

基于小波域的数字图象水印算法综述

强 英¹ 王 颖^{1,2}

¹ (中国科学技术大学研究生院,北京 100039)

² (信息安全国家重点实验室,北京 100039)

E-mail: qiang@sgnec.nec.com.cn

摘 要 小波变换以其良好的空频特性,及与图象编码标准 JPEG2000 的兼容性,使得小波域水印更具鲁棒性,以及更大的嵌入容量。该文将展示多种利用小波变换进行扩频的水印算法,阐述如何运用小波图象压缩中的多尺度概念嵌入、检测水印。此外该文对小波域水印算法进行分类、比较,总结出各类水印算法的特性,并提出小波域水印算法的发展方向。

关键词 数字水印 小波变换 鲁棒性 图象压缩 HVS

文章编号 1002-8331-(2004)11-0046-04 文献标识码 A 中图分类号 TP391

A Survey of Wavelet-domain Based Digital Image Watermarking Algorithm

Qiang Ying¹ Wang Ying^{1,2}

¹ (Graduate School, University of Science and Technology of China, Beijing 100039)

² (The State Key Laboratory of Information Security, Beijing 100039)

Abstract: The advantage of wavelet domain watermark is its perfect location-frequency feather and its compatibility with the upcoming image coding standard JPEG2000. It makes the wavelet-domain watermark is more robust and can contain more capacity. We will see how to perform spread-spectrum watermarking by employing wavelet transform domain in a variety of ways and how to embed and extract watermarks by the concept of multiresolution property of wavelet image decomposition. We will classify and compare the wavelet watermarking algorithms and illustrate their properties. At last, we will propose the tendency of the wavelet-domain watermarking algorithm.

Keywords: Digital watermarking, Wavelet transform, Robustness, Compression, HVS

1 引言

在过去 10 年中,数字水印技术随着网络时代的到来应运而生、蓬勃发展。数字水印技术主要分为空间域水印和变换域水印两种。变换域水印由于其较好的鲁棒性,越来越受世人瞩目。作为 JPEG2000 标准的小波变换,由于充分满足渐进传输、低比特率传输,以及分辨率和质量的可调整性、抗错性和特定区域 (ROI) 编码等新的需求,使得基于小波变换的水印方案具有优异的性能,也更有吸引力。

小波水印的算法主要根据小波分解后产生的近似子带和细节子带系数的不同,确定水印嵌入的不同位置,大体分为低频域水印和高频域水印算法。低频域水印算法主要考虑近似子带系数能量大,经过一般的信号处理后,仍能很好保留的特点,嵌入一定强度的水印,达到不影响原图视觉质量的效果。高频域水印算法利用人眼的视觉特性 (HVS),在细节子带的边缘和纹理处系数较大,嵌入水印信息后,人眼对图象的变化不敏感。此类算法配合自适应思想,可提高水印的鲁棒性。按照这两种思路,该文就小波水印的特点、基本算法、试验鲁棒性的结果等进行综述,提出小波域水印技术的发展方向。

小波变换将信号分解成为高频和低频两部分。信号的大部分能量集中在低频部分,多级小波分解是将低频部分继续分解为低频和高频两部分,递归完成。

二维小波的分解结构如图 1 所示, LL_n 代表 n 级小波分解垂直、水平方向的低频分量,被称为近似子带。 HL_n 代表 n 级小波分解垂直方向高频、水平方向的低频分量,依次类推,被称为细节子带。

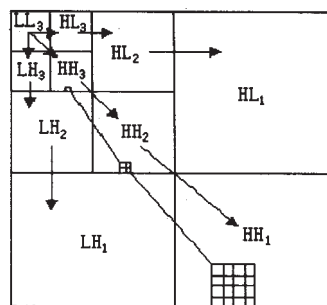


图 1 二维信号小波分解原理图

2 小波域水印的特点

数字小波变换因其良好的空频局部化特征,适用于图象识

基金项目:国家 863 高技术研究发展计划项目 (编号 2003AA144081)

作者简介:强英 (1971-),女,北京人,研究生,主要研究方向:图象处理、数字水印。王颖 (1969-),女,北京人,副教授,博士后,主要研究方向:图象

© 1994-2004 Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

别领域,可保证在 JPEG2000 有损压缩下图象中的重要信息不会被去除,因而可能实现在压缩域中直接嵌入水印。

小波变换的优点具体表现在以下方面:

(1)空-频的局部化。图象经小波变换后,空域上表示图象边缘和纹理的部分,反映到频域上对应细节子带的大系数。由于人眼对边缘和纹理部分的改变不敏感,所以可在图象小波分解后细节子带的大系数上嵌入水印。

(2)多尺度表示。小波变化的多尺度特性应用在图象多级分解上,表现为细节子带同方向上图象具有相似性和固定的对应关系,这对水印的嵌入及连续解码都很重要。如图 1 所示,从不重要的高分解层节点,可以找到同方向低分解层的不重要节点,从而产生一棵零树,即零树小波(EZW)的原理。小波零树水印算法通过与选定的阈值进行比较,大于阈值的系数为重要系数。在高分解层上确定重要系数为父节点,递归找到低分解层的倍增数量的子节点,从而筛选出水印嵌入点。

(3)线性复杂度低:小波变换的线性复杂度为 $O(n)$ 相比 DCT 的复杂度为 $O(n \cdot \log n)$ (n 为变换信号的长度)要小得多。

3 小波域水印算法

在过去的 5 年中,水印研究者提出了大量基于数字小波的水印方案^[1-9]。该文对小波域水印算法的水印结构、嵌入方法和检测方法进行分析总结,阐述小波水印算法的共性问题。

3.1 水印结构

水印信息一般分为无意义水印和有意义水印。无意义水印大多采用伪随机信号作为水印,伪随机信号可用伪随机噪声的扩频序列来产生。如一般算法^[6-10]采用符合 $(0,1)$ 正态分布的高斯噪声作为水印,这是由于高斯分布的伪随机序列与其他等长的随机序列相比,检测过程的相关值计算中,具有更大的相关系数,体现出更好的鲁棒性。为增加水印信息的鲁棒性和安全性,还可以对水印进行一些编码处理,以增加其容错性。如 Kim^[5]运用高斯随机分布水印有利于水印的不可见性及鲁棒性的原理,应用 Box-Muller 变换将均匀分布的序列转换为高斯分布序列作为水印。Hernandez^[12]在二维多脉冲调制水印中,提出运用 L 长度的正交序列与隐藏信息线性组合形成水印的方法。刘瑞祯^[14]认为水印若与原图内容无关,会对水印算法的安全性和鲁棒性不利,从而提出水印与原始图象的特征向量正交,形成基于图象内容的数字水印模型。这些水印模型的建立方法,不同程度上克服了一般统计特征的数字水印易受非线性变换方法攻击的缺点。此外目前也有人将通信系统中的纠错编码应用于水印的构造过程中,如 RCH 编码、链接码、涡轮码等。

有意义水印在版权证明上较无意义水印更具有直观性和可验证性。有意义水印包括徽章、标志和二进制小图象等。如 Kundur^[1]的图象融合水印方法就是将一个较小的标志作为水印,嵌入到原图。一些水印嵌入之前,通过量化/替换等纠错编码产生加密水印,以增加水印模型的鲁棒性。如 Tsekeridou^[11]针对多数水印对几何变换相对敏感的缺点,提出空间自相似的概念,产生圆点对称的水印。这种水印构成方法在抗击剪切、缩放等几何变形攻击时,可减小查找水印的范围和复杂度,提高检测效率。

水印模型的好坏,影响嵌入水印后图象的视觉效果,视觉质量的量度方法可通过嵌入图象的 PSNR (峰值信噪比)计算;检测水印时的 EBR (误码率)用来反映水印嵌入、检测算法的

准确性,具有纠错能力的水印可减小 EBR,提高检测的准确率。

3.2 嵌入方法

小波水印的嵌入流程如图 2 所示,水印嵌入一般采用可加性模型,嵌入公式^[10]为:

$$X^* = \begin{cases} X(1+\alpha w) & X > T \\ X & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

T : 阈值 w : 水印。

水印嵌入的位置主要为小波分解后的低频域和高频域,对应近似子带和细节子带。下面按低频子带和高频子带分类,对小波域水印算法做一个总结。

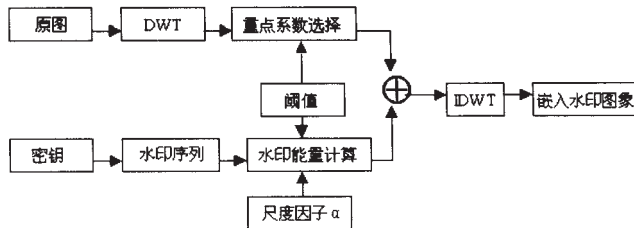


图 2 小波水印嵌入流程

3.2.1 低频子带水印嵌入方法

该方法是针对原图小波分解后近似子带的系数进行水印嵌入。近似子带代表图象中平坦的部分,具有较高的感觉容量,嵌入水印的鲁棒性强。该类方法对高频滤波、有损压缩都有较好的抗攻击性。但同时正因为低频分量直接影响着图象的质量,水印嵌入容量过大会直接影响图象的视觉效果。以下举出几个典型的低频域水印算法进行说明。

(1)盲水印算法

盲水印是指水印检测时,不需原图及其他参考信息,故盲水印的嵌入算法也最复杂,与之相关的文章较非盲水印文章要少。但作为公开水印,盲水印的法庭证据效果较好,具有很大的研究前景。如 Xie^[8]的一种基于低频子带嵌入的盲水印算法,其通过一个不重叠的 3×1 大小的滑动窗,对小波分解的整个低频系数进行扫描,对连续的 3 个系数进行排序,对最小值,最大值之间的长度进行 M 段分割,中间值根据水印值进行量化。其盲水印提取在 JPEG 压缩率较大的情况下,检测效果不大理想,主要原因是,未对小波系数进行筛选,部分系数受压缩影响大,因而提高了误码率。

(2)自适应的半盲水印算法

自适应的半盲水印算法研究结果较多,采取自适应的方式选择嵌入位置,水印嵌入后的视觉效果及检测效率较盲水印要高,具体的算法如:

Kim^[5]按层自适应的方法,在近似子带和细节子带中,同时嵌入符合高斯随机分布的水印。其算法是由近似子带到高分解层的细节子带,再到低分解层的细节子带按阈值进行系数筛选,之后将水印嵌入到大于阈值的系数中。不同层的阈值不同,自适应产生,不同层嵌入的水印强度因子也不同,大系数层的水印强度因子小,小系数层的水印强度因子大,合理地控制嵌入强度,保证了嵌入水印的不可见性。因为有大量低频系数,所以对压缩、滤波的抗攻击能力强,但对噪声的抗攻击能力较弱。

黄达人^[15]等提出的水印算法也应用自适应的思想对嵌入系数进行了筛选,首先在小波图象的低频系数中嵌入水印,若水印未完全嵌入,有剩余水印再按小波图象频带重要性的排序嵌入高频带,该算法还指出,水印嵌入到小波低频系数和高频

系数需要用不同的嵌入策略。

3.2.2 高频子带水印嵌入方法

小波分解中低频子带系数的大小大致相同,高频子带的系数遵从拉氏函数分布,大部分系数为0,只有少数代表边缘和高质地的峰值系数包含较大的能量。为了可靠地在细节子带中嵌入水印,可只选择足够大的系数,也可对水印强度加权,使之在重要系数中嵌入更多的能量,嵌入强度一般取决于分解层数、子带方向及能量。

因为高频域信息易受低通滤波和 JPEG 压缩的攻击,为提高高频域水印算法的鲁棒性,经常采用自适应的方法,来提高该类算法的抗攻击能力。该文总结了几类典型的高频域小波自适应算法,并进行了详细阐述。

(1) 阈值设定法

该类算法通过设定阈值,将高频域系数与阈值做比较,选择能量大的系数进行水印嵌入。如 Inoue^[5]的阈值为:

$$T_l^\rho = \max \left\{ \frac{C_l^\rho}{2} \right\} \quad (2)$$

C_l^ρ :子带系数的绝对值最大值 l :分解层 ρ :分解方向。

其采用嵌入零树小波的方法,将最高分解层的小波系数与给定阈值进行比较,如果小于阈值的系数则被认为是不重要系数,作为父节点(或根节点),其同方向的较低分解层的系数也被认为是不重要系数,作为子节点,从而形成一棵零树。零树树根被编码为特殊字符,以标识整个零树。零树是图象压缩中易被去除的位置,故不进行水印嵌入,反之,在重要系数构成的父节点及相应子孙节点上嵌入水印。

LIU^[13]与孟兵^[16]采用 7/9 双正交小波的量化因子作阈值。对 3 级小波分解的各层、各方向都进行阈值设定,不同位置的小波系数与相应位置的阈值做比较,筛选出大系数嵌入水印,自适应地产生嵌入水印的长度和嵌入强度。

阈值设定法,是通过明确的阈值来判定重要系数,阈值的设定自适应产生。

(2) 应用 HVS 的方法

该方法利用人眼的视觉特征,来选择嵌入位置点及嵌入的水印强度。如 Barni^[2]等根据 HVS 中的纹理和亮度特征,将伪随机序列作为水印,逐点对一级小波分解的细节子带中所有系数嵌入水印。采取根据各象素点的视觉差异,对嵌入水印权值进行限定的方法。主要考虑的视觉因素有:象素点位于小波分解子带的位置、象素点的亮度和象素周围的纹理情况。因为是对第一层小波系数进行修改,嵌入水印后的图象与原图差异不大,因而受滤波、压缩攻击的影响会较大。

该方法利用人眼视觉特征,反映在小波系数上,即能量大的边缘、纹理相应系数嵌入较大能量的水印信息。

(3) 量化方法

该类方法一般是对小波分解后的三个方向的高频系数比较后,中间值量化的方法。如 Kundur^[11]对原图的同一尺度层细节子带的三个被选中系数进行排序,根据嵌入值为 0 或为 1,对中间系数进行量化。因为 Kundur 的算法是对细节子带系数未经筛选地嵌入水印,所以属于盲水印范畴。但同时存在细节子带部分系数值太小,或为 0 的情况,使得量化间隔太小或为 0,无法正确嵌入水印,造成水印提取准确率低,抗攻击能力差。

该方法的水印嵌入过程,实际也是一种自适应地选择嵌入位置的过程,通过三个系数的比较,找出合适的嵌入位置。

总结高频域水印嵌入算法,最需要解决的就是,抗 JPEG 有损压缩和低通滤波的能力问题。因为这两种图象处理去除了—些高频信号,嵌入高频信息中的水印会被同时去除掉。因此嵌入系数的选择若经过精心处理,水印的提取或检测准确率相应会大大提高。另一面,这类水印较低频子带水印嵌入模型的优点在于,其较好的抗噪声、抗切割等几何变形攻击的能力。

3.3 检测方法

3.3.1 水印检测分类

小波水印的检测流程如图 3 所示,根据水印检测的要求,水印分为非盲水印(私有水印)、半盲水印和盲水印(公开水印)。

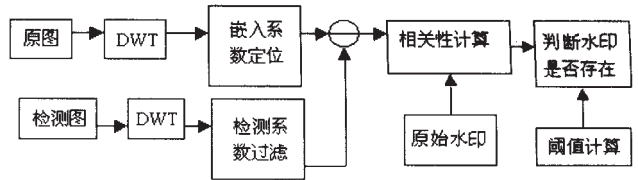


图 3 小波水印检测流程

非盲水印嵌入通常采用加性水印嵌入(如公式(1))。水印提取时,采用嵌入的逆过程:

$$W' = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{X'}{X} - 1 \right) \quad (3)$$

X' :待检测图象点 X :原图象点。

非盲水印的检测需要原图的参与。

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(如[13]);或产生一个一维序列,记录嵌入位置的坐标。

盲水印检测是水印检测的最高境界。检测过程不需原图或参考信息,它灵活,但算法较复杂。如 Xie^[8]的低频域水印和 Kundur^[11]的高频域水印,通常是对整个低频或高频小波子带进行水印嵌入。

3.3.2 相关性计算

根据水印结构和嵌入算法的不同,检测的结果也不同。若嵌入水印为有意义图象,常恢复出与嵌入图象相似的有意义图象。若嵌入水印为随机序列,常将提取水印与嵌入水印进行相关性计算,结果与阈值做比较,来检测水印是否存在。根据相关值计算中是否需要提取水印,可分为需提取水印和不需提取水印两种。

需提取水印的相关值公式有:

$$\text{sim1}(W, W') = \frac{W' \cdot W}{\|W'\|_2} \quad \text{sim1} > 1 \quad (4)$$

$$\text{或 } \text{sim2}(W, W') = \frac{\sum W(i)W'(i)}{\sqrt{\sum W^2(i)}\sqrt{\sum W'^2(i)}} \quad 0 < \text{sim2} < 1 \quad (5)$$

不需提取水印的相关值计算是通过检测图象与原水印进行计算,公式如下:

$$\rho(X', W) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M X'_{i,j} w(i) w(i) \quad (6)$$

X' : j 层 j 方向图象。

4 讨论

本节应用小波水印的低频域、高频域嵌入算法,比较嵌入水印图象与原图的差异。在低频域的水印嵌入中,因为低频系数普遍较大,嵌入位置的选择多在图象的平坦处,水印嵌入后的图象与原图的差值(如图4所示),从视觉感知上无特定含义。在高频域的水印嵌入,差值体现在图象边缘的系数变化(如图5所示),这与高频信息反映图象的边缘、纹理信息的概念是吻合的。



图4 Joo方法嵌入水印图及嵌入图与原图的差(低频子带嵌入方法, $\text{psnr}=46.10$)



图5 Kundur方法嵌入水印图及嵌入图与原图的差(高频子带嵌入方法, $\text{psnr}=43.59$)

在水印的检测过程中,为比较不同水印算法的检测结果,笔者计算嵌入和提取水印的正态相关性。如图6所示,用峰值信噪比PSNR来反映图象在JPEG下的失真,PSNR越低,检测相关性越差。同样的PSNR下,不同的算法比较,相关值越大,鲁棒性越好。

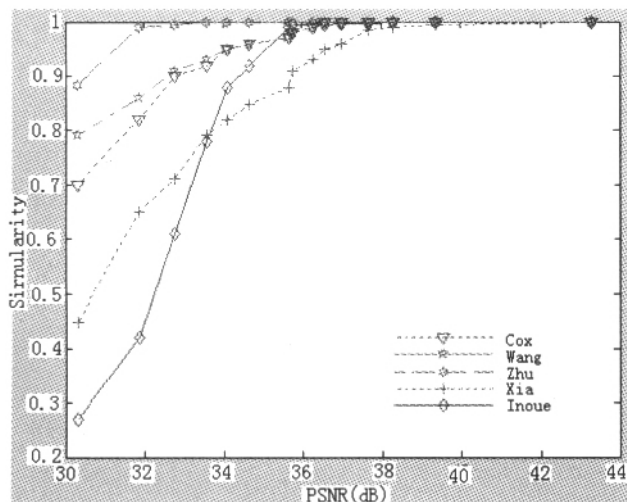


图6 各类水印算法的检测比较

笔者分析比较了一些著名的盲和非盲水印。其中包括Wang^[9]的高频子带盲水印算法、Zhu^[7]、Xia^[6]的高频子带非盲水印算法、Inoue^[5]的小波零树水印算法,还引用了典型的Cox的

DCT水印算法做参考。大部分算法在水印检测时,对图象压缩都有一定的鲁棒性;在PSNR较高的情况下,这几个算法都表现出高的相关值;在压缩比率增加,视觉质量变差的情况下,Xia的高频系数水印嵌入由于未进行系数筛选,抗有损压缩能力不够理想;Inoue的嵌入算法具有同步问题,在较高失真层有尖锐下降;Wang通过多阈值小波编码(MTWC)选择水印嵌入过程中的重要系数,并自适应地调整水印强度,因而该算法的抗攻击性较强;Zhu的水印嵌入公式沿用Cox的方法,嵌入位置是小波的高频域,同Cox的算法相比,提取效果要好得多,从而证明小波水印的优越性。

5 展望

数字水印作为新兴的研究领域,在过去十年中得到了蓬勃的发展,小波技术应用于水印研究,更为其注入了新的活力。基于小波水印的鲁棒性、安全性、抗攻击性的研究,多媒体水印及其与加密技术和网络应用的结合,将是以后研究的重点。从现有技术和需求分析,未来的小波域水印研究热点为:

(1)小波类型及分解级数的选择。前文中阐述了小波高频域、低频域水印的不同特点及利弊,研究小波域水印的嵌入位置及方法,关键要保证水印的不可见性、鲁棒性和安全性。小波域水印的嵌入效果与选择的小波基和小波分解层数有着密切关系,通过小波分解后的系数分析,找到合适的嵌入位置和嵌入强度,有利于水印嵌入后的视觉质量和减小检测过程的误码率。

(2)水印系统模型的研究。过去的水印研究中,基于统计特征的数字水印易受非线性变换的影响。为了提高水印检测中的纠错能力,可利用现代通信原理,将水印的嵌入等价为一个通信模型,采用信道编码的方法来降低嵌入水印的检测误码率。各种攻击具有不同的特性,所引起的水印检测误码率也不同。如何根据不同攻击的特性,将其等效为通信理论中的问题,并应用相应的通信技术提高水印检测时的正确率,是未来研究的一个重要课题。

(3)基于HVS小波自适应算法的研究。小波变换充分反映了人眼的视觉特性,应用于水印技术(如基于边界信息的数字水印技术等),产生了基于HVS的自适应算法,经验证表明其不可见性和鲁棒性,较未经小波系数筛选的算法要好,因而选择阈值构造符合HVS的自适应算法是未来水印的研究方向。

(4)现有图象水印算法向多媒体领域的移植。现有的小波域水印算法多集中在图象水印研究,基于视频、音频、动画等领域的水印还较欠缺。现有水印算法向多媒体领域的移植,将是今后的发展方向。(收稿日期:2004年2月)

参考文献

1. D Kundur, D Hatzinakos. Digital watermarking using multiresolution wavelet decomposition[C]. In Proc IEEE Int Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 1998-05 2969-2972
2. M Barni, F Bartolini, A Piva. Improved Wavelet-based Watermarking Through Pixel-Wise Masking[J]. IEEE Trans Image Proc 2001; 10(5): 783-791
3. J R Kim, Y S Moon. A Robust Wavelet-Based Digital Watermarking Using Level-Adaptive Thresholding[C]. In Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Image Processing ICIP'99, Kobe, Japan, 1999-10 202-206

(下转 104 页)

```

Exit ;
end ;
Mpeg1Decode_CloseVideo ;
Mpeg1Decode_UnInit ;
btFile.Enabled :=False ;
btVcd.Enabled :=btFile.Enabled ;
sleep (30) ;
Mpeg1Decode_Init () ;
VideoThread :=TSendStreamThread.Create (OpenDialog1.FileName , True , True , iMulticastGroup ) ;
Mousebar1.Max :=VideoThread.iMaxFram ;
VideoThread.Resume ;
end ;
end ;
procedure TForm1.btSoundClick (Sender :TObject) ;
begin
Mpeg1Decode_PopupAudioPropDlg (Handle) ; //声道
end ;

```

4.2.3 试题的自动生成与自动评卷

网上考试是该系统的一个特色,以下是实现网上考试的部分算法。

试题随机生成算法:

```

Esq1="select*from test where coursename=" &course& " and diffi=" &difficulty& " "

```

//根据用户选择的课程名称和试题难度生成查询子句

```

rs.open Esq1 conn 3 3

```

for i=0 to rcount //针对用户提出题目数量要求进行选择

```

Earray ( ):=i+1

```

```

randomize () //调用随机选取算法

```

```

next

```

```

rs.update

```

```

rs.movenext

```

```

set rs=conn.Execute (Esq1)

```

```

rs.close

```

自动评卷算法:

```

set conn=server.createobject ("adodb.connection")
conn.open"datasource"
for i =0 to rcount
sql="select answercontent from test where testno=" &array (n) &""
score=0
if answer=rs ("answercontent") then
score=rs ("testmark")
end if //查询试题答案
rs.movenext
score=score+rs ("testmark") //生成考试成绩
response.write"你的成绩:" &score&""
strsql="insert into test grade record (sdtno ,sdtname ,coursename ,
grade) values (" &sdtno& " , " &sdtname& " , " &coursename& " , score) //成绩写入成绩表
next
rs.close

```

5 结束语

该系统发挥了网络教学的特点和传统教学的特点,并将二者有机结合起来,可以为用户提供灵活的开发环境。用户使用该系统能够灵活定制适合该课程的网络教学系统,通过该工具生成的网络教学系统,不仅能够完成远程网络教学的功能,而且可以充分利用传统教学资源 and 教学模式,是教学内容和教学手段较好的协调和统一。(收稿日期:2003年6月)

参考文献

- Schuzrine H , Rao A , Lanphier R. Real Time Streaming Protocol[J]. Engineering Task Force ,1998 ; (4)
- 钟咏兵 ,冯金富等.基于 Internet/Intranet 远程网络教学的体系结构及总体设计[J].计算机工程与应用 2002 ; 38 (23) :217~219
- 赵成 ,彭来献等.基于 Internet/Intranet 的智能化通用课件系统[J].军事通信技术 2000 ; (2) :110~112
- 李文军等.基于 Web 的流式视频技术[J].微型机与应用 2001 ; (6) :86~90
- JavaSoft. JDBC : A Java SQL APL.1997

(上接 49 页)

- Meerwald A , Uhla. Survey of Wavelet-Domain Watermarking Algorithms[C]. In SPIE Symposium , Electronic Imaging , Conference on Security and Watermarking of Multimedia Contents , San Jose , CA , USA , 2001-01 :20~26
- Inoue A , Miyazaki A , Yamamoto et al. A digital watermark based on the wavelet transform and its robustness on image compression[C]. In Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing , ICIP' 98 , Chicago , IL , USA , 1998
- Xia C , Boncelet G , Arce. Wavelet transform based watermark for digital images. Optics Express 3 , 1998-12 :497
- Zhu Z , Xiong Y , Xiang. Multiresolution watermarking for images and video : a unified approach[C]. In Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing , ICIP '98 , Chicago , IL , USA , 1998-10 :465~468
- Xie G , Arce. Joint wavelet compression and authentication watermarking[C]. In Proceeding of the IEEE International Conference on Image Processing , ICIP'98 , Chicago , IL , USA , 1998-10
- Wang C , Kuo. An integrated approach to embedded image coding and watermarking[C]. In Proceedings of IEEE ICASSP '98 , Seattle , WA ,

- Cox J , Kilian T , Leighton et al. Secure spread spectrum watermarking for multimedia[C]. In Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing , ICIP '97 , Santa Barbara , California , USA , 1997-10 ; 6 :1673~1687
- Tsekeridou I , Pitas. Embedding self-similar watermarks in the wavelet domain[C]. In Proceedings of the IEEE ICASSP 2000 , Istanbul , Turkey , 2000
- Hernandez R , Perez-Gonzalez F , Rodriguez M . Data hiding for copyright protection of still images[C]. In COST 254 , emerging Techniques for Communication Terminals , Toulouse , France , ENSEEIHT , 1997-07
- Liu Tong , Qiu Zheng-ding. A DWT Domain Image-Adaptive Digital Watermarking Algorithm[J]. Journal of Software 2002 ; 13 (4)
- 刘瑞祯 ,王蕴红 ,谭铁牛.基于图象内容的数字水印模型[J].中国图象图形学报 2001 ; 6 (6)
- 黄达人 ,刘九芬 ,黄继武.小波变换域图象水印嵌入对策和算法[J].软件学报 2002 ; 13 (7)
- 孟兵 ,万建伟 ,周良柱.基于小波量化噪声的静态图象数字水印算法研究[J].计算机工程与科学 2000 ; 22 (4)
- 黄继武 , G F Elmasry. 基于匹配滤波器的有意义图象水印算法[J]. 电子学报