

一种基于 DWT—SVD 的彩色图像水印嵌入方法

任小康, 范 丽, 白勇峰, 李颜瑞

(西北师范大学 数学与信息科学学院, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 为了进一步加强多媒体体的信息安全和版权保护问题, 文中基于离散小波变换和奇异值分解理论, 提出将 RGB 三色通道的水印图像分别嵌入到载体 RGB 三色通道中, 其特点是以彩色图像作为水印. 实验结果表明, 该算法水印具有不可见性好、嵌入信息量大、抗攻击能力强等特点.

关键词: 离散小波变换; 奇异值分解; 数字水印

中图分类号: TP393.08

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)01-0113-03

Research on the Color Image Watermarking Embedded Method Based on SVD—DWT Domain

REN Xiao-kang, FAN Li, BAI Yong-feng, LI Yan-rui

(College of Mathematics and Information Technology, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: In this paper, based on discrete wavelet transform and singular value decomposition theory, we embedded RGB watermark image in colour image. The experiment results indicate that the algorithm is characteristic of high time efficiency, good quality for watermarked image, large amount of information and excellent robustness.

Key words: discrete wavelet transform (DWT); singular value decomposition (SVD); digital watermarking

1 引言

随着互联网的广泛使用, 图像、音频和视频等多媒体的信息安全、版权保护等问题也变得越来越受到重视. 数字水印作为一种有效的数字信息版权保护新技术, 引起人们的广泛关注, 因此, 数字水印成为一个信息安全和版权保护领域的研究热点. 近年来, 如文献[1]和文献[2]利用 DWT 和 SVD 的特点提出了一些水印嵌入方法, 但在现实生活中使用的大多为彩色图像, 因此, 研究彩色图像的数字水印技术具有现实意义.

在对彩色图像数字水印的算法中, 一般是对彩色图像的 Y 分量嵌入水印^[3], 也有对彩色图像的绿色分量嵌入水印^[4]. 由于绿色分量嵌入水印能有效抵抗 JPEG 有损压缩, 而人类视觉系统对蓝色分量变化不敏感的特性, 文中将 RGB 三色通道有机结合, 提出一种对 RGB 三基色分别嵌入水印的思想,

并与奇异值分解思想相结合, 提出基于 DWT—SVD 的彩色图像水印新算法.

2 算法的理论基础

2.1 离散小波变换(DWT)

离散小波变换(DWT)是一种信号分析理论, 使用它对图像分解与重构, 将图像分解成不同空间、不同频率的子图. 有效的实现了人眼对图像多分辨率的描述, 并且能够实现图像中近似分量和细节分量的分离. 非常适合于图像水印技术的研究. 图像经过一次小波变换后被分解成 4 个频带: 低频分量、垂直分量、水平分量和对角分量, 低频部分还可以继续分解, 若进行 k 级分解, 可得到 $(3k+1)$ 个分量. 其中, 低频分量包含了原始图像的大部分信息, 是小波变换中在最小尺度、最小分辨率下对原图像的最佳逼近; 而垂直分量、水平分量和对角分量表示图像的边缘、轮廓和纹理等细节信息, 由此这三部分也被称为

细节分量。

图像的二级小波分解如图 1 所示. 图中左侧的 LL_2 表示低频分量, 高频分量分别是 HL_j 、 LH_j 、 HH_j ($j=1,2$), 分别包括了图像中垂直方向、水平方向、对角线方向的高频信息; 图 1 右侧是用 Matlab 做的 lena 图像的二级小波分解所得到的结果, 其各分量与左侧对应。

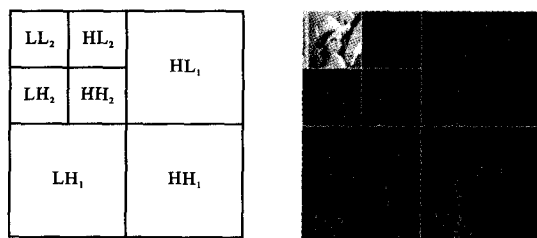


图 1 图像的小波分解示意图

由于低频分量对图像是很重要的, 有损压缩、低通滤波、图像缩放等攻击对这一部分数据造成的影响很小, 为了使嵌入的水印具有一定的鲁棒性, 文中将水印信息嵌入到图像经小波分解后的低频分量中。

2.2 奇异值分解(SVD)

矩阵的奇异值分解(SVD)是线性代数中最基本的工具之一, 是一种正交矩阵分解法。

在图像处理中使用奇异值分解主要是由于它具有以下特性: (1) 图像奇异值的稳定性非常好, 即当图像被施加小的扰动时, 图像的奇异值不会有大的变化; (2) 奇异值所表现的是图像的内蕴特性而非视觉特性, 反映的是图像矩阵元素之间的关系; (3) 图像分解得到的奇异值序列中第一个奇异值要比其它的大得多, 忽略这些较小的奇异值项重构的图像质量不会发生太大的退化. 如果改变第一个较大的奇异值, 会导致图像视觉质量的严重下降。

从线性代数的角度看, 一幅灰度图像可以被看成是一个非负矩阵. 若一幅图像用 A 表示, 定义为 $A \in R^{n \times n}$. 其中 R 表示实数域, 则 A 必存在正交矩阵 $U, V \in R^{n \times n}$, 使得:

$$A = USV^T \quad (1)$$

其中, $S \in R^{n \times n}$ 是一个非对角线上元素都是 0 的矩阵, 其对角线上的元素满足: $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_r > \sigma_{r+1} = \dots = \sigma_m = 0$, 其中 r 是 A 的秩, 它等于非负奇异值的个数. σ_i ($i=1,2,\dots,m$) 就叫做矩阵 A 的奇异值, 是 AA^T 特征值的平方根. 式(1)称为矩阵 A 的奇异值分解, 上标 T 表示矩阵转置。

3 基于 DWT-SVD 的 RGB 图像水印算法

3.1 水印的嵌入

水印嵌入流程如图 2 所示。

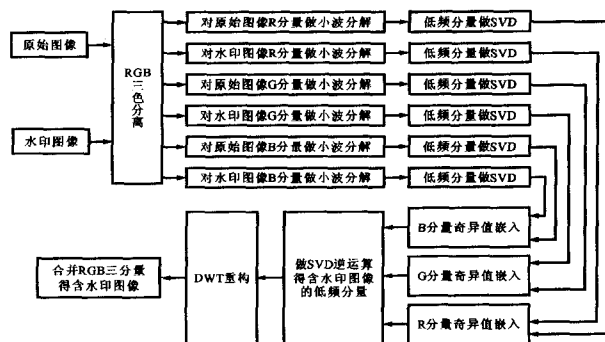


图 2 水印嵌入流程图

水印嵌入的步骤如下:

(1) 读入原始图像, 提取红色(R)、绿色(G)、蓝色(B)分量, 并对三分量做小波分解得: R_{LL} 、 R_{HL} 、 R_{LH} 、 R_{HH} 、 G_{LL} 、 G_{HL} 、 G_{LH} 、 G_{HH} 、 B_{LL} 、 B_{HL} 、 B_{LH} 、 B_{HH} 。

(2) 读入水印图像, 同样提取红色(R)、绿色(G)、蓝色(B)分量, 并对三分量做小波分解得: RW_{LL} 、 RW_{HL} 、 RW_{LH} 、 RW_{HH} 、 GW_{LL} 、 GW_{HL} 、 GW_{LH} 、 GW_{HH} 、 BW_{LL} 、 BW_{HL} 、 BW_{LH} 、 BW_{HH} 。

(3) 对原始图像和水印图像 R 分量小波分解后的低频分量做奇异值分解。

$$R_{LL} = US_R V^T$$

$$RW_{LL} = US_{RW} V^T \quad (2)$$

(4) 将水印图像 R 分量的奇异值 S_{RW} 嵌入到原始图像 R 分量的奇异值 S_R 中, 即 $S_R = S_R + r * S_{RW}$, 其中 r 为嵌入系数: $r = 0.04$, 做 SVD 逆运算: $R'_{LL} \leq US_R V^T$, 得含水印图像的 R 分量的低频系数 R'_{LL} 。

(5) 将嵌入水印的 R' 分量低频分量 R'_{LL} 和 R 分量小波分解得到的高频分量 R_{HL} 、 R_{LH} 、 R_{HH} 重构, 即得到含水印图像的 R 分量。

(6) 按(3)到(5)的步骤进行 G 分量和 B 分量的水印嵌入, 嵌入系数分量为: $g = 0.02$ 、 $b = 0.16$ 。

(7) 将含水印的 RGB 三分量合并, 即得到含水印图像。

3.2 水印的提取

水印的提取是水印嵌入的逆过程, 步骤如下:

(1) 读入含水印图像, 对其做 RGB 三基色分离, 并对三分量做小波分解。

(2) 对三分量小波分解得到低频分量做奇异值分解, 将得到的奇异矩阵与原始图像对应分量的奇

异矩阵比较,提取出水印图像的奇异值矩阵。

(3) 对提取出的水印图像的三个奇异值矩阵做 SVD 逆运算,得到水印图像 RGB 三基色的低频分量。

(4) 重构水印图像的低频分量和高频分量并做 RGB 三基色合并,即得到水印图像。

3.3 实验及结果分析

为了验证文中提出的算法,在 Matlab R2007b 环境^[5]下进行了大量的仿真实验。彩色原始图像为标准 512×512 的 Lena 图像,彩色水印图像是 256×256 的 Baboon 图像,实验结果令人满意。

除视觉上判定外,文中使用峰值信噪比 (PSNR) 评价嵌入水印后图像与原载体图像间的差别,并采用归一化相关系数 (NC) 来定量分析提取的水印与原始水印的相似度。

$$\text{PSNR} = 10 \times \lg \frac{m \times n \times 255^2}{\sum_m \sum_n (w(i,j) - w'(i,j))^2}$$
$$\text{NC} = \frac{\sum_i \sum_j w'(i,j) \times w(i,j)}{\sum_i \sum_j w(i,j)^2} \tag{3}$$

其中, $W(i, j)$ 表示原始水印, $W'(i, j)$ 表示提取到的水印。当 NC 值大于 0.7 时就可以认为提取到的水印信息有效。

为了验证本算法对水印提取的有效性,对含水印图像加入 0.001 的高斯噪声,提取出的水印图像和原始水印图像的相关系数为 0.9205;对含水印图像加入 0.001 的椒盐噪声,提取出的水印图像和原始水印图像的相关系数为 0.9366。

实验还对嵌入水印图像进行 JPEG 压缩,压缩比 Q 分别为:90、75、60、45、30。经 JPEG 压缩后,原水印图像与提取水印图像的相关系数如表 1 所示。

表 1 相关系数表

JPEG 压缩					
Q	90	75	60	45	30
NC	0.9315	0.8796	0.8785	0.8641	0.8333

文中提出的算法与其他算法^[3]相比,经攻击后提取的水印图像相关系数小,但文中算法嵌入的是

256×256 的彩色图像,嵌入的信息量非常大,虽然提取水印的相关系数小,但并不影响提取到的水印图像的视觉效果。

4 结束语

将 RGB 三基色对信息隐藏的特性、离散小波分解和奇异值分解的优点有机结合,文中提出了基于 DWT-SVD 的彩色图像水印新算法。采用彩色图像作为水印,可以嵌入的图像比较大;将水印的低频分量奇异值嵌入到彩色载体图像 RGB 三基色分量的低频分量的奇异值中^[6],算法嵌入水印和提取水印时间较短。实验结果表明该算法具有很好的水印不可见性,可以有效的抵抗各种噪声、JPEG 压缩等攻击。

参考文献:

[1] 余香敏,焦占亚. 一种基于 DWT 与 SVD 的数字图像水印算法[J]. 微电子学与计算机, 2008, 25(10): 199-202.

[2] 张敏,蒋华. 基于四重奇异值分解的小波包数字图像水印算法[J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(6): 146-149.

[3] 张玉金,蒋品群. 基于 Block-SVD 的小波域彩色图像数字水印算法[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(33): 155-157.

[4] 刘连生,李人厚,高琦. 基于 DWT 的彩色图像绿色分量数字水印方案[J]. 通信学报, 2005, 26(7): 62-67.

[5] 飞思科技产品研发中心. 小波分析理论与 MATLAB 7 实现[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.

[6] 刘瑞祯,谭铁牛. 基于奇异值分解的数字图像水印算法[J]. 电子学报, 2001, 29(2): 168-171.

作者简介:

任小康 男, (1963-), 教授, 硕士生导师. 研究方向为多媒体信息处理、数字水印.

范丽 女, (1978-), 硕士研究生. 研究方向为多媒体信息处理、数字水印.

白勇峰 男, (1980-), 硕士研究生. 研究方向为多媒体信息处理、图像检索.

李颜瑞 男, (1982-), 硕士研究生. 研究方向为多媒体信息处理、模式识别.