

# 基于小波变换的图像文字水印方案

张德臣, 蔡建立, 杨思超

(厦门大学信息科学与技术学院 福建 厦门 361005)

**【摘要】** 数字水印是一种新的有效的数字产品版权保护和数据安全维护的技术, 它是一种十分贴近实际应用的信息隐藏技术。小波变换因其良好的空频特性, 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。因此基于小波变换的数字水印技术成为当前的一个研究热点。本文介绍了一种小波变换域在静态图像上嵌入文字水印的方案, 实验表明, 该方法是可行的。

**【关键词】** 数字水印; 小波变换; 多分辨率分解

## 1. 引言

信息隐藏技术是人们将秘密信息隐藏于普通文件之中, 通过普通文件的发布而将秘密发送出去, 这一技术的一个重要应用是数字水印技术, 自从 20 世纪 90 年代数字水印技术正式提出以来, 国际上对它的研究日益成熟。

## 2. 数字水印技术

数字水印是将具有特定意义的标记(水印), 利用数字嵌入的方法隐藏在数字图像、声音、文档、图书、视频等数字产品中, 用以证明创作者对其作品的所有权, 并作为鉴定、起诉非法侵权的证据。同时, 通过对水印的检测和分析, 保证数字信息的完整可靠性, 从而成为知识产权保护和数字多媒体防伪的有效手段。

为了使数字水印起到其应有的作用, 数字水印要满足以下几个要求:

(1) 不可见性: 由于人视觉系统(HVS)所固有的多分辨率特性, 数字水印应利用这种特性实现数字水印在多媒体产品中的不可见性。即使水印的存在不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) 鲁棒性: 即健壮性, 数字水印必须对各种正常和不正常的图像处理操作具备鲁棒性。

(3) 识别性能: 必须有易区分和鉴别不同水印的性能。

除此之外, 数字水印还应该具有计算有效性、隐藏位置的安全性等特性。

## 3. 水印方案的实现

### 3.1 图像信号的小波多分辨率分解

为了使嵌入的水印对有损压缩具备较强的稳健性, 在水印

的嵌入过程中, 把原始图像通过二维小波变换分解为 3 层多分辨率塔式结构, 如图 1 所示。其中在多分辨率分解的 3 层中, 最低子带 LL3 包含了原始图像的最低分辨率信息, 而 HL3, LH3 和 HH3 是 LL3 的精细图像信息, 第 3 层中的 HL3, LH3 和 HH3 图像包含了第 2 层参考图像 (HL2, LH2 和 HH2) 的近似信息, 而第 2 层中的图像 (HL2, LH2 和 HH2) 又包含了第 1 层参考图像 (HL1, LH1 和 HH1) 的近似信息。从而可见, 对于小波变换处理后的图像分成的低频、高频两个部分中, 低频部分包含图像的基本特征, 在图像重构算法中起主导作用, 对图像恢复质量影响很大, 若在此频段嵌入, 水印会使图像视觉质量下降; 高频区域系数的变化对图像可视性的影响小于低频区域, 可在该区域嵌入水印, 但是在图像的高频段嵌入水印, 又会使水印被压缩过程中的量化等操作破坏掉, 因此, 综合考虑水印的鲁棒性和隐蔽性要求, 我们将水印嵌入到小波变换的第二级的高频子带和第三级高频子带的对角分量上, 这样选择的目的是, 是尽可能保持水印处理后的图像质量。因为各级小波子图对视觉系统的影响是不同的, 随着分级的

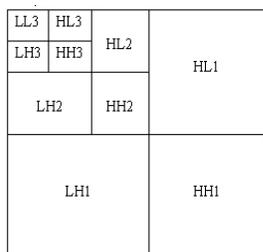


图 1 基于小波变换的原始图像的 3 级多分辨率分解

增加, 其重要性也随之增加, 在同一尺度下, 水平、垂直子图的重要性稍高于对角子图, 人眼对水平、垂直分量上的变化比对角分量上的变化要敏感。

### 3.2 水印的嵌入算法

(1) 对原始图像  $f(x,y)$  用双正交 7/9 小波对图像进行 3 级分解。得到低频分量小波系数  $f(LL_n, x, y)$ 、水平分量小波系数  $f(LH_n, x, y)$ 、垂直分量小波系数  $f(HL_n, x, y)$  和对角分量小波系数  $f(HH_n, x, y)$ ,  $n=1,2,3$ 。

(2) 将文字水印  $w(x,y)$  进行一级小波分解, 得到低频分量小波系数  $w(LL, x, y)$ 、水平分量小波系数  $w(LH, x, y)$ 、垂直分量小波系数  $w(LH, x, y)$  和对角分量小波系数  $w(HH, x, y)$ 。

(3) 对小波变换后的原始图像的第二级的高频子带和第三级高频子带的对角分量上进行水印的加法嵌入算法处理:

$$F'(x, y) = F(x, y) + \alpha w(x, y)$$

其中  $f'(x,y)$  是嵌入水印图像的小波系数,  $f(x,y)$  是原始图像的小波系数,  $\alpha$  用来控制嵌入的文字水印强度,  $\alpha$  取值大, 水印稳健, 但水印对原图像影响明显即水印视觉不可觉察性差; 反之,  $\alpha$  取值小, 水印不可觉察性好, 但水印弱。实验中利用人眼视觉掩蔽特性来折衷选取  $\alpha$  值。  $w(x,y)$  是在原始图像的位置上嵌入的水印小波系数值。

(4) 用全部的小波系数进行小波逆变换, 得到含有水印信息的重构图像。

### 3.3 水印的提取算法

(1) 对嵌入水印图像  $f'(x,y)$  进行三级小波分解, 得到低频分量小波系数  $f'(LL_n, x, y)$ 、水平分量小波系数  $f'(LH_n, x, y)$ 、垂直分量小波系数  $f'(HL_n, x, y)$  和对角分量小波系数  $f'(HH_n, x, y)$ ,  $n=1,2,3$ 。同理对原始图像进行三级小波分解。

(2) 对小波变换后的含水印图像和原始图像进行水印的提取算法处理:

$$w(x, y) = (F'(x, y) - F(x, y)) / \alpha$$

在计算水印的低频分量小波系数时, 可从原始图像的两个小波分解子带得到该系数, 将得到的两个值的平均值作为最后的水印的低频小波系数。

(3) 将得到的水印小波系数作小波逆变换, 得到提取出的水印图像。

## 4. 实验与结论



(a) 原始图像



(b) 水印



(c) 嵌入水印图像



(d) 提取的水印

图 2 原始图像及嵌入水印图像

在实验中对标准 256x256 的 Lena 图像进 (下转第 113 页)

户认证必须开启 80 端口, 而该端口安全性较差, 很容易受到网络的攻击, 致使设备瘫痪, 因此该认证计费系统安全性较差, 网络运行效率不高。

### 3. 802.1X+Radius 认证计费系统

该系统由 802.1X 客户端、支持 802.1X 协议的交换机、Radius 认证计费服务器构成。每台用户计算机上必须安装相应的 802.1X 客户端软件, 用户的认证流通过接入层交换机及核心交换机提交到 Radius 认证计费服务器, 由服务器进行身份认证。通过身份认证后, 接入层交换机的对应端口才会自动开启, 允许用户接入网络。802.1X+Radius 认证计费系统的结构图如图 3 所示。

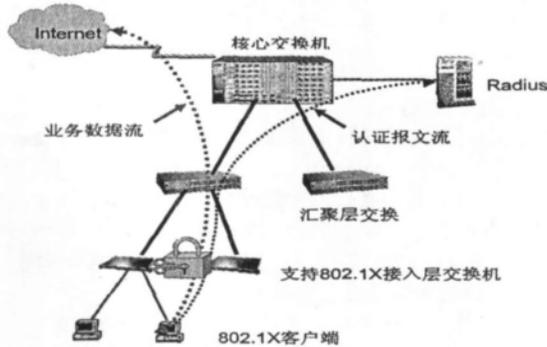


图 3 802.1X+Radius 认证计费系统

由图 3 所示可以看到, 该系统的认证数据流和业务数据流是分开的, 系统中没有 BAS 设备, 用户只需经过 Radius 服务器认证后, 就可以正常上网, 因此网络效率较高。该系统中, 用户只有经过身份认证后, 接入层交换机才会开启相应的端口, 系统的接入控制较严格, 因此系统的安全较高。

从以上三类校园网常用的认证计费系统相互比较来看, 802.1X+Radius 认证计费系统无疑是一个高效、安全的认证计费系统, 在校园网络中有推广应用的价值。目前国内外众多交换机厂商均开发了 802.1X 的认证计费系统, 并在各大中专院校校园网内推广使用, 取得了较好的成功经验。

### 3. 我院校园网 802.1X 认证计费系统的应用

我院校园网第一期工程于 2002 年 7 月开始实施。第一期校园网工程的认证计费系统在进行多方考察和对比后, 决定采用锐捷网络公司的 802.1X 认证计费系统。实施 802.1X 认证计费系统的 2 年多时间内, 校园网运行稳定, 每月收取的上网费用可以解决校园网电信出口的租用费, 基本上实现“以网养网”的目标。

#### 1. 计费策略的制定

学院为了最大化地利用校园网的出口带宽, 实现“以网养网”的策略, 为此制定了“包月+流量”的计费策略。除了办公和教学以外的普通用户, 访问校园网内的资源不计费, 只有访问 INTERNET 网络才计费, 每月的基本费用是 20 元, 赠送固定流量为 1G, 超过额定流量部分将按 0.05 元/M 进行计费。对于教职工

用户, 中层领导、学术带头人等将每月加 500M 流量。通过实施这种计费策略, 有效地扼制学生用户疯狂到外网下载电影和软件的行为, 使出口带宽得到充分利用。为了满足学生对电影、音乐、软件的要求, 校园网内专门组织学生构建了内容丰富的电影、音乐、软件网站。

#### 2. 802.1X 认证计费系统应用体会

经过两年多的运行, 我们深切地体会到锐捷网络公司的 802.1X 认证计费系统许多优越之处, 它具有功能强大、安全性好等优点。

##### (1) 具有“六元素”的绑定功能, 实现严格的接入控制

“六元素”绑定是指账号绑定、IP 地址绑定、MAC 地址绑定、端口绑定、VLAN 绑定、接入层交换机绑定。通过“六元素”绑定可以有效地解决账号盗用和 IP 地址冲突问题。严格的接入控制也有利用用户按时缴费, 对网络安全事件能准确地定位用户的位置。

##### (2) 具有良好的防用户代理功能, 保证校园网的投资

校园网内学生宿舍用户经常通过代理方式上网, 从而导致开通一个账号后多个人同时使用的状况。这种现象对校园网的收费影响很大, 另外也会造成发生网络安全事件后, 无法准确地定位上网用户。锐捷网络的 802.1X 客户端软件会自动监测计算机上运行的代理进程, 一旦发现就会自动断开网络连接, 从而实现较好的防止用户代理的功能。

##### (3) 支持多种计费策略, 满足各类用户接入需求

锐捷网络的 Radius 认证计费系统可以支持预付费、包月、计时长、计流量等多种策略, 也可以对各类人群制作不同的计费策略, 还具有账单处理功能。

##### (4) 可以实现实时上网用户的监测, 保证网络安全运行

锐捷网络的 Radius 认证计费系统提供了实时监测功能, 可以掌握上网用户人数及每个上网账户的详细信息。根据这些信息可以掌握整个校园网的运行状况, 并且发生网络安全事件时可以准确地定位上网用户的位置。我院校园网账户名称均以楼栋号和宿舍号命名的, 因此只要知道了用户账户, 也就知道了用户上网的位置。

### 4. 结束语

目前我院接入校园网的用户数已达到 3000 多, 出口带宽为 100M, 自从实施 802.1X 认证计费系统后, 一直运行稳定, 网络出口顺畅, 没有出现拥塞现象, 得到我院广大师生的一致好评。由于实施科学、合理的计费策略, 既充分地利用了校园网内的各种资源, 也使校园网的投资得到较好地保障, 实现“以网养网”的策略。

#### 参考文献:

1. 王志毅, 刘俊芳. 基于 RADIUS 协议的校园网计费系统设计. 高等函授学报: 自然科学版, 2003 年 16 卷 5 期
2. 周星, 柳超. 校园网计费系统的设计与实现. 教育信息化, 2003 年 卷 12 期

(上接第 90 页)

行了三级小波分解, 小波基函数采用双正交 7/9 小波, 水印图像是 32×32 二值文字图形,  $\alpha$  取 0.15, 原始图像及嵌入水印图像见图 2。可见, 利用小波变换快速、简单和高分辨率的特点, 选取合适的水印参数, 将水印信号隐藏在图像的第二级的高频子带和第三级高频子带的对角分量上, 原图像和水印化图像从主观视觉效果上感觉不到图像的变化, 人眼很难分辨出它与原图像的差别, 保证了水印的鲁棒性和水印隐蔽性要求。

#### 参考文献:

1. 李弼程, 罗建书. 小波分析及其应用 [M], 电子工业出版社, 2003.5
2. 王颖, 黄志蓓等译. 数字水印 [M], 电子工业出版社, 2003.7
3. 刘瑞祯, 谭铁牛. 数字水印研究综述 [J], 通信学报, 2000.21(8): 39-48
4. 成礼智, 郭汉伟. 小波与离散变换理论及工程实践 [M], 清华大学出版社, 2005.1
5. F Hartung, M Kutter, Multimedia Watermarking Techniques [J], Proceeding of the IEEE, 1999.87(7):1079-1107