水印算法. 稳健性依然是最主要的要求. 由于 DCT 和 DWT 在图像处理和数据压缩领域中的特殊地位, 基于 DCT 和 DWT 的方法将继续成为主流.

3) 数据隐藏理论与方法的研究. 其研究重点是解决在不可见性要求下, 嵌入数据量与稳健性的矛盾以及如何降低在失真的水印图像中检测数据的错误概率.

4) 水印有效性和抗攻击性的研究. 研究对水印实施攻击以消除水印以及水印对抗攻击的方法, 水印在解决所有权证实方面的作用和不足.

5) 压缩域水印算法以及水印与压缩编码方法相结合的研究.

6) 水印与密码学的结合, 解决信息安全的某些问题.

7) 水印在工业界的应用.

参 考 文 献

- 1 Macq M, Quisquater J-J. Cryptology for digital TV broadcasting. In: Proc. IEEE, 1995, **83**(6): 944~957
- 2 Cox I J, Killian J, Leighton F T, Shamoon T. Secure spread spectrum watermarking for multimedia. *IEEE Trans. on Image Processing*, 1997, **6**(12): 1673~1687
- 3 Mintzer F, Lotspiech J, Morimoto N. Safeguarding digital library contents and users. *D-Lib Magazine DEC*, 1997.
- 4 Swanson M D, Kobayashi M, Tewfik A H. Multimedia data embedding and watermarking technologies. In: Proc. IEEE, 1998, **86**(6): 1064~1087
- 5 Kundur D, Hatzinakos D. Digital watermarking for telltale tamper proofing and authentication. In: Proc. IEEE, 1999, **87**(7): 1167~1180
- 6 Tewfik A H, Swanaon M D. Data hiding for multimedia personalization, interaction, and protection. *IEEE Signal Processing Magazine*, 1997, **14**(7): 41~44
- 7 Kundur D, Hatzinakos D. A robust digital image watermarking method using wavelet-based fusion. In: Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing, Piscataway: IEEE Press, 1997, **1**: 544~547
- 8 Schyndel R G Van, Tirkel A Z, Osborne C F. A digital watermark. In: Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing, Piscataway: IEEE Press, 1994, **2**: 86~89
- 9 Wolfgang R B, Delp E J. A watermark for digital images. In: Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing,

- Piscataway: IEEE Press, 1996, **3**:219~222
- 10 Fleet D J. Embedding invisible information in color images. In: Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing, Piscataway: IEEE Press, 1997, **1**:532~535
 - 11 Bruyndoncky O, Quisquater J J, Marq B. Spatial method for copyright labeling of digital images. In: Proc. IEEE Workshop on Nonlinear Signal Processing, Piscataway: IEEE Press, 1995, 456~459
 - 12 Nikolaidis N, Pitas I. Robust image watermarking in the spatial domain. *Signal Processing*, 1998, **66**(3):385~403
 - 13 Langelaar G C, Der Lubbe J C A Van, Lagendijk R L. Robust labeling methods for copy protection of images. In: Proc. SPIE 3022; EI'97, Storage and Retrieval for Image and Video Database, San Jose: SPIE, 1997, 298~309
 - 14 Hsu C-T, Wu J-L. Hidden signature in images. *IEEE Trans. on Image Processing*, 1999, **8**(1):58~68
 - 15 Barni M, Bartolini F, Cappellini V, Piva A. A DCT-domain system for robust image watermarking. *Signal Processing*, 1998, **66**(3):357~372
 - 16 Ruanaith J K O, Dowling W J, Boland F M. Phase watermarking of digital image. In: Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing, Piscataway: IEEE Press, 1996, **3**:239~242
 - 17 Ruanaidh J K O, Pun T. Rotation, scale and translation invariant spread spectrum digital image watermarks. *Signal Processing*, 1998, **66**(3): 303~317
 - 18 Hayes M H. The reconstruction of a multidimensional sequence from the phase or magnitude of the FFT. *IEEE Trans. on Acoust., Speech, Signal Processing*, 1992, **40**(4):140~154
 - 19 Xia X, Boncelet C G, Arce G R. Wavelet transform based watermark for digital images. *Optics Express*, 1998, **3**(12):497~511
 - 20 Swanaon M D, Zhu B, Tewfik A H. Multiresolution scene-based video watermarking using perceptual models. *IEEE J. Select. Areas Commun.*, 1998, **16**(4):540~550
 - 21 Wolfgang R B, Podilchuk C I, Delp E J. Perceptual watermarks for digital image and video. In: Proc. IEEE, 1999, **87**(7):1108~1126
 - 22 Huang Jiwu, Shi Yun Q. An adaptive image watermarking scheme based on visual masking. *Electronics Letters*, 1998, **34**(8):748~750
 - 23 黄继武, Shi Yun Q. 一种自适应图像水印算法. *自动化学报*, 1999, **25**(4):476~482
 - 24 Podilchuk C I, Zeng W. Image-adaptive watermarking using visual models. *IEEE J. Select. Areas Commun.*, 1998, **16**(4):525~539
 - 25 Wang H-J M, Su P-C, Kuo C-C J. Wavelet-based digital image watermarking. *Optics Express*, 1998, **3**(12):491~496
 - 26 Delaigle J-F, Vleeschouwer C De, Macq B. Watermarking algorithm based on a human visual model. *Signal Processing*, 1998, **66**(3):319~335
 - 27 Bender W, Gruhl D, Morimoto N, Lu A. Techniques for data hiding. *IBM System Journal*, 1996, **35**(3/4):313~337
 - 28 Huang J, Elmasry G F, Shi Yun Q. Power constrained multiple signaling in digital image watermarking. In: Proc. IEEE Workshop on Multimedia Signal Processing, Piscataway: IEEE Press, 1998, LA, 388~393
 - 29 Barni M, Bartolini F, Cappellini V, Piva A. Capacity of the watermark-channel: how many bits can be hidden within a digital image. In: Proc. SPIE 3657; Security and watermarking of Multimedia Contents, San Jose: SPIE, 1999
 - 30 Servetto S D, Podilchuk C I, Ramchandran K. Capacity issues in digital image watermarking. In: Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing, Piscataway: IEEE Press, 1998
 - 31 Hernandez J R, Gonzalez F P, Rodriguez J M, Nieto G. Performance analysis of a 2-D multipulse amplitude modulation scheme for data hiding and watermarking of still images. *IEEE J. Select. Areas Commun.*, 1998, **16**(4):510~524

- 32 Cox I. J, Miller L, McKeekips A L. Watermarking as communications with side information. In: Proc. IEEE, 1999, **87**(7):1127~1141
- 33 黄继武, 岳韬, Shi Yun Q. 一种图像2-D水印算法. 自动化学报, (待发表)
- 34 Swanson M D, Zhu B, Tewfik A H. Data hiding for video-in-video. In: Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing, Piscataway: IEEE Press, 1997, 676~679
- 35 Hartung F, Girod B. Watermarking of uncompressed and compressed video. *Signal Processing*, 1998, **66**(3):283~301
- 36 Hartung F, Girod B. Digital watermarking of MPEG-2 coded video in the bitstream domain. In: Proc. Int. Conf. on Acoust., Speech, Signal Processing, Piscataway: IEEE Press, 1997, **4**:2621~2624
- 37 Chung T-Y, Hong M-S, Oh Y-N, Shin D-H, Park S-H. Digital watermarking for copyright protection of MPEG2 compressed video. *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, 1998, **44**(3): 895~901
- 38 Wang H-J M, Kuo J-C J. An integrated approach to embedded image coding and watermarking. In: Proc. Int. Conf. on Acoust., Speech, Signal Processing, Piscataway: IEEE Press, 1998, **6**:3721~3725
- 39 Lacy J, Quackenbush S R, Reibman A R, Shur D, Snyder J H. On combining watermarking with perceptual coding. In: Proc. Int. Conf. on Acoust., Speech, Signal Processing, Piscataway: IEEE Press, 1998, **6**:3725~3728
- 40 Lacy J, Quackenbush S R, Reibman A R, Snyder J H. Intellectual property protection system and digital watermarking. *Optics Express*, 1998, **3**(12): 478~482
- 41 Cox I J, Linnartz J-P M G. Some general methods for tampering with watermarks. *IEEE J. Select. Areas Commun.*, 1998, **16**(4):540~550
- 42 Su J K, Hartung F, Girod B. A channel model for a watermark attack. In: Proc. SPIE 3657: Security and Watermarking of Multimedia Contents, San Jose: SPIE, 1999
- 43 Fabien A. P. Petitcolas, Ross J. Anderson, Markus G. Kuhn. Attacks on copyright marking systems. In: Proc. LNCS 1525:2nd Int. Workshop on Information Hiding, 1998, Berlin: Springer-Verlag, 219~239
- 44 Mintzer F, Braudaway G W, Yeung M M. Effective and ineffective digital watermarks. In: Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing, Piscataway: IEEE Press, 1997, **1**:9~12
- 45 Voyatzis G, Pitas I. The use of watermarks in the protection of digital multimedia products. In: Proc. IEEE, 1999, **87**(7):1197~1207
- 46 Craver S, Memon N, Yeo B-L, Yeung M M. Resolving rightful ownerships with in visible watermarking techniques: Limitations, attacks, and implications. *IEEE J. Select. Areas Commun.*, 1998, **16**(4): 573~586
- 47 Craver S, Yeo B-L, Yeung M M. Technical trials and legal tribulations. *Commun. ACM*, 1998, **41**(7):45~54
- 48 Bloom J A, Cox I. J, Kalker T, Linnartz J-P M G, Miller L, Traw C B S. Copy protection for DVD video. In: Proc. IEEE, 1999, **87**(7):1267~1276
- 49 <http://www.digital-watermark.com/patents.htm>
- 50 http://www.digimarc.com/buy/buy_in_embed.html
- 51 <http://www.mediasec.com/about/index.html>
- 52 <http://www.signafy.com/Products.htm>
- 53 <http://www.signumtech.com/suresign/index.html>
- 54 <http://www.cl.cam.ac.uk/~fapp2/watermarking/stirmark/>
- 55 Mintzer M, Braudaway G. W, Bell A. Opportunities for watermarking standards. *Commun. ACM*, 1998, **41**(7): 57~74
- 56 Liu Y. Z, Tan T N. Watermarking for digital images. In: Proc. 4th Int. Conf. on Signal Processing, Beijing, 1998, 994~947
- 57 Huang Jiwu, Shi Yun Q, Shi Yi. Embedding image watermarks in DC components. will appear in *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 2000 (accepted)

黄继武 博士.现为中山大学电子与通信工程系教授、《中国图像图形学报》和《模式识别与人工智能》编委、广东省图像图形学会常务理事.1982年毕业于西安电子科技大学电子对抗专业并获得学士学位.1987年,于清华大学通信与电子系统专业研究生毕业,获工学硕士.1998年在中国科学院自动化研究所模式识别与智能系统专业毕业并获博士学位.主持过国家和省部级科研课题多项,发表论文40多篇.主要研究方向为图像处理、图像压缩编码、图像水印技术.

谭铁牛 博士.中国科学院自动化研究所所长、模式识别国家重点实验室主任、研究员、博士生导师,国家“863计划”智能计算机专家组成员,《Pattern Recognition》、《计算机学报》编委、《中国图像图形学报》副主编.1989年获英国伦敦大学帝国理工学院博士学位.1996年入选中国科学院“百人计划”,获“国家杰出青年基金”资助.主要研究方向为图像处理、图像水印技术、计算机视觉和模式识别.发表论文80多篇.

2001年中国控制与决策学术年会(13th CDC)征文通知

会议主题:控制与决策系统的理论与应用

征文范围:1. 广义系统、大系统、非线性系统、混沌系统、系统稳定与镇定;2. 自适应、鲁棒、预测、变结构控制;3. 系统滤波、辨识、参数估计;4. 频域控制、状态反馈控制、最优控制、 H_∞ 优化、动态规划、组合优化方法;5. 智能控制、模糊控制、专家系统;6. 神经网络及其应用;7. 故障检测、容错、冗余、系统完整性;8. 离散事件系统(FMS、CIMS)、混合系统;9. 社会经济、生产计划、生产调度、生产管理系统;10. 对策、决策理论及应用;11. 信息管理、决策支持系统及系统仿真;12. 军事信息科学与技术;13. 其它。

时间地点:2001年5月 西安

论文要求:1. 具有较高学术水平,内容充实具体;2. 未在国内公开发行的刊物和全国性学术会议上发表或宣读;3. 全文不超过5000字(含图表所占字数,插图限3~4幅);4. 写作格式参见年会论文集;5. 原稿字迹清楚,插图规范,文中易混字母大小写及上下角标用铅笔标明;6. 来稿请注明“CDC'2001征文”字样,并标明原稿属“征文范围”哪一类文稿;7. 写清第一作者详细通讯地址、邮编及电话号码;8. 来稿一式二份,本会不退稿。

论文评优:应广大作者和读者的要求,本届年会将评选优秀论文。

论文出版:录用论文统一编辑,激光照排,胶版印刷,出版社正式出版发行。

截稿日期:2000年11月15日 **录用通知:**2000年11月30日以前

联系地址:110006 沈阳市东北大学125信箱 **联系人:**刘春渤

电 话:(024)23906437

CDC'2001组委会