

基于小波变换的数字水印图像处理技术研究

雷求胜

(湖南信息学院 电子信息学院, 湖南 长沙 410151)

摘要: 针对当前数字媒体信息受剽窃、盗用等侵权行为的不发生, 数字水印技术便是一项由此应运而生的新兴技术。为了改善数字水印技术对外界几何攻击的抵抗能力, 提出基于小波变换的数字水印图像处理技术。文中对数字水印技术的基本概念、基本算法以及评价标准进行了相关介绍, 并在此基础上提出了基于小波变换的数字水印算法。该算法通过二维离散小波变换将图像进行分解, 然后在不同方向做插值, 将具有不可感知性、抗检测性、鲁棒性的数字水印嵌入到数字载体中, 且不影响数字产品的视觉效果, 在发生侵权行为时, 能提取出完整的水印信息。通过仿真测试, 该算法在各种攻击测试中表现良好, 提取出的水印状况良好, 具有较高透明度和稳定性。

关键词: 数字水印; 小波变换; 鲁棒性; Mallat 算法

中图分类号: TN957.52

文献标识码: A

文章编号: 1674-6236(2021)22-0161-05

DOI: 10.14022/j.issn1674-6236.2021.22.034

Research on digital watermarking image processing technology based on wavelet transform

LEI Qiusheng

(College of Electronic Information, Hunan University of Information Technology, Changsha 410151, China)

Abstract: In view of the current digital media information by plagiarism, embezzlement and other violations occur, digital watermarking technology is a new technology emerged from this. In order to improve the resistance of digital watermarking technology to external geometric attacks, a digital watermarking image processing technology based on wavelet transform is proposed. This paper introduces the basic concepts, basic algorithms and evaluation criteria of digital watermarking technology, and proposes a digital watermarking algorithm based on wavelet transform. The algorithm decomposes the image by two-dimensional discrete wavelet transform, and then interpolates in different directions. The digital watermark with imperceptibility, anti detection and robustness is embedded into the digital carrier, which does not affect the visual effect of digital products. In case of infringement, it can extract the complete watermark information. Through the simulation test, the algorithm performs well in various attack tests, the extracted watermark is in good condition, and the watermark has high transparency and stability.

Keywords: digital watermarking; wavelet transform; robustness; Mallat algorithm

传统的信息加密手段是通过对待发布的数据信息进行加密处理后, 再进行传播的方式来保护

信息和数据安全, 但问题在于, 一旦数据被接收并破解后, 这种保护作用便一并消失, 只能满足使用者有限的要求和权益, 再加上这类加密只能判别

收稿日期: 2020-08-16 稿件编号: 202008081

基金项目: 湖南省教育厅科学研究重点项目(18A511)

作者简介: 雷求胜(1979—), 男, 湖南宁远人, 硕士研究生, 讲师。研究方向: 电子信息处理、软件无线电。

-161-

信息是否被篡改,而不能找出被篡改的地方,因此,传统的方法不能有效地解决多媒体数字信息的安全问题。

于是数字水印技术进入了学者们的视野,它有效解决了传统数字加密技术的缺点和不足,通过将水印信息隐藏在多媒体数字信息文件中,既可以对数据加密又具有隐藏性。在对含有水印的多媒体数字文件作相应变换或几何攻击后,可以提取出相对完整的水印数据,且载体的数字文件感觉不出有任何视觉上的区别^[1]。

小波变换是一种建立在短时傅里叶变换理论基础上的分析技术,在时域(空域)和频域上均具有极佳的局部化特性^[2],将小波变换的多分辨率特性应用于数字水印技术,可以有效提高信息隐藏的鲁棒性、安全性和抗恶意攻击能力,从而实现版权保护的目。因此文中选择研究基于小波分析技术的数字水印算法,兼具理论意义和实际应用价值。

1 数字水印技术基本概念

数字水印技术是计算机信息隐藏技术,是一种基于内容而不是密码机制的技术。它是将一些相关标识直接嵌入数字载体当中或进行间接表示,不影响原载体中的信息,且不容易被识别、提取和修改,能起到防盗版和侵权的作用^[3]。

1.1 信息隐藏技术

信息隐藏技术指在通信传输过程中,利用人眼视觉特性、数字媒体自相关性和统计存在的数据冗余性,将隐秘信息嵌入数字载体中,而不影响原载体的质量,又不易被察觉,以达到保护隐秘信息,完成安全传输的目的^[4-5]。

与传统密码学技术不同,信息隐藏技术的原理是将机密信息嵌入公开信息之中,且在传输公开信息时不易被不法分子察觉识别;而传统密码学则使用特定编码方式加密待传输的秘密信息,确保即使加密信息被抓取,拦截者也只能拿到无法轻易解密的无意义乱码,但这类秘密信息通常极为“显眼”,因此非法盗取者能对加密信息进行高强度破坏,以致于用正确的解密方式解密出来的信息却不正确。

信息隐藏技术涉猎领域极广,不仅包括军事、经济、文化等方面,而且分支众多,包括隐写术、可视密码技术、数字水印技术、隐匿协议等,其中数字水印

技术作为新兴的信息隐藏技术获得了越来越多的关注,已成为保护信息安全的重要手段。

1.2 数字水印的特点

一般而言,数字水印具备以下特点^[6]:

1)鲁棒性:水印系统经过常规的信号处理并完成传输后,仍能提取出正确、完整水印的能力。

2)不可感知性:水印信息和载体信息结合后,载体信息的视觉效果不受影响,且人眼无法察觉原始图像与水印图像间的差异。

3)安全性:在鲁棒性的基础上,能抵抗恶意攻击和故意改动的要求。

4)水印容量:在原始图像不产生形变的情况下能够嵌入的最大水印数据量。

水印所含信息必须足以表示创作者的标志信息,以便在产生版权纠纷时,保护其合法利益。

1.3 数字水印的基本原理和框架

1.3.1 数字水印的生成技术

数字水印技术是通过信号处理,将具有不可感知性、抗检测性、鲁棒性的数字水印嵌入到数字载体中,同时不影响原载体应用价值的编码技术,通过提取隐藏的信息,能达到保护创作者知识产权的目的。构成数字水印的核心是数字水印生成、嵌入和提取三部分^[4]。无论哪种算法,其首要步骤都是生成水印。水印又分有意义和无意义两种。前者一般是创作者的个人标签(文字、数字)等,生成水印便是对这些标签进行预处理的过程;后者通常是伪随机实数序列和 Gaussian 白噪声等随机序列。

1.3.2 数字水印的基本框架

生成数字水印的算法完成后,进行数字水印的嵌入和提取,需要选择合适的水印嵌入方法将标识信息嵌入到数字多媒体文件中,不影响数字产品的视觉效果,且在发生侵权行为时,能提取出完整的水印信息。

水印嵌入模型如图1所示。

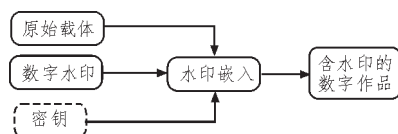


图1 水印的嵌入模型

水印的提取是嵌入过程的逆变换,非盲提取算法需要原始载体与嵌入水印的数字作品的协助来提取水印信息,其提取模型如图2所示。

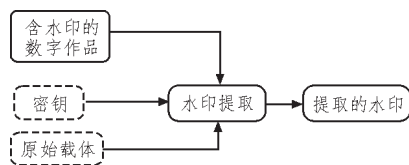


图2 水印的提取模型

2 小波分析理论基础

2.1 小波分析理论概述

小波变换是基于傅里叶变换、Gabor 变换的新型时-频分析方法,它不仅继承了傅里叶分析的良好性质,还解决了傅里叶分析的诸多不足^[2]。小波变换的时频窗口大小是固定的,波形能根据分析要求进行局部改变,具有自适应性,分析信号的高频部分时,小波分析显示较低的频率分辨率;在分析信号的低频部分时,小波分析就显示出较高的频率分辨率^[2]。在图像处理、模式识别、量子力学等领域有着不可取代的地位^[4]。

小波是指小的波形。其中“小”是指它具有衰减性,会逐渐减小;而“波”是指它具有波动性,从图中可观测出其是有一定振幅的振荡波形。也就是说,小波必须具备两个特性:1)小波必须是振荡的;2)小波必须是局部化的。其时域、频域如图 3(a)、(b)所示。

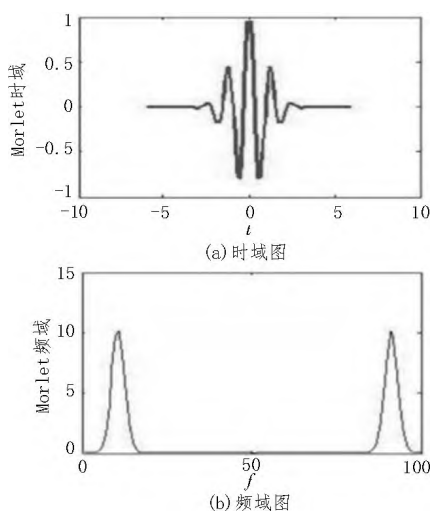


图3 小波的时域、频域图

2.2 多分辨率分析与 Mallat 算法

2.2.1 多分辨率分析

多分辨率是小波分析理论中最重要的组成部分之一,其原理是将一个函数分解为低频分量与不同分辨率下的高频分量。

其基本思想是将 $L2(R)$ 用它的子空间 V_j 、 W_j 表

示,其中 V_j 、 W_j 分别称为尺度空间和小波空间。设 $\{V_j\}_{j \in \mathbb{Z}}$ 是 $L2(R)$ 的一个闭子空间序列, $\{W_j\}_{j \in \mathbb{Z}}$ 称为 $L2(R)$ 的一个多分辨率分析(MRA)^[5]。

在多分辨率分析中, V_j 称为逼近空间,把平方可积的函数 $f(t) \in L2(R)$ 看成是极限情况的逐级逼近。每次逼近都是用一个低通平滑函数 $\varphi(t)$ 对 $f(t)$ 作平滑的结果,平滑函数 $\varphi(t)$ 在逐级平滑时也作逐级逼近,这就是多分辨率的原理,即用不同分辨率来逐级逼近待分析函数 $f(t)$ ^[6-10]。

2.2.2 Mallat 算法

Mallat 算法是典型的快速小波变换算法,设计简单、运算快捷,在实际应用中为研究人员所青睐,是一种非常重要的算法。

双尺度方程可表示为:

$$\begin{cases} \varphi(x) = \sqrt{2} \sum_{k \in \mathbb{Z}} h_k \varphi(2x - k) \\ \psi(x) = \sqrt{2} \sum_{k \in \mathbb{Z}} g_k \varphi(2x - k) \end{cases} \quad (1)$$

2.3 图像的多分辨率分解与重构

2.3.1 图像的分解

图像的分解实际上就是一个二维离散小波变换的过程,使用 $f(x, y)$ 来表示离散图像 M 、 N 的小波变换:

$$W_\varphi(j_0, m, n) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \varphi_{j_0, m, n}(x, y) \quad (2)$$

$$\psi_V W_\psi^i(j_0, m, n) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \psi^i_{j_0, m, n}(x, y) \quad (3)$$

2.3.2 图像的重构

图像的重构就是小波变换的逆过程,实际上是在不同的方向上做插值。二维图像的重构示意图如图 4 所示。

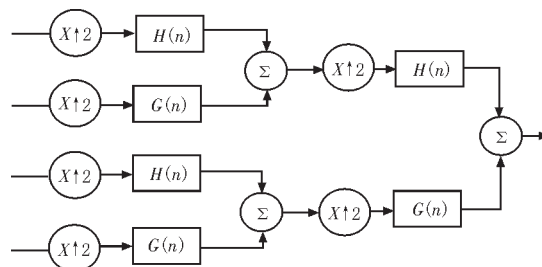


图4 重构示意图

3 数字水印嵌入

3.1 小波变换在数字水印中的应用

基于小波变换的数字水印技术由于其良好的时频特性,近年来已成为图像水印技术的热点。其优

势主要表现为:

1)可保证在“JPEG-2000”有损压缩下,水印不会被消除;

2)能将视觉特性的研究成果应用到水印技术;

3)有直接在压缩域中嵌入水印的可能性。

4)小波的多分辨率分析和人眼视觉特性是一致的,天然具备良好的不可感知性。

在图像处理中,小波分析技术能将需要分析的图像分解成不同频率子图像,而子图像的能量和数据量之和始终与原图像相同。除此之外,小波分析技术在增强数字水印的鲁棒性方面表现良好,还可用于做图像降噪、图像平滑、图像增强及图像压缩等处理。

根据小波的多分辨率分析思想,图像小波变换的低频子带集中了图像大部分能量,水印可直接嵌入到低频部分,能确保经过有损压缩、低通滤波、图像尺度变换等信号处理操作后,水印仍有良好的鲁棒性^[11-16]。

3.2 基于小波变换的数字水印

3.2.1 生成数字水印

文中所选择的算法是从大小为 256×256 的原始图像中截取出 64×64 像素大小的图块,将其转化为“0,1”的二值图像,然后嵌入水印信息(文本或图像)生成水印图像。其结构如图5所示。

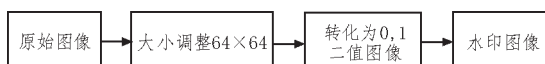


图5 水印生成模型

水印的原始图像与生成的水印二值图像的对比如图6(a)、(b)所示。



图6 水印二值图像

3.2.2 嵌入数字水印

基于小波分析的水印算法在嵌入水印位置方面,大致分为两种观点:高频部分和低频部分。一种认为低频部分集中了图像的大部分能量,而人眼对低频部分较敏感,基于水印的不可感知性,水印信息

应该隐藏在低频部分的高频系数中;另外一种则认为低频部分系数振幅大,具有较大的感觉容量,能够容纳更多的水印信息,只要迭加的水印信号低于人眼最小可觉差值,人眼就无法感知,因此水印信息应隐藏于小波分解的低频信号里。

文中算法选择将数字水印嵌入原始图像二级小波分解后的低频系数中,其完整的嵌入模型如图7所示。

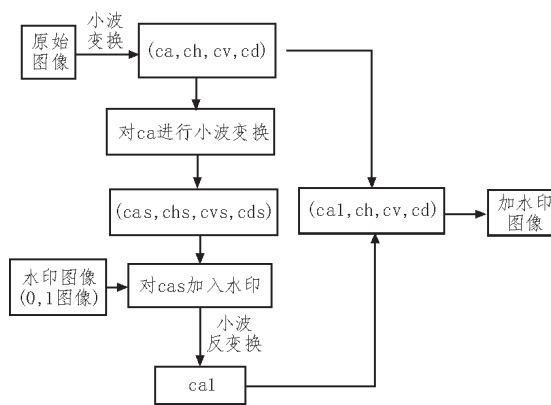


图7 水印完整的嵌入模型

3.2.3 提取数字水印

前文已提到非盲提取算法需要原始图像的参与,文中算法提取水印的具体步骤如下^[8]:

1)读取未加水印的图像: `image1 imread('timgl.jpg');`

2)读取加水印的图像: `imaged imread('watermarked.bmp','bmp');`

3)将图像分别进行两层小波变换:

$[ca, ch, cv, cd] = \text{dwt2}(\text{image1}, 'db1');$; $[cas, chs, cvs, cds] = \text{dwt2}(ca, 'db1');$;

$[caa, chh, cvv, cdd] = \text{dwt2}(\text{imaged}, 'db1');$; $[caas, chhs, cvvs, cdds] = \text{dwt2}(caa, 'db1');$;

4)将水印嵌入算法进行逆变换,根据 $a = caas(p, q) / cas(p, q) - 1$ 进行判断,若 $a \geq 0$,则 $W(p, q) = 1$;若 $a < 0$,则 $W(p, q) = 0$;

5)输出 W ,得到提取的水印。

提取出的图像如图8(a)、(b)所示。

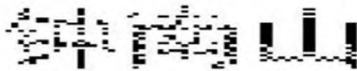
分析如下:对提取的水印图像进行观察后,肉眼能明显看出水印信息,表明该算法提取出的水印状况良好,水印具有较高透明度和稳定性。

4 结 论

在互联网技术和通信技术发展越发迅速的现



(a) 嵌入水印的图像



(b) 提取的水印

图8 提取的水印

代,数字媒体技术被应用到生活各方各面的同时,版权保护问题也越发受到重视。在这种趋势下,如何对发布在互联网上的音频、图像、视频等多媒体内容的版权进行有效保护已成为热门课题,数字水印技术作为一种强有力的手段,获得了国内外学术界的广泛关注和重视。

文中针对数字水印的不可感知性和鲁棒性,基于小波变换理论提出了改进后的数字水印算法。通过各种攻击测试,可见文中的改进算法基本实现了原本的研究目标,证实了该算法的可行性及实用性,对以后的相关研究有一定借鉴意义。

参考文献:

- [1] 成宇.基于DCT和最佳的嵌入强度因子的数字水印算法的研究[D].天津:天津工业大学,2017.
- [2] 杨焱婷.基于小波变换的数字水印算法的研究与实现[D].成都:成都理工大学,2017.
- [3] 黄俊霞.基于离散余弦变换的数字图像水印技术研究[J].计算机光盘软件与应用,2018(24):47-49.
- [4] 唐黎标.数字水印技术在防伪印刷中的应用[J].印

- 刷质量与标准化,2016(2):47-48.
- [5] 胡羽坤.数字水印篡改盲识别算法研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2019.
- [6] 柳雨农.基于像素直方图移位的数字图像无损信息隐藏算法[D].西安:长安大学,2019.
- [7] 魏雅慧,林宇驰,李成伟,等.基于MATLAB的数字图像水印系统开发与算法讨论[J].山东工业技术,2019(11):130.
- [8] 刘盼,袁影影,赵蒙蒙.数字水印技术及其攻击防御方法研究[J].软件导刊,2016(6):198-199.
- [9] 张地.基于数字水印和图像纹理特征的版权保护系统的研究与实现[D].北京:北京邮电大学,2018.
- [10] 张晓琪,胡振,唐天国,等.一种复合加密的小波变换图像数字水印技术研究[J].电子技术与软件工程,2018(5):66-68.
- [10] 戚娜.数字水印的相关应用研究[J].电子设计工程,2017,25(1):152-154.
- [12] 李红丽,许春香,马耀锋.基于多核学习SVM的图像分类识别算法[J].现代电子技术,2018,41(6):50-52,56.
- [13] 刘文涛,颜加强,宋志勇,等.基于半色调数字图像的抗打印的水印算法研究[J].齐鲁工业大学学报,2017,31(6):69-73.
- [14] 王重英.基于半色调数字图像的水印技术[J].信息与电脑,2017(24):21-22,31.
- [15] 刘涤.一种基于离散余弦变换的数字水印算法及实现[J].科技经济刊,2017(35):4-5.
- [16] 杨雨薇,张亚萍.一种改进的SIFT图像检测与特征匹配算法[J].云南大学学报(自然科学版),2017,39(3):376-384.

欢迎投稿! 欢迎订阅! 欢迎刊登广告!

国内刊号: CN61-1477/TN

国际刊号: ISSN 1674-6236

在线投稿系统: <http://mag.ieechina.com>

dzsjgc@vip.163.com (广告)

地 址: 西安市劳动南路210号5-1-3信箱

邮政编码: 710082