

基于 DFT 和水印分割的遥感影像数字水印方案^①

李丽丽¹, 孙劲光²

¹(辽宁工程技术大学 测绘与地理科学学院, 阜新 123000)

²(辽宁工程技术大学 电子与信息工程学院, 葫芦岛 125105)

摘要: 提出一种基于 DFT 和水印分割的遥感影像数字水印方案。算法首先对宿主遥感影像进行归一化处理, 以确定不变质心, 并根据不变质心选取方形区域作为水印嵌入区域; 然后, 产生一个伪随机序列作为数字水印信息, 并将其分成两部分; 最后对宿主遥感影像中所选区域进行 DFT 变换, 并将水印分别嵌入 DFT 变换的幅值和相位成分中。实验证明本文算法对 JPEG 压缩、滤波和噪声以及旋转、缩放、平移等几何攻击均具有较好的鲁棒性。

关键词: 数字水印; 遥感影像; 图像归一化; DFT; 不变质心

A Watermarking Scheme for Remote Sensing Image Based on DFT and Watermarking Segmentation

LI Li-Li¹, SUN Jin-Guang²

¹(School of Geomatics, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

²(School of Electronic and Information Engineering, Liaoning Technical University, Huludao 125105, China)

Abstract: This paper proposes a digital watermarking algorithm for remote sensing image based on DFT and watermarking segmentation. At first, it normalizes the host remote sensing image and determines an invariant centroid, then selects a square area around the invariant centroid for watermark embedding. Next, it generates a pseudo-random sequence as digital watermarking, and divides it into two parts. And finally it applies DFT to the selected region and embeds watermark into DFT phase and amplitude components of the selected square area of the host remote sensing image. Experiments have shown the algorithm's good robustness against JPEG compression, filtering, noise attacking, and it is also robust against geometric attacks as rotation, scaling, moving etc.

Key words: digital watermarking; remote sensing image; image normalization; DFT; invariant centroid

1 引言

航空航天技术的迅速发展, 使得遥感影像数据日益成为民用空间信息服务的主要数据来源。计算机网络技术的融合, 数据传输通道的公共、数据发布平台的公开、数据高度的共享和数字化数据复制的便捷, 在提高空间信息服务质量的同时, 也增加了数据的不安全隐患, 数字化遥感影像的版权归属、数据的完整性成为实现可信赖空间信息服务的关键性技术问题之一。数字水印技术作为版权保护的有效途径, 在图像、音频和视频等领域已有较好的研究和应用^[1-3], 针对遥感影像数据的数字水印技术为遥感影像的版权保护问

题提供了可行的解决方案。

数字水印算法按其嵌入域可分为空域和频域两大类, 空域算法直接修改图像的像素经不起常规变化处理而鲁棒性差, 频域算法由于具有较好的鲁棒性和不可见性成为研究的主流, 常用的频域方法有: 离散余弦变换(DCT)、离散小波变换(DWT)、离散傅立叶变换(DFT)等^[4-6]。其中基于离散傅立叶变换(DFT)域的水印算法原理较为简单, 有着其他频率域不可取代的优点。文献[7]提出 DFT 域数字水印算法在遥感图像中的应用, 算法将水印灰度图像进行 Arnold 置乱后, 采用一种基于内容的自适应离散傅立叶变换(DFT)域数字水

① 基金项目:辽宁省教育厅基金项目(L2010158);煤炭工业协会科学技术研究计划项目(MTKJ2010-317);

收稿时间:2011-01-20;收到修改稿时间:2011-02-26

印算法, 将水印嵌入遥感图像的纹理区内实现版权的保护, 同时兼顾到边缘信息不受大的损害。文献[8]提出基于图像归一化的 DFT 域数字水印嵌入算法, 首先利用基于矩的图像归一化技术将原始载体映射到几何不变空间内, 并结合不变质心理论提取出归一化图像的重要区域; 然后对重要区域实施分块离散傅立叶变换; 最后结合幅值谱信息自适应确定水印嵌入位置, 并利用量化调制策略将数字水印嵌入到重要区域的相位和幅值内。文献[9]提出一种基于离散傅立叶变换域相位和幅度的数字水印算法, 将水印分别嵌入离散傅立叶变换(DFT)域的相位谱、幅度谱进行仿真实验, 比较了两种算法在相同的嵌入失真下的鲁棒性, 提出了相位幅度相结合的 DFT 域水印算法, 算法在提取水印时不需要原始图像。

文献[8,9]分别提出了有效的 DFT 域水印算法, 但均是针对普通数字图像的。目前, 基于遥感影像的 DFT 域水印算法研究依然少之又少。因此, 本文在上述文献的基础上, 提出一种基于水印分割的 DFT 域遥感影像数字水印算法。

2 基于DFT和水印分割的遥感影像数字水印算法

2.1 不变质心的确定

为确定一个不受常规图像攻击影响的不变点做为数字水印的嵌入位置, 算法首先归一化图像^[10], 图像归一化本质就是寻找一些合适的变换参数, 将原始图像变换到其唯一的标准形式(该标准形式图像对平移、旋转、垂直和水平翻转、缩放等仿射变换具有不变的特性), 而且即使原始图像受到某种不可预知的几何仿射变换, 我们仍然能够利用变换参数把经过几何变换的图像归一化到这个唯一的标准形式, 因此, 在归一化图像(唯一的标准形式)中嵌入水印, 能够有效抵抗一般的全局几何仿射变换攻击; 然后利用区域不变质心理论, 在归一化图像中提取重要区域用于水印嵌入。

设原始宿主图像的归一化图像为 $G = \{g(i, j), 1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N\}$, R 是归一化图像 G 的某个区域, 则图像区域 R 的不变质心可以定义为:

$$x_R = \frac{\sum_{x \in R} \sum_{y \in R} g(x, y) \cdot x}{\sum_{x \in R} \sum_{y \in R} g(x, y)}, y_R = \frac{\sum_{x \in R} \sum_{y \in R} g(x, y) \cdot y}{\sum_{x \in R} \sum_{y \in R} g(x, y)} \quad (1)$$

归一化图像重要区域的确定方法步骤如下: 1)利用

高斯滤波器对归一化图像进行平滑处理, 高斯滤波器是一类根据高斯函数的形状来选择权值的线性平滑滤波器, 对去除服从正态分布的噪声很有效, 算法选用其消除图像噪声干扰, 以得到信噪比 SNR 较高的图像 (反应真实信号); 2)根据图像区域不变质心定义, 计算整个归一化图像的质心 $C_0 = (x_G, y_G)$, 为不变质心初值; 3)根据图像区域不变质心定义, 计算出以 (x_G, y_G) 为圆心, r 为半径的圆形区域的不变质心 $C_1 = (x_C, y_C)$; 4)若 $C_1 = C_0$, 则转步骤 5), 否则, 令 $C_0 = C_1$, 并转步骤 3); 5) C_0 为最终的不变质心。

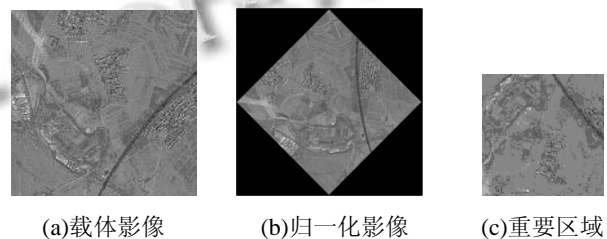


图 1 归一化影像的重要区域

2.2 数字水印的嵌入

目前基于离散傅立叶变换的数字水印算法一般仅在 DFT 域幅度成分中嵌入水印, 或者仅在 DFT 相位成分中嵌入水印, 两种方法各有优点。本文将两者结合同时, 在 DFT 域幅度成分和相位成分中嵌入水印。水印嵌入步骤如下:

Setp1: 根据 2.1 确定 $N \times M$ 原始图像的不变质心, 并以其为中心选取一个正方形区域为水印嵌入区域, 正方形大小由实验确定。

Setp2: 由密钥 key1 产生一个伪随机序列 $W = \{w_i \in \{0, 1\}, i = 1, 2, \dots, L\}$ 做为数字水印信息, 其中, L 为水印的长度, 本文 $L = 256$, 并以密钥 key2 将 W 分割成两部分。

Setp3: 对选择区域进行 DFT 变换。

Setp4: 确定频谱的重要系数。如果系数满足:

$$|F_k(r, c)|^2 / (1/64) \sum_{u=0}^7 \sum_{v=0}^7 |F_k(u', v')|^2 > t \quad (2)$$

$F_k(u', v')$ 为 DFT 变换幅度值, 则 $F_k(r, c)$ 相对于一个预先指定的阈值 t 是重要系数, 在选取重要系数的过程中生成了提取水印信息的密钥 key3。

Setp5: 嵌入水印。设 $|F(u_i, v_j)|$ 为幅度值, $\phi(u_i, v_j)$ 为相位值。

($i = 1, 2, \dots, L1; j = 1, 2, \dots, L2; L = L1 + L2$)

$$|F'(u_i, v_i)| = |F(u_i, v_i)| + \alpha_1 \times W_{1i} \quad (3)$$

$$\phi'(u_j, v_j) = \phi(u_j, v_j) + \alpha_2 \times W_{2j} \quad (4)$$

α_1, α_2 为水印嵌入强度，均衡水印不可见性和鲁棒性，其值由实验确定。由于 DFT 域的幅度谱具有对称性，而 DFT 相位值具有负对称性，为了使水印嵌入后其性质保持不变，水印嵌入时应满足下式：

$$|F'(u_i, v_i)| = |F'(7-u_i, 7-v_i)| \quad (5)$$

$$\phi'(u_j, v_j) + \alpha_2 \times W_{2j} = \phi'(7-u_j, 7-v_j) - \alpha_2 \times W_{2j} \quad (6)$$

Step6: 对图像块进行 DFT 反变换，得到含水印图像。

2.3 数字水印的提取

水印的提取是水印嵌入的逆过程，步骤如下：

Step1: 对含水印影像进行归一化。

Step2: 以归一化影像的不变质心为参考点取出含水印的正方形区域。

Step3: 对提取的区域进行 DFT 变换。

Step4: 依据密钥 key3，确定水印嵌入的重要系数。

Step5: 按 2.2 中 Step4 公式逆过程分别提取水印 W_1, W_2 。

Step6: 根据密钥 key2 将 W_1, W_2 组合得到水印序列 W。

3 实验与结果分析

实验中采用的原始图像为 256×256 大小的遥感影像图，水印为由密钥 key1 产生的一个 256 位伪随机序列。按本文所提算法实验结果如下所示：图 2 为原始遥感影像和含水印遥感影像，表 1 和表 2 给出算法抵抗常规信号处理和联合几何攻击能力的对比结果(失真率 BER)。

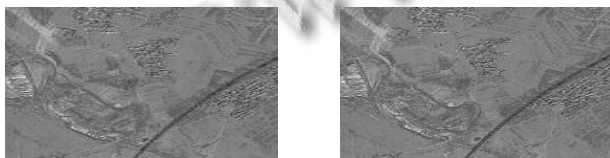


图 2 原始遥感影像、含水印遥感影像

4 结论

现有的 DFT 域遥感影像数字水印算法一般仅在 DFT 域幅度成分中嵌入水印，或者仅在 DFT 相位成分中嵌入水印，本文将图像归一化技术、不变质心理论和水印分割相结合，提出了基于 DFT 和水印分割的遥

感影像数字水印算法。算法将数字水印分割为两部分，分别嵌入所选重要区域的 DFT 幅值和相位成分中。实验证明算法易于实现，具有较好的时间复杂度，并对 JPEG 压缩、滤波和噪声以及部分几何攻击具有较好的鲁棒性。

表 1 算法对常规信号处理的抵抗能力(失真率 BER)

攻击方式		失真率 BER
JPEG 压缩	90	0
	70	0.9
	30	4.64
高斯滤波	3×3	10.72
	5×5	21.68
高斯噪声	0:0.01	15.46
	0:0.002	11.21
椒盐噪声	0.01	15.16
	0.002	1.64

表 2 算法对几何攻击及联合的抵抗能力(失真率 BER)

攻击方式		失真率 BER
旋转	10	1.06
	30	4.07
	60	3.58
	90	0
缩放	0.9	1.06
	1.2	2.37
平移(水平、垂直方向)	10	19.34
	20	12.48
缩放 1.2+旋转 10		3.86
缩放 1.2+平移 10		11.97
旋转 10+平移 10		10.06

参考文献

- 张永亮,李凌,张先庭.基于分数余弦变换的数字图像水印算法.计算机系统应用,2008,17(4):51-54.
- Bami I, Kalker CJ. Digital watermarking. Lecture Notes in Computer Science(LNCS), USA (New York): Springer-Verlag, 2005.15-17.
- 王炳锡,陈琪,邓峰森.数字水印技术.西安:西安电子科技大学出版社,2003.11-12.
- 金聪,叶俊民,许凯华,张清国.具有抗几何攻击能力的盲数字图像水印算法.计算机学报,2007,30(3):474-482.
- Dong P, Galatsanos NP. Affine Transformation Resistant Watermarking Based on Image Normalization. IEEE Trans. on Image Processing, 2002, 8: 865-882.

(下转第 255 页)

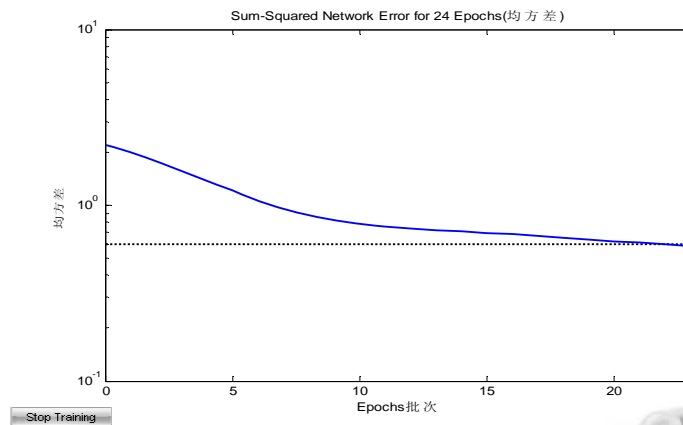


图 4 RBF 网络学习训练曲线

表 2 电梯运行系统状态及预测结果

o	Input sample(Failure reason)										Forecast output(symptom of failure)			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
1	0.256	0.283	0.754	0.325	0.436	0.855	0.986	0.925	0.368	0.110	0.001	.0003	0.999	0.000
2	0.100	0.032	0.225	0.430	0.562	0.654	0.325	0.563	0.977	0.899	0.000	0.002	0.001	0.989
3	0.950	0.972	0.869	0.235	0.356	0.578	0.641	0.347	0.357	0.198	0.999	0.003	0.016	0.000
4	0.354	0.564	0.239	0.869	0.986	0.220	0.132	0.236	0.320	0.285	0.001	0.998	0.000	0.007

5 结论

本文重点研究了 RBF 神经网络算法在多电梯运行系统故障预测中的应用。将 RBF 神经网络融入到电梯运行系统故障预测中去, 并采用 MATLAB 作为仿真工具, 利用电梯仿真环境对电梯的运行系统的故障进行了预测。仿真结果可以看出, 利用 RBF 神经网络作为预测网络能有效解决电梯运行系统中的故障预测问题, 该网络能够快速准确的预测出该运行系统中出现的故障。

参考文献

1 左宪章,康健,李浩,唐力伟.故障预测技术综述.火力与指挥控制,2010,35(1):1-5.
 2 李俊芳,曲照伟,窦立谦.基于神经网络的电梯门系统故障预

测方法的研究.天津理工大学学报,2009,25(1):8-10.

3 何勇枢,陈赣.基于 BP 神经网络模型的故障预测分析.微计算机信息,2006,22(6):220-223.
 4 唐湘燕,陈效华.基于神经网络的火炮自动供输弹装置故障预测.火箭发射与控制学报,2007,23(1):54-58.
 5 Liu CS, Hu SS. Intelligent Nonlinear Fault Diagnosis based on State Estimator. Control and Decision, 2005,20(5):557-561.
 6 乔俊飞,韩红桂.RBF 神经网络的结构动态优化设计.自动化学报,2010,36(6):865-872.
 7 施彦,韩力群,廉小亲.神经网络设计方法与案例分析.北京:邮电大学出版社,2009.
 8 Zhang YT, Yang XL. Self-adaptive RBF Netural-network and its Application. Computers and Applied Chemist, 2006,23(1): 59-60.

(上接第 206 页)

6 Kang XG, Huang JW, et al. A DWT-DFT composite watermarking scheme robust to both affine transform and JPEG compression. IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, 2003,13(8): 776-786.
 7 陈晨,何建农.DFT 域数字水印算法在遥感图像中的应用.计算机与现代化,2008,159(11):77-79.

8 孟岚,杨红颖,王向阳.基于图像归一化的 DFT 域数字水印嵌入算法.小型微型计算机系统,2008,29(11):2153-2156.
 9 曹荣,王颖,李象霖.一种基于离散傅里叶变换域相位和幅度的数字水印算法.计算机应用,2005,25(11):2536-2537.
 10 牛盼盼,杨红颖,郭俊,王向阳.基于归一化图像重要区域的数字水印方法.中国图象图形学报,2007,12(10):1774-1777.