

文章编号: 1001-1595(2011)05-0623-05

## 基于映射机制的遥感影像盲水印算法

任娜<sup>1</sup>, 朱长青<sup>1</sup>, 王志伟<sup>2</sup>

1. 南京师范大学 虚拟地理环境教育部重点实验室, 江苏 南京 210046; 2. 信息工程大学 测绘学院, 河南 郑州 450052

### Blind Watermarking Algorithm Based on Mapping Mechanism for Remote Sensing Image

REN Na<sup>1</sup>, ZHU Changqing<sup>1</sup>, WANG Zhiwei<sup>2</sup>

1. Key Laboratory of Virtual Geographic Environment of Ministry of Education, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China;  
2. Institute of Surveying and Mapping, Information Engineering University, Zhengzhou 450052, China

Abstract: A blind watermarking algorithm resistance against the geometric attacks for remote sensing data is presented based on mapping mechanism. First, the pseudo-random binary sequence, which is generated by the random number generator, is used as the watermarking information. Then, the mapping function of the image data and watermark information is established, and the mapping variable is expanded, which can determine the watermark embedding position. Finally, the modified pixel value bit-plane, which is based on mapping mechanism, is used as the watermark embedded rules. Watermark detecting is the inverse process of watermark embedding, and the watermark information is determined by majority rule. The presented method overcomes the limitation that the image size and the pixel relative coordinate remain the same after the traditional attacking. The watermark capacity has been effectively expanded, and the presented method has good robustness, invisibility and maintains the accuracy of features and statistical properties of image.

Key words: remote sensing image; watermark; mapping; geometric attack; detect

摘要: 针对遥感影像数据, 提出一种基于映射机制的抵抗几何攻击的强抗差性盲水印算法。首先, 采用随机序列发生器生成固定长度的伪随机二值序列作为水印信息; 然后, 建立影像数据与水印信息的映射函数, 并对映射变量进行扩展, 确定水印信息的嵌入位置; 最后, 采用基于映射机制的修改像素值位平面的水印嵌入规则进行水印嵌入。水印检测是水印嵌入的逆过程, 采用多数原则确定水印信息。该方法克服传统抗几何攻击时要求攻击后影像的大小和像素相对位置保持不变的局限, 有效扩充水印容量, 具有好的抗差性和不可见性, 并能保持影像精度特征和统计特性。

关键词: 遥感影像; 水印; 映射; 几何攻击; 检测

中图分类号: TP391.4 文献标识码: A

基金项目: 国家自然科学基金(41071245)

## 1 引言

遥感影像是地球科学研究的基础, 是国家基础测绘保障服务的数据源之一。随着数字化和网络化的飞速发展, 遥感影像数据在获取、复制、传输等方面更为方便快捷的同时, 其安全问题也更加突出。数字水印技术是近年来发展起来的信息安全前沿技术, 在测绘相关领域得到了重要的应用<sup>[1-4]</sup>, 它也为遥感影像数据的安全提供了可靠的解决方案, 能够准确、快速、有效地确认数据版权拥有者、跟踪侵权行为等, 具有重要的经济、军事价值和现实意义。

遥感影像数据是一种常见的栅格地理空间数据, 其与普通图像数据在表现形式上相同。因此,

遥感影像水印方法可以借鉴普通图像水印方法进行研究。但是, 地理空间数据的量测、精度和空间分析等特征又使得地理空间数据数字水印具有自身的特点, 这一特定的地理空间数据数字水印的研究必须依据其自身的特点。遥感影像水印技术不仅要求水印的不可见性, 还要求数据的可用性。针对遥感影像数据的数字水印技术已有一些研究, 文献[5]利用近无损数字水印技术在 DFT 和 DWT 域进行水印信息的调制嵌入, 然后在空域修剪水印, 数据误差具有好的控制。文献[6]提出了一种基于小波变换的遥感影像数字水印算法, 并研究了其嵌入水印后的分类效果。文献[7]通过数字水印置乱、嵌入位置自适应选取、嵌入深度智能调节等措施, 将水印信息嵌入到遥感图像(纹

理区)的离散余弦变换域中高频系数内。文献[8]提出了一种适用于多光谱遥感图像的基于DWT的数字水印算法,水印检测效果较好,对剪切与滤波等具有较好的抗差性。文献[9]结合人眼视觉系统与整数小波变换,将水印信息置乱后嵌入在图像小波域的中高频部分,根据人类视觉系统的特点选择感知重要系数嵌入水印,水印嵌入量控制在可见误差范围内。

上述针对遥感影像的水印算法,能够较好地抵抗裁剪、旋转等攻击,但是,在这些攻击中,要求影像的大小和相对位置均未发生改变,例如裁剪是指在原图中去掉一部分影像后,在剩下的部分影像中进行水印检测,而实际攻击中,是将影像直接裁剪下来或进行旋转,必会改变影像的大小和相对位置。这类攻击破坏了水印信息的同步关系,目前的遥感影像水印算法难以抵抗改变影像大小和相对位置的裁剪、旋转、缩放等几何攻击。本文针对存在的问题,提出了一种新的遥感影像盲水印算法,采用映射机制建立影像数据和水印信息的映射关系,能够较好地抵抗在影像大小和相对位置改变下的几何攻击。

## 2 水印信息的预处理

无意义水印信息具有长度固定、统计特性良好、自相关性强、能够与有意义水印信息建立关联和便于实现盲检测等特点。因此,本文采用无意义水印序列作为水印信息嵌入到遥感影像中。

无意义水印信息的生成过程为:

(1)采用随机数发生器生成一个具有唯一标识的水印种子数  $WMSeed$ ;

(2)采用随机序列发生器,将生成的水印种子  $WMSeed$  作为密钥  $Key$  生成一个长度为  $N$  的伪随机二值序列  $W = G(Key) = \{W_i, i = 0, 1, \dots, N-1\}$ , 其中,  $W_i = \{-1, 1\}$ ,  $W$  为生成的无意义水印信息,该水印信息用于文中的水印嵌入操作;

(3)建立水印种子数  $WMSeed$  和输入的有意义字符或文字等的参照表,用于水印检测。

## 3 遥感影像水印映射机制

### 3.1 映射函数的提出

在影像水印的嵌入算法中,若按照影像中灰度值或变换域系数在影像文件中的相对位置依次嵌入水印信息,则当含水印影像遭受裁剪、平移或旋转等操作后,影像的大小和相对位置发生了改

变,这将直接破坏水印信息的同步性,从而就不能提取出水印信息,水印算法的抗差性大为降低。为了解决这个问题,本文提出了一种映射函数用于影像水印信息的嵌入与提取。

映射函数是根据影像数据  $I$  定位水印序列  $W$  的函数,即  $f(I) = W$ 。基于映射函数的水印算法的基本思想是:建立影像数据与水印序列的多对一映射函数,通过建立的映射函数来确定水印的嵌入位置。映射函数特有的多对一性质,使得该算法能够抵抗实际攻击中的裁剪、旋转、缩放等几何攻击。

以8 bit 灰度影像为例,影像  $I$  的像元值是在0~255之间的整数值。生成的水印序列为  $W$ , 水印长度为  $N$ 。采用映射机制建立的函数是将影像数据  $I$  映射至水印序列  $W$ , 则平均每  $d$  ( $d = 256/N$ ) 个像元值映射至一位水印位,从而建立了影像数据  $I$  与水印序列  $W$  的映射关系。

### 3.2 映射函数的扩展

映射至某一水印位的像元个数称为映射水印容差(记为  $L$ ), 水印容差越大,算法的抗差性越好。试验表明,为了获得更好的抗差性,  $L$  至少应该取3。若  $L$  取3,对像元值在0~255之间的8 bit 灰度影像,则水印最长位为85位。但是,在实际应用中,为了提高水印算法的抗差性,水印的长度应该尽量保证在300~500之间,而85位的水印序列不能满足实际需要。为了增加水印的长度,提高水印容差,本文提出一种扩展变量,将影像数据  $I$  像元取值范围由  $[0, 255]$  扩展为  $[0, 255] \cdot [0, 255]$ 。

扩展变量取为邻域窗口均值变量  $c$ , 窗口均值参数  $c$  定义如下

$$c(m, n) = \frac{1}{k \times l} \sum_{i=m-k}^{m+k} \sum_{j=n-l}^{n+l} I(i, j)$$

式中,  $(m, n)$  表示影像的行列号;  $k$  和  $l$  表示窗口大小(本文取  $k = l = 5$ ),  $k' = \lfloor k/2 \rfloor$ ,  $l' = \lfloor l/2 \rfloor$ , “ $\lfloor \cdot \rfloor$ ”表示取整;这里  $c$  的取值范围为  $[0, 255]$ 。

将影像数据  $I$  像元值和扩展变量  $c$  与水印序列  $W$  进行映射,建立映射函数  $f(I, c) = W$ 。此时,在水印容差  $L = 3$  情况下,水印最长位可高达2218位,能够有效提高水印提取的抗差性。

在水印算法中,水印长度一般为300~500之间(本文取为400),则水印容差  $L$  大于131,这样的容差能够有效地提高算法的抗差性,使得水印算法具有好的抗任意裁剪、旋转、平移、缩放等的

能力。

## 4 基于映射机制的遥感影像盲水印算法

### 4.1 水印嵌入

水印的长度为  $N$ , 为此, 把影像数据  $\{I, c\}$  映射到  $[0, N - 1]$  上, 即: 映射函数  $f\{I, c\} \in [0, N - 1]$ 。建立的映射函数具有多对一性, 通过该映射关系, 同一个水印位可能对应多个影像数据  $\{I, c\}$ 。也就是说, 在水印信息的嵌入过程中, 同一个水印位将可能被嵌入到多个灰度值中, 因此, 该算法具有抵抗影像大小和相对位置改变的裁剪、旋转、缩放等几何攻击能力。同时, 为了提高算法的抗差性, 映射函数应尽量均匀的将影像数据映射到  $[0, N - 1]$  上。

在确定了水印信息嵌入位置后, 此时再进行水印信息的嵌入操作。考虑到算法的抗攻击能力, 本文采用了基于位平面的水印嵌入方法。水印嵌入规则为

$$X_m = \begin{cases} 1, & W_i = 1 \\ 0, & W_i = -1 \end{cases}$$

式中,  $X_m$  表示像素值的第  $m$  位平面的值,  $X_m = \{0, 1\}$ ,  $m = 0, 1, 2, \dots, 7$  (本文取  $m = 2$ )。

### 4.2 水印检测

水印的检测过程实际是水印嵌入的逆过程。通过建立的映射函数计算出水印位, 即  $[0, N - 1]$  中的确定位置, 然后, 利用水印检测规则提取出水印信息。水印信息的检测规则为

$$w = \begin{cases} 1, & X_m = 1 \\ -1, & X_m = 0 \end{cases}$$

式中,  $w$  为提取的水印信息。每一位的水印信息可能会被检测出多次, 因此, 采用多数原则来确定水印信息。即根据这些水印信息值为  $-1$  和  $1$  的多数来决定提取出的水印  $w'_i$ , 若这些值一半以上为  $1$ , 则  $w'_i$  取值为  $1$ ; 否则,  $w'_i$  取值为  $-1$ 。

提取出无意义水印信息  $w'$  后, 需要进行相关检测, 为客观评价原始水印与提取水印的相似性, 采用计算二者的相关系数  $NC$  进行判断是否含有水印信息。

相关系数公式如下

$$NC = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N b_i$$

式中,  $b_i = XNOR\{W_i, w'_i\}$ ,  $XNOR$  操作代表异或运算。

如果水印的相关系数  $NC$  大于预先设定好的阈值 (本文阈值为  $0.5$ ), 则表明含有水印信息, 基于水印信息的参照表, 提取出有意义水印信息。

## 5 试验与分析

为了验证本文算法的有效性和抗差性, 分别进行了可视化分析、抗差性、误差分析等测试。如图 1 所示, 所选用的原始载体为  $2000 \times 2000$  的遥感影像。图 2 为按本文方法嵌入水印后的影像。



图 1 原始影像

图 2 含水印影像

Fig. 1 Original image Fig. 2 Watermarked image

### 5.1 可视化分析

从主观视觉上, 图 1 和图 2 看不出明显的差异, 表明嵌入水印后不影响原始影像的视觉质量。客观分析上, 计算含水印影像与原始影像的峰值信噪比确定可见性测试。峰值信噪比是一个用来衡量含水印影像相对原始影像失真程度的参数。峰值信噪比的计算公式如下

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{\left(\frac{MN}{N}\right) \cdot [\max(I) - \min(I)]^2}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [I(i, j) - I'(i, j)]^2}$$


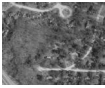

式中,  $I$  和  $I'$  分别表示原始影像和含水印影像,  $I(i, j)$  和  $I'(i, j)$  是原始影像和含水印影像在  $(i, j)$  处的像元值, 影像大小为  $M \times N$ 。

计算可得,  $PSNR = 39.1090$ 。其阈值在经验上一般定为  $28$ , 即  $PSNR > 28$  时, 认为影像在视觉上是接受的, 反之认为视觉效果较差。按本文算法嵌入水印后, 含水印影像与原始影像的峰值信噪比远高于  $28$ , 充分说明嵌入水印后影像的质量没有明显下降, 具有不可察觉性。

### 5.2 抗差性分析

为了验证本文算法的抗差性, 对含有水印的影像进行了常见的几何攻击, 如裁剪、旋转、平移、拉伸、扭曲、放大、缩小等操作。在不同的攻击方式下, 水印检测结果如表 1 所示。

表 1 攻击试验结果  
Tab. 1 The results after attacking

攻击方式	攻击程度	攻击后影像大小	相关系数	检测标识
裁剪		607 × 577	0.96	成功
		356 × 286	0.94	成功
		129 × 164	0.74	成功
旋转	5°	2167 × 2167	0.96	成功
	15°	2450 × 2450	0.95	成功
	75°	2450 × 2450	0.96	成功
	顺时针 90°	2000 × 2000	1.00	成功
	逆时针 90°	2000 × 2000	1.00	成功
缩放(原分辨率 72)	分辨率为 30	833 × 833	0.51	成功
	分辨率为 60	1667 × 1667	1.00	成功
	分辨率为 100	2778 × 2778	0.91	成功
	分辨率为 160	4445 × 4445	0.57	成功
平移	向右平移 290	2000 × 2000	0.98	成功
	向上平移 600	2000 × 2000	0.99	成功
扭曲	球面化-14	2000 × 2000	0.82	成功
	球面化-29	2000 × 2000	0.84	成功
	旋转扭曲-45	2000 × 2000	0.83	成功
加噪	高斯噪声 0.5	2000 × 2000	0.90	成功
	高斯噪声 1.0	2000 × 2000	0.59	成功

从表中 1 中看出,影像中所嵌入的水印对裁剪、旋转、缩放、平移、扭曲和加噪等攻击均具有较强的抵抗能力,特别对于任意裁剪、旋转、缩放等改变图像大小和相对位置的攻击均具有好的抗差性。

### 5.3 误差分析

作为重要的基础测绘数据,在有效达到水印算法的抗差性前提下,需要保证数据的精度要求。将本文算法与 Photoshop 中的水印算法进行误差统计比较,结果如下表所示。

表 2 误差比较结果  
Tab. 2 The error results

像素值改变量	0	1~4	≥5
本文算法改变率	50.1%	49.9%	0
Photoshop 改变率	10.01%	57.29%	32.70%

从表 2 可以看出,本文算法对原始载体的修

改最大改变量为 4 个像素值,而 Photoshop 对数据的最大修改量超过 4,且修改比例也比本文大得多。因此,本文算法有较好的精度。

### 5.4 影像特征分析

本文采用信息熵、标准差分析影像特征。其中,信息熵表示了一幅影像所含信息的多少,公式如下

$$H = - \sum_{i=0}^{255} p_i \log_2 p_i$$

式中,  $p_i$  表示每个灰度值出现的概率。

标准差反应各像元灰度值与影像平均灰度值的离散程度,公式如下

$$std = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (I(i,j) - \bar{I}(i,j))^2}$$

表 3 给出了原始影像与含水印影像的统计特征结果。

表 3 统计特征结果

Tab. 3 The results of statistical character

影像	信息熵	标准差
原始影像	7.6126	36.3266
含水印影像	7.5047	36.4632

从表 3 可以看出,原始影像和含水印影像的信息熵只差 0.11,表明二者携带的信息量基本相当,含水印影像较好地保持了原始影像的信息。两者的标准差值相差 0.14,表明含水印影像的离散程度没有大的变化。因此,嵌入水印信息后,影像仍能较好地保持原始数据的特征。

## 6 结论

现有的数字水印算法在抵抗几何攻击方面仍具有很大的脆弱性,本文提出了基于映射机制的盲水印算法,克服了水印信息无法同步的问题,从而提高了水印算法的抗几何攻击能力。通过扩充映射变量,极大提高了水印的容量,从而当只有部分影像时,仍能通过这些映射关系定位和检测水印,因而可有效地抵抗裁剪、旋转、缩放、平移、扭曲和加噪等攻击,特别能抵抗改变图像大小和相对位置的任意裁剪、旋转、缩放等攻击。同时,含水印影像能够较好地保持原始影像的特征,具有好的实用性。本文提出的算法,对于数字水印在遥感中的应用、遥感影像的安全保护等都具有重要作用。

## 参考文献:

- [1] ZHU Changqing, FU Haojun, YANG Chengsong, et al. Watermarking Algorithm for Digital Grid Map Based on Integer Wavelet Transformation [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2009, 34(5): 619-621. (朱长青, 符浩军, 杨成松, 等. 基于整数小波变换的栅格数字地图数字水印算法[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2009, 34(5): 619-621.)
- [2] YANG Chengsong, ZHU Changqing, TAO Daxin. A Blind Watermarking Algorithm for Vector Geo-spatial Data Based on Coordinate Mapping [J]. Journal of Image and Graphics, 2010, 15(4): 684-688. (杨成松, 朱长青, 陶大欣. 基于坐标映射的矢量地理数据全盲水印算法[J]. 中国图象图形学报, 2010, 15(4): 684-688.)
- [3] WANG Zhiwei, ZHU Changqing, YIN Shuowen, et al. An Adaptive Watermarking Algorithm for DEM Based on DFT [J]. Journal of Image and Graphics, 2010, 15(5): 796-801. (王志伟, 朱长青, 殷硕文, 等. 一种基于 DFT 的 DEM 自适应数字水印算法[J]. 中国图象图形学报, 2010, 15(5): 796-801.)
- [4] MIN Lianqian. A Robust Digital Watermarking in Cartographic Data in Vector Format [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica. 2008, 37(2): 262-267. (闵连权. 一种鲁棒的矢量地图数据的数字水印[J]. 测绘学报, 2008, 37(2): 262-267.)
- [5] BARNIM, BARTOLINI F, CAPPELLINI V, et al. Near-lossless Digital Watermarking for Copyright Protection of Remote Sensing Images[C] // Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS' 02. Toronto: IEEE, 2002: 1447-1449.
- [6] ZIEGLER H, TAMHANKAR H, FOWLER J, et al. Wavelet-based Watermarking of Remotely Sensed Imagery Tailored to Classification Performance[C] // Proceedings of IEEE Workshop on Advances in Techniques for Analysis of Remotely Sensed Data. Washington D C: Goddard Space Flight Center, 2003.
- [7] WANG Xiangyang, YANG Hongying, WU Jun. Content-based Adaptive Discrete Cosine Transform Domain Watermarking Algorithm for Remote Sensing Image [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2005, 4(4): 324-330. (王向阳, 杨红颖, 邬俊. 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[J]. 测绘学报, 2005, 4(4): 324-330.)
- [8] KBAIER I, BELHADJ Z. A Novel Content Preserving Watermarking Scheme for Multispectral Images[J]. Information and Communication Technologies, 2006, 16(2): 243-247.
- [9] GENG Xun, GONG Zhihui, ZHANG Chunmei. A Watermarking Algorithm for Remote Sensing Image Based on HVS and Integer Wavelet Transform [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2007(8): 20-22. (耿迅, 龚志辉, 张春美. 基于 HVS 和整数小波变换的遥感图像水印算法[J]. 测绘通报, 2007(8): 20-22.)

(责任编辑:雷秀丽)

收稿日期: 2010-09-03

修回日期: 2010-12-08

第一作者简介: 任娜(1981—), 女, 博士生, 主要从事数据安全研究。

First author: REN Na (1981—), female, PhD candidate, major in data security.

通讯作者: 朱长青

Corresponding author: ZHU Changqing

E-mail: zcq88@263.net

(上接第 622 页)

标中的定标器布放[J], 电子与信息学报, 2004, 26(1): 89-94.)

- [13] ROTH A, KNOPFLE W, RABUS B, et al. GeMoS: A System for the Geocoding and Mosaicking of Interferometric Digital Elevation Models[C] // Proceedings of IEEE 1999 International Geoscience and Remote Sensing Symposium: 2. Hamburg: IEEE, 1999: 1124-1127.

- [14] MORA O, PEREZ F, PALA V, et al. Development of a Multiple Adjustment Processor for Generation of DEMs Over Large Areas Using SAR Data [C] // 2003 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium: 4. Toulouse: IEEE, 2003: 2326-2328.

- [15] JIN Guowang, ZHANG Wei, XIANG Maosheng, et al. A New Calibration Algorithm of Interferometric Parameters for Dual-antenna Airborne InSAR[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2010, 39(1): 76-81. (靳国旺, 张薇, 向茂生, 等. 一种机载双天线 InSAR 干涉参数定标

新方法[J]. 测绘学报, 2010, 39(1): 76-81.)

- [16] JIN Guowang, XU Qing, ZHU Caiying, et al. Initial Baseline Estimation of InSAR Based on the Phases of Flat Earth[J]. Journal of Zhengzhou Institute of Surveying and Mapping, 2006, 23(4): 278-283. (靳国旺, 徐青, 朱彩英, 等. 利用平地干涉相位进行 InSAR 初始基线估计[J]. 测绘科学技术学报, 2006, 23(4): 278-283.)

(责任编辑:丛树平)

收稿日期: 2010-09-19

修回日期: 2011-02-22

第一作者简介: 靳国旺(1977—), 男, 博士, 副教授, 研究方向为摄影测量与遥感、合成孔径雷达干涉测量技术。

First author: JIN Guowang(1977—), male, PhD, associate professor, majors in photogrammetry and remote sensing, InSAR techniques.

E-mail: jgw77@sohu.com