

# 基于 DCT 与分形理论的遥感影像鲁棒水印算法<sup>①</sup>

李丽丽<sup>1</sup>, 孙劲光<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(辽宁工程技术大学 测绘与地理科学学院, 阜新 123000)

<sup>2</sup>(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 DCT 和分形理论的遥感影像数字水印算法。首先利用分形技术确定自相似块作为水印嵌入区域; 然后对水印图像进行 Arnold 置乱预处理, 并将其扫描为一维序列; 最后, 对所选自相似块进行 DCT 变换, 并将水印嵌入其中频系数。实验证明本文算法易于计算和实现, 算法实现盲检测且有效提高了水印的不可见性, 对 JPEG 压缩、滤波和叠加噪声等攻击具有较好的鲁棒性。

**关键词:** 数字水印; 遥感影像; DCT; 分形; Arnold 置乱

## Robust Watermarking Algorithm for Remote Sensing Image Based on DCT and Fractal

LI Li-Li<sup>1</sup>, SUN Jin-Guang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(School of Geomatics, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

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

**Abstract:** This paper proposes a meaningful digital watermarking algorithm for remote sensing image based on DCT and fractal theory. Firstly, it determines self-similar blocks for watermark embedding by using fractal technology, then scrambles the watermark with Arnold transformation and the scrambled watermark image next be scanned into one-dimensional sequence, at last it applies DCT to the selected self-similar blocks and embeds the watermark into the blocks. Experiments have shown that the algorithm proposed in this paper has good invisibility, simple calculation, easy realization, and extracting watermark without the original remote sensing image. And it is well robust against JPEG compression, filtering and noise superimposed attacking.

**Key words:** digital watermarking; remote sensing image; DCT; fractal; Arnold scrambling

## 1 引言

随着航天技术的迅速发展, 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, 计算机网络的日益普及, 数据发布平台的公共与公开、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, 海量遥感影像数据的版权保护问题日益突出, 且已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, 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<sup>[1,2]</sup>。

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, 常用的频域方法包括: 离散余弦变换(DCT)、离散小波变换(DWT)、离散傅立叶变换(DFT)等。文献[3]提出基于内容的离散余弦变换域自适应遥感图像数字水印算法, 将二值水印图像信息安全地嵌入到遥感图像(纹理区)的离散余弦变换域中高频系数内, 对信号处理和几何剪切具有较好的抗差性。文献[4]是最早的分形水印文献, 嵌入水印的策略是依靠改变定义域块的搜索范围实现的。相继利用分形技术又有很多新分形算法<sup>[5,6]</sup>。文献[7]提出基于分形

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:2011-03-16;收到修改稿时间:2011-04-12

的遥感图像数字水印技术,将基于分形编码的水印算法应用于遥感图像的版权保护。该算法以二值图像作为水印,在嵌入操作前,对水印图像进行了 Arnold 置乱,提取水印时不需要原始图像信息,具有较好的鲁棒性,为遥感图像的版权保护提供了有效算法。

分形理论的优越性与计算机硬件技术的快速发展,使得分形理论被应用到很多领域。与传统的水印算法相比,分形理论为抗几何攻击的水印方案注入了新的活力。本文受文献[3,4,7]的启发,将离散余弦变换和分形技术相结合,提出一种基于 DCT 和分形理论的遥感影像鲁棒盲水印算法。

## 2 分形水印嵌入块的确定

### 2.1 分形水印

通过对大量数字图像的分析,我们发现,一幅图像的不同部分之间、部分与整体之间存在着某种程度的相似,这种自相似性是图像本身所固有的属性,具有良好的稳定性,在一般的图像处理中是不容易被破坏的。利用分形理论来确定水印的嵌入区域,将其与局部化水印理论有机结合,即使图像受到了剪切、行列去除等几何攻击,也不能将其中的自相似性块全部去除,如果水印采用冗余嵌入,仅仅去除一块或若干块,则不会影响水印的提取,这种思想类似于第二代水印算法——基于特征点的水印算法。将自相似性块作为水印的嵌入块,由于自相似分形集的精细结构所蕴涵的自相似性不会因几何失真操作而改变,具有很好的抗几何失真特性,这就为数字水印抵抗几何攻击提供了良好的思路,即可利用图像的自相似特性来实现水印的嵌入。

### 2.2 分形水印嵌入块的确定

按照一定的规则将图像分成若干个(设为  $M$ )互不重叠大小为  $B \times B$  的值域块  $R_i (1 \leq i \leq M)$  和若干个(设为  $N$ )可以互相重叠大小为  $2B \times 2B$  的定义域块  $D_j (1 \leq j \leq N)$ 。根据分形编码的原理,对每个值域块  $R_i$  寻找一个最佳匹配的定义域块  $D_j$ ,该定义域块  $D_j$  通过收缩仿射变换  $\tau_{ik}$  (缩放、平移、旋转、灰度拉伸等)后能够以最小的误差逼近  $R_i$ ,即  $R_i \approx \tau_{ik}(D_j)$ 。误差大小反映了  $R_i$  与  $D_j$  的相似程度。我们用最小均方误差(MSE)  $d(R_i, \tau_{ij}(D_j))$  来衡量值域块与定义域块的相似程度。

$$d(R_i, \tau_{ik}(D_k)) = \min d(R_i, \tau_{ij}(D_j)) \quad (1)$$

然后,根据我们事先设定的一个误差阈值  $\varepsilon_0$  (做为密钥),对于最小均方误差小于给定阈值的值域块我们称之为自相似性块;反之,称之为非自相似性块。显然,误差阈值决定了值域块的分类,为满足嵌入水印容量的需要,其选择应根据要嵌入水印的容量和值域块容量的比较来确定,总的原则是在误差阈值的控制下,各嵌入块的容量总和不小于水印的总容量。

## 3 结合DCT与分形理论的遥感影像水印算法

### 3.1 水印预处理

基于遥感影像的解译需求,嵌入的水印图像应尽量避免空间相关性,算法首先对水印图像进行置乱预处理,将空间域中的像素位置和灰度打乱,破坏水印图像的相关性,然后再嵌入到遥感影像中。对于一幅  $N \times N$  图像,离散化的 Arnold 变换定义如下:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \bmod N, x, y \in \{0, 1, 2, \dots, N-1\} \quad (2)$$

其中  $(x, y)$  为原始图像中象素点的坐标,  $(x', y')$  为经过变换后原象素的新位置。Arnold 变换具有周期性,当 Arnold 变换次数为其周期  $T$  的一半,即  $T/2$  次时,水印图像达到最乱,具有最强鲁棒性。当迭代到  $T$  次时,将重新得到原始水印图像<sup>[8]</sup>。

本算法选用的水印是  $16 \times 16$  的二值图像,算法使用置乱次数  $K$  做为密钥。首先将水印图像经过  $K$  次 Arnold 变换,然后将置乱的水印图像扫描成一维序列。

### 3.2 数字水印的嵌入

设原始载体图像为  $256 \times 256$  遥感影像。值域块、定义域块大小分别为  $8 \times 8$ 、 $16 \times 16$ ,误差阈值  $\varepsilon_0 = 4.3$ 。水印的嵌入过程可描述如下:

1) 自相似性块(水印嵌入块)的确定。按照误差阈值  $\varepsilon_0$ ,在影像中提取自相似性块  $S_i (1 \leq i \leq 128)$ 。

2) 对  $S_i (8 \times 8)$  做 DCT 变换,并将块系数按照 Zig-Zag 顺序扫描。获取新的系数排列  $A_i (i = (1, 2, \dots, 64))$ ,如图 1 所示。

3) 按照如下关系调整中频系数嵌入水印。水印被嵌入到 DCT 中频系数上,如图 1 中阴影部分所示,因为嵌入低频系数容易使载体图像失真,而嵌入高频系数则水印很容易丢失。其中水印的嵌入强度  $\alpha \cdot b_k$  的大小是由自相似性块的纹理、背景亮度、频率所决定。总的原则是纹理越复杂,背景亮度越高的自相似性块

的嵌入强度越大, 否则相反。有关  $b_k$  参见文献[9]。

$$\begin{cases} A'_{13} = (A_{11} + A_{12} + A_{14} + A_{15}) / 4 \\ A_{13} = A'_{13} + \alpha \cdot b_k, \text{ when } w_k = 1 \\ A_{13} = A'_{13} - \alpha \cdot b_k, \text{ when } w_k = 0 \end{cases} \quad (3)$$

1	2	6	7	15	16	28	29
3	5	8	14	17	27	30	43
4	9	13	18	25	31	42	44
10	12	19	25	32	41	45	54
11	20	24	33	40	46	53	55
21	23	34	39	47	52	56	61
22	35	38	48	51	57	60	62
36	37	49	50	58	59	63	64

图 1 Zig-Zag 顺序扫描系数

4) 用修改后的系数替换原来的系数做 IDCT 变换得到含有水印的子块图像, 再结合非自相似性块得到含水印的图像。

本算法的自适应嵌入强度  $\alpha_k = \alpha \cdot b_k$  不同于文献[9], 增加了水印嵌入强度调节因子  $\alpha$ 。 $\alpha$  的取值由实验确定。

### 3.3 数字水印的提取

水印的提取是嵌入的逆过程, 步骤如下:

1) 在影像中提取自相似性块 (水印嵌入块)  $S_i (1 \leq i \leq 128)$ 。

2) 对  $S_i (8 \times 8)$  做 DCT 变换, 将块系数做 Zig-Zag 顺序扫描, 并按如下关系在每个自相似块中提取水印。

$$\begin{cases} A'_{13} = (A_{11} + A_{12} + A_{14} + A_{15}) / 4 \\ w_k = 1, \quad \text{when } A_{13} > A'_{13} \\ w_k = 0, \quad \text{when } A_{13} < A'_{13} \end{cases} \quad (4)$$

3) 对所提取出的一维二进制水印序列进行升维和解密, 从而得到二值水印图像。

## 4 实验与结果分析

实验采用的原始图像为  $256 \times 256$  大小的遥感影像图, 水印图像都为  $16 \times 16$  的二值图像。按照本文所提算法进行水印嵌入、提取和攻击实验, 实验结果如下所示。图 2(a)、(b)、(c) 分别为原始遥感影像、含水印遥感影像和提取的水印图像。表 1 为部分水印抗攻击鲁棒性实验测试结果。

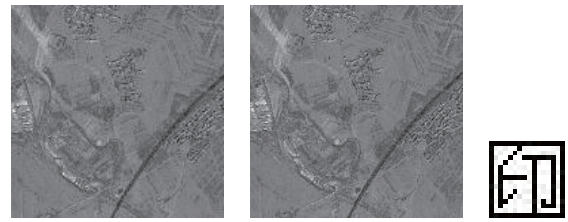


图 2 (a)原始影像 (b)含水印影像 (c)提取水印

表 1 抗几何攻击实验结果(BER)

攻击	参数	BER
旋转	10	0
	30	0.02
	60	0.09
缩放	0.9	0
	2.0	0.13
剪切	0.1%	0.16
	1%,1%	0.32
JPEG 有损压缩	80	0.01
	50	0.03
高斯噪声	0,0.05	0.18
椒盐噪声	0,0.03	0.31

## 5 结论

本文提出了一种新的抗几何攻击遥感影像鲁棒盲水印算法, 该算法充分利用了离散余弦变换具有良好的聚能效应和自相似分形集的精细结构所蕴涵的自相似性不会因几何失真操作而改变的特性<sup>[10]</sup>, 将两者巧妙地结合起来。首先, 利用分形理论确定自相似性块, 将其作为水印嵌入块; 然后将置乱的水印图像嵌入到所选自相似性块的 DCT 中频系数上。实验表明该算法有效提高了水印的不可见性, 且对旋转、缩放、几何剪切、JPEG 压缩及添加噪声等攻击具有较好的鲁棒性。

### 参考文献

- 尹柳, 易招师, 陈光喜. 用于图像认证的半脆弱数字水印的设计与实现. 计算机系统应用, 2009, (4): 144-147.
- Lin CY, Wu M, Cox IJ. Rotation, Scale, and Translation Resistent Public watermarking for images. IEEE transactions on image processing, 2001, 10: 767-782.
- 王向阳, 杨红颖, 郭俊. 基于内容的离散余弦变换域自适应遥感图像数字水印算法. 测绘学报, 2005, 34(4): 324-330.

(下转第 170 页)

表1 MFCC与GMM模型的均值参数的数据处理量

参数	MFCC	GMM模型的均值参数
平均处理数据量/字	738.6	228

由上表可以看出,平均每个数字GMM模型均值参数的数据量是MFCC的30.9%,由此可以得出采用GMM模型对参数MFCC特征数据进行特征转换得到的均值参数和特征参数MFCC相比减少了输入识别模块的数据量,提高了系统的性能。

#### 4.2 识别率和运行时间的比较

将剩余的100任取90个作为测试样本,采用DTW识别器进行识别,与测试模板距离最小的模板序号作为识别结果进行输出,比较MFCC和GMM模型的均值参数的识别效果,统计不同特征参数的平均识别率和系统运行时间,其结果如表2所示:

表2 MFCC与GMM模型均值参数识别率及识别时间的比较

参数	平均识别率	运行时间
MFCC	90%	287.04s
GMM模型的均值参数	88.89%	49.86s

由上表可知,采用GMM模型的均值参数其系统的平均识别率和MFCC相比下降了1.11%,但是时间缩短了237.18s,由此可见,采用GMM模型对特征参数进行聚类变换,减少了输入识别器的数据,提高了识别的速度。

(上接第173页)

- 4 Pate J, Jordan F. Using Fractal compression scheme to embed a digital signature into an image. Proc SPIE Photonics East Symposium, Boston, USA, 1996.
- 5 Pi MH, Li CH, Li H. A novel fractal image watermarking watermarking. IEEE Trans. on Multimedia, 2006, 8(3): 488-499.
- 6 Xie RS, Yang SG. A Digital Image Water marking Method Based on Fractal Transform in DWT Domain. 1st International Conference on Modelling and Simulation,

## 5 结论

本文采用GMM模型对样本特征参数MFCC进行聚类,用GMM模型的均值参数作为新的特征参数,其均值参数的数据量相比于特征参数MFCC的数据量减少了510个,识别时间缩短了237.18s,但识别率只降低了1.11%,有效地提高了识别速度,验证了该方法的有效性。但是在语音中加入高斯白噪声,信噪比为10dB,识别率只有53.33%,可知经过GMM模型进行聚类得到的均值参数易受噪声影响,其特征参数的鲁棒性是今后研究的一个方向。

### 参考文献

- 1 马静.基于HMM模型的汉语数字语音识别算法的研究.太原:太原理工大学,2008.
- 2 李萱.语音特征参数提取方法研究.西安:西安电子科技大学,2006.
- 3 张永亮,张先庭,鲁宇明.基于MFCC和HMM的说话人识别.计算机仿真,2010,27(5):352-357.
- 4 张晶,范明,冯文全.基于MFCC参数的说话人特征提取算法的改进.电声技术,2009,33(9):61-66.
- 5 Li Q, Huang Y. Robust speaker identification using an auditory-based feature. In: 2010 IEEE International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing. Dallas, 2010, 4514-4518.
- 6 赵力.语音信号处理.北京:机械工业出版社,2003.
- 7 陈辉,郭科,陈聆.基于分型编码的遥感影像数字水印技术研究.计算机应用研究,2007,24(9):83-85.
- 8 冯茂岩,冯波,沈春林.基于分块DCT变换和Arnold置乱的自适应图像水印算法.计算机应用,2008,28(1):171-173.
- 9 韩强,马洪.DCT域上基于HVS的盲水印添加方法.四川大学学报(自然科学版),2005,42(3):444-449.
- 10 刘方,杨峰.改进的基于DCT的加密盲水印算法.计算机工程与应用,2009,45(13):124-126.