

基于一次 Bézier 曲线和 Chebyshev 神经网络的 DCT 彩色盲水印算法*

陈科尹, 孙树森

(浙江理工大学 信息电子学院, 浙江 杭州 310018)

摘要: 提出了一种基于一次 Bézier 曲线和 Chebyshev 神经网络离散余弦变换 (DCT) 的彩色图像盲水印算法, 载体图像和水印信息都是彩色图像。

关键词: 一次 Bézier 曲线; Chebyshev 神经网络; 盲数字水印; 离散余弦变换; 小波分解; Logistic 混沌置乱

中图分类号: TP309

文献标识码: A

A DCT blind watermarking algorithm of the color image based on a Bézier curve and the Chebyshev neural network

CHEN Ke Yin, SUN Shu Sen

(School of Information and Electronics, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: This paper presents a Discrete Cosine Transform (DCT) blind algorithm based on a Bézier curve and the Chebyshev neural network. Both the host image and the watermark are color images.

Key words: a Bézier curve; Chebyshev neural network; blind digital watermarking; discrete cosine transform; wavelet decomposition; Logistic chaotic scrambling

随着多媒体技术和网络技术的快速发展与广泛应用, 对多媒体数字产品的版权进行保护已成为迫切需要解决的问题。传统的加密技术^[1-2]已经不足以解决问题, 而数字水印技术^[3]显示出了其巨大的应用潜力。根据水印所嵌入域的不同, 可以把数字图像水印分为 2 类: 一类是在空间域中嵌入水印; 另一类是在变换域中嵌入水印, 如 DCT 变换域、DFT 变换域或 DWT 变换域等。但是, 目前提出的水印算法多数是针对灰度图像, 而水印是二值图像的, 彩色图像数字水印算法尚未得到充分研究。虽然, 灰度图像仅由代表亮度信息的像素组成, 不含色彩信息, 在其中嵌入水印不会产生新的颜色分量, 便于操作。但现实生活中彩色图像更为常见, 所以在其中嵌入含有更丰富信息的彩色图像水印的研究显得更为重要和迫切。针对这种情况, 本文在前人对彩色图像水印研究^[4-6]的基础上, 提出了一种基于一次 Bézier 曲线和 Chebyshev 神经网络的 DCT 彩色图像的盲数字水印

算法。首先, 把原载体彩色图像从颜色空间 RGB 转换到颜色空间 HSV; 然后, 对彩色数字水印图像进行三基色分离, 并对每个颜色分量进行 Logistic 混沌置乱; 最后, 结合人类视觉系统(HVS)特性, 把置乱的每个颜色分量的小波分解后的对矩阵元素根据一次 Bézier 曲线添加到原载体彩色图像的颜色空间 HSV 的亮度分量 V 的 DCT 中频子带系数中, 并且进行 Chebyshev 神经网络训练。

1 彩色图像颜色空间的选取

色度学理论认为, 任何颜色都可以由红(R)、绿(G)、蓝(B)3 种基本颜色按照不同的比例混合得到。红、绿、蓝被称为三基色, 简称 RGB 三基色。由它们组成的颜色空间, 称为 RGB 颜色空间。RGB 颜色空间属于线性空间坐标系, R、G、B 颜色分量呈现线性相关, 有利于保存图像像素颜色之间的线性关系, 但不利于人们对彩色布局直觉。HSV 颜色空间是欧洲电视系统广泛采用的颜色空间, 其基本特征是将亮度信号与色度信号分开表示。V 表示亮度, H 和 S 是 2 个彩色分量表示色差, 描述图像

* 基金项目: 浙江省自然科学基金启动项目(Y107023)

综述与评论 Review and Comment

色彩及饱和度的属性。HSV 颜色空间属于非线性空间坐标系, H、S、V 颜色分量呈现线性无关, 空间距离符合人眼的视觉特征。因此, 本文载体彩色图像选择 HSV 颜色空间, 而水印彩色图像选择 RGB 颜色空间, 这样有利于提高水印算法的透明性和稳健性。

2 一次 Bézier 曲线的水印嵌入、提取和 Logistic 混沌水印置乱

一次 Bézier 曲线的定义为: $p(t)=(1-t)p_0+tp_1, t \in [0, 1]$, 它表示一条以 p_0 和 p_1 为端点的线段。本文就是根据一次 Bézier 曲线的定义来嵌入和提取水印, 水印嵌入和提取公式如下:

$$g=\lambda \times m+(1-\lambda) \times f, 0<\lambda<1 \quad (1)$$

$$m=(g-f) / \lambda \quad (2)$$

其中, g 为嵌入水印后的图像, f 为原始图像, m 为水印图像, λ 为水印强度。由于一次 Bézier 曲线具有连续光滑和局部收敛的特性, 所以按照一次 Bézier 曲线嵌入水印, 其水印算法具有很好的透明性、可恢复性和鲁棒性, 并且水印信息的嵌入量比较大。

为了增强水印算法的鲁棒性, 水印在嵌入之前需进行置乱处理。在数字图像的置乱方面有 Logistic 混沌变换、Arnold 变换、幻方、Hibert 曲线、Conway 游戏、Tangram 算法、IFS 模型、Gray 码变换、广义 Gray 码变换等。而利用 Logistic 混沌变换, 变换后的图像相邻像素的相关性更小, 抗攻击的免疫性强, 具有良好的安全性。本文采用 Logistic 混沌变换^[7]进行置乱。

3 Chebyshev 神经网络

BP 神经网络是基于误差反向传播的多层前向神经网络, 已成为目前应用最为广泛的神经网络学习算法。通过输入输出样本集的训练, 可实现从输入到输出的任意非线性映射, 其实质是采取最快梯度下降法来实现映射关系的逼近。在原先 BP 3 层模型^[8]作为神经网络的训练模型基础上, 本文提出了基于 Chebyshev^[10]的 BP 网络模型(8-5-1 结构), 即包含 8 个输入、1 个 5 个结点隐含层和 1 个输出结点的输出层。在 3 层 BP 神经网络中改进隐含层中的激励函数为一组正交的 Chebyshev 函数, 提高了隐含层和外层的逼近程度。实验结果也证明, 用改进的 BP 神经网络模型作为训练模型能更好地实现水印的盲提取。

4 水印的嵌入和提取

以 $M \times N$ 的原始彩色 RGB 图像 I , 大小为 $p \times q$ ($p=40, q=40$) 的彩色水印图像 W 为例描述本文的算法。

4.1 水印嵌入

(1) 将 I 由 RGB 颜色空间转换到 HSV 空间, 取其亮度分量 V , 记为 I_V 。

(2) 将 I_V 分割为互不覆盖的小块 $block(x, y), 0 \leq x, y \leq 7$, 对 $block(x, y)$ 进行以 DCT 变换, 得到 $block_dct(x, y)$ 。

(3) 对彩色水印 W 进行三基色分离, 得到 R、G、B 3 个颜色分量。

(4) 依次对每个颜色分量进行 Logistic 混沌置乱, 并进行 Haar 小波分解, 得到近似系数矩阵、水平细节系数矩阵、垂直细节系数矩阵、对角细节系数矩阵, 分别记为 CA_1, CH_1, CV_1, CD_1 。

(5) 将 CA_1, CH_1, CV_1, CD_1 向量化, 分别记为 $message_pad_1, message_pad_2, message_pad_3, message_pad_4$ 4 个向量, 向量的长度为 $\frac{p}{2} \times \frac{q}{2}$ 。

(6) 对每个分块 $block_dct(x, y)$ 进行 ZigZag 扫描, 取出中频系数。

(7) 分别取 $message_pad_1, message_pad_2, message_pad_3, message_pad_4$ 中的 1 个元素, 嵌入到每个分块 $block_dct(x, y)$ 的中频系数中, 并且进行神经网络训练以及保留神经网络训练模型。

(8) 对每个分块 $block_dct(x, y)$ 进行反 ZigZag 扫描, 还原 $block_dct(x, y)$ 的中频系数的原来位置。

(9) 对嵌入水印信息后的小块 $block_dct(x, y)$ 进行反 DCT 变换, 记为 $block'(x, y)$ 。

(10) 合并小块 $block'(x, y)$, 记为 I'_V 。

(11) 将 I'_V 转换到 RGB 颜色空间, 得到嵌入水印后的图像 I' 。

4.2 水印提取

(1) 将含有水印信息的图像 I' 转换到 HSV 空间, 取其亮度分量 V , 得到 I'_V 。

(2) 将 I'_V 分割为互不覆盖的小块 $block'(x, y), 0 \leq x, y \leq 7$, 并进行以 DCT 变换, 得到 $block_dct'(x, y)$ 。

(3) 对每个分块 $block_dct'(x, y)$ 进行 ZigZag 扫描, 取出中频系数。

(4) 依据保留神经网络训练模型, 恢复原来的每个分块 $block_dct(x, y)$ 。

(5) 对每一小块 $block_dct'(x, y)$, 依据嵌入水印时的嵌入过程, 进行逆运算, 依次得到 $message_pad'_1, message_pad'_2, message_pad'_3, message_pad'_4$ 4 个向量, 向量的长度为 $\frac{p}{2} \times \frac{q}{2}$ (p, q 为原水印图像行像素数和列像素数)。

(6) 分别将 $message_pad'_1, message_pad'_2, message_pad'_3, message_pad'_4$, 还原为矩阵, 得到近似系数矩阵、水平细节系数矩阵、垂直细节系数矩阵、对角细节系数矩阵: $CA'_1, CH'_1, CV'_1, CD'_1$ 。

(7) 将 $CA'_1, CH'_1, CV'_1, CD'_1$ 进行 Haar 小波合成, 并对合成后的分量进行 Logistic 混沌置换还原, 将得到一个颜色分量。

(8) 依据上述步骤, 依次得到颜色分量 R', G', B' 。

(9) 将颜色分量 R', G', B' 进行三基色合成, 即得到提取出的水印 W' 。

5 实验结果与分析

实验采用 256×256 的 24 bit 真彩色 lena 图像作为原

综述与评论 Review and Comment

始载体图像如图 1 所示。选用有意义的彩色图像作为水印图像(40×40)如图 2 所示。为了客观地评价含有水印载体图像和水印的质量,分别采用峰值信噪比(PSNR)、图像相似度(NC)^[11]来度量。PSNR 值越大,水印透明性越好;NC 值越大,提取的水印越清晰,水印算法越稳健。本算法中原始载体图像与含有水印载体图像的峰值信噪比(PSNR)为 42.2279,符合人眼视觉要求。在稳健性方面,本算法能够较好地抵抗噪声、剪切、旋转、JPEG 压缩等攻击。



图 1 原载体图像



图 2 含有水印载体图像

对含有水印的载体进行攻击,测试水印系统的抗攻击能力见表 1。

表 1 数字水印抗攻击能力量化表

攻击方式	参数	提取水印	峰值信噪比(PSNR)	相似度(NC)
无攻击	无		42.227 9	1
高斯噪声	均值为 0 方差为 0.05		42.217 8	0.989 5
椒盐噪声	3%		37.117 8	0.939 7
图像剪切	剪切 1/4		30.129 0	0.849 8
图像旋转	10		32.344 3	0.804 5
JPEG 压缩	质量因子 90		37.227 5	0.939 3
	质量因子 50		36.126 8	0.815 5

从实验结果可知,嵌入彩色水印信息后,原彩色图像与含有水印信息后的图像在视觉效果上没有明显区

别,用肉眼几乎分辨不出。这说明本算法充分利用了一次 Bézier 曲线的特性和人眼的视觉 HVS 特性,水印的透明性相当好,不影响图像的正常使用。本算法是利用 Chebyshev 神经网络以及 Logistic 混沌置乱来实现彩色图像的水印算法,所以提取水印不需要原始图像和原始水印,并且能够抵抗常见的噪声、剪切、旋转、JPEG 压缩等攻击。

参考文献

- [1] 杨义先,钮心忻.应用密码学[M].北京:北京邮电大学出版社,2005.
- [2] MAO W B. Modern cryptography: theory and practice[M]. Person Education,2003.
- [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] 凌贺飞,卢正鼎,杨双远.基于 YcbCr 颜色空间的二维 DCT 彩色图像数字水印实用技术[J].小型微型计算机系统,2005,26(3):482-484.
- [5] 郭志强,唐兵.一种彩色图像水印方法的抗攻击性能[J].武汉大学学报(工学版),2007,40(6).
- [6] 王坤,杨峰.一种改进的基于 DWT 的彩色图像水印算法[J].信息技术与信息化,2009,1(53).
- [7] 张永红,康宝生.基于 Logistic 混沌序列的图像加密算法[J].宁夏大学学报(自然科学版),2009,30(1).
- [8] 王剑,林福宗.基于人工神经网络的数字音频水印算法[J].小型微型计算机系统,2004(11).
- [9] 胡金艳,张太猛,陆从德,等.一种基于神经网络的小波域音频水印算法[J].陕西:西安交通大学学报,2003(4).
- [10] 邹阿金,张雨浓.基函数神经网络及应用[M].广州:中山大学出版社,2009.
- [11] 杨义先,钮心忻.数字水印理论与技术[M].北京:高等教育出版社,2006.

(收稿日期:2009-12-11)

作者简介:

陈科尹,男,1982年生,硕士研究生,研究方向为计算机视觉与图像处理。