

改进的基于遥感影像线性亮度调整的水印检测算法

任娜, 朱长青, 佟德宇

(南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室, 江苏 南京 210023)

[摘要] 在遥感影像水印算法研究中, 针对几何变换、压缩、加噪等常见的图像攻击方式研究的较多, 而抵抗亮度调整攻击的水印算法研究较少. 亮度调整对遥感影像的空间特征不会产生影响, 但会破坏嵌入到遥感影像中水印信息的同步性, 从而导致水印检测失败, 这给遥感影像水印算法提出了新的挑战. 本文从遥感影像版权保护的角度出发, 提出了一种改进的基于遥感影像线性亮度调整的水印检测算法. 首先, 阐述了遥感影像线性亮度调整的特点; 然后, 分析了基于映射机制水印嵌入算法中两个参数随着亮度调整变化的规律性, 构建了基于参数线性特征和映射机制的水印检测算法; 最后, 对改进的水印检测算法进行了实验验证. 实验对比结果表明, 该算法能够有效抵抗常见的影像处理方式的攻击, 对亮度调整攻击也具有好的鲁棒性.

[关键词] 遥感影像, 水印检测, 线性特征, 亮度调整

[中图分类号] P237.3 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-1292(2014)03-0052-05

Improved Watermarking Detection Algorithm Based on Linear Brightness Adjustment of Remote Sensing Image

Ren Na, Zhu Changqing, Tong Deyu

(MOE Key Laboratory of Virtual Geographic Environment, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

Abstract: During the process of research about watermark algorithm for remote sensing image, more attentions have been paid to those kinds of attacking on image such as geometric transformations, compression, noise, etc. On the other hand, the investigation on watermarking algorithms for anti-attacking brightness adjustment is still rare. Adjusting the brightness will not affect the spatial characteristics of remote sensing image, but will destroy the synchronism of watermarking information embedded in remote sensing image, and result in the detection failure of watermarking. Therefore, it brings new challenges to the watermarking algorithms of remote sensing images. In this paper, an improved watermark detecting algorithm is proposed with the requirements of protection for remote sensing images. Firstly, the linear characteristics of brightness adjustment are described. Then the principles of changing in two parameters of mapping mechanism based algorithm with brightness adjustment are analyzed. In consequence, the watermark detecting algorithm based on linear characteristics of parameters and mapping mechanism is deduced. Finally, the experiments are given to verify the performance of the improved watermark detecting algorithm. The experimental results show that the proposed algorithm can anti-attack the common attacking on images, and offer good robustness for attacking from brightness adjustment.

Key words: remote sensing image, watermarking detection, linear characteristics, brightness adjustment

遥感影像的亮度和对比度调整可以有效提高影像的层次感, 从而更有助于目标地物被识别. 在遥感影像预处理阶段一般需进行亮度和反差分布不均匀性校正, 使整幅影像内各个位置的亮度和反差基本一致^[1]. 亮度调整攻击不会造成遥感影像的空间特征分析, 并且简单易行, 是一种常见的遥感影像处理手段. 然而, 遥感影像经过亮度攻击后, 嵌入的水印信息会发生很大的变化, 常规的水印检测算法很难再提取出水印信息. 因此, 这对遥感影像水印算法带来了新的困难和挑战, 提出了更高的要求.

收稿日期: 2014-06-03.

基金项目: 国家自然科学基金(41301413)、江苏省自然科学基金(BK20130903)、江苏省高校自然科学研究项目(12KJB420002)、测绘遥感信息工程国家重点实验室资助项目(12102).

通讯联系人: 任娜, 博士, 讲师, 研究方向: 空间数据安全. E-mail: renna1026@163.com

遥感影像水印必须充分考虑其自身的本质特征,不能将普通的图像水印算法直接应用于遥感影像水印研究中,其含水印数据评价不能仅停留在可视效果上,还需要进一步研究其对应用的影响,如含水印影像对分类、目标提取等的影响^[2,3]. 基于变换域的水印模型已取得了重要的研究成果^[4-8]. 文献[9,10]将近无损数字水印技术应用于遥感影像版权保护中,采用空域修剪方式将误差进行了有效控制. 在进行水印嵌入过程中,不少学者考虑了 HVS 的特征,将水印嵌入量控制在可见误差范围内,有利于满足水印的不可见和鲁棒性^[11-13]. 另外,在影像逼真度透明性指标约束下,文献[14]给出了满足影像逼真度约束的嵌入强度上限估计式. 文献[15]提出了一种基于映射机制的鲁棒性强的遥感影像盲水印算法.

综上所述,遥感影像水印研究方面已取得了一些成果. 其中,文献[15]提出的基于映射机制的遥感影像水印算法具有较好的抗几何攻击能力,但当遥感影像遭受亮度调整攻击后,原有的像素值与水印信息之间的同步关系将被打破,难以提取到正确的水印信息. 因此,本文分析了亮度调整对像素值变化的规律性,利用像素值与水印信息之间映射关系相对应的同步变化机制改进了水印检测算法,实现了基于线性亮度调整特征的水印检测算法.

1 遥感影像亮度调整的特征分析

影像的亮度调整可以改变整幅影像的明亮程度,在改变幅度不大的情况下并不会影响到影像本身的意义和使用价值. 该处理方式是对遥感影像的像素值进行整体增加或者减少,并不会破坏遥感影像的表达形式和空间特征,在一些常见的图像处理软件中很容易实现,是一种常见的攻击形式.

遥感影像数字化后可以表示为 $I(x, y)$, 其值为亮度值. 它表示地表物体辐射的特征及其空间分布特征. 影像的灰度直方图可以直观反映影像的亮度分布规律,直方图曲线可以直观反映出影像的质量. 可以通过调整影像的亮度 and 对比度来提高影像的层次感,从而更有助于目标地物被识别. 本文中,我们首先考虑亮度调整的特点及对水印算法带来的困难与挑战.

为了研究的方便,实验中采用了一幅单通道遥感影像数据,亮度调整方式是在 Photoshop 软件下进行操作. 针对一幅实验图像在 Photoshop 下进行亮度调整,亮度变亮 15 和变暗 10 后的影像及调整前后的灰度直方图如图 1 所示.

从图 1 可以看出,亮度增加 15 后,调整后的直方图整体向右(灰度值+15)移动了 15 个像素. 与此相同,当亮度减少 10 后,调整后的直方图整体向左(灰度值-10)移动了 10 个像素.

从以上的图示和分析可以看出,遥感影像经过亮度调整后,影像的灰度值分布具有一定的规律性,影像中的所有像素值会发生同方向、同大小的改变. 因此,采用公式表达亮度调整前后影像的关系如式(1)所示:

$$I'_{M \times N} = I_{M \times N} + kE_{M \times N}, \quad (1)$$

其中, $I_{M \times N}$ 表示亮度调整前的影像, $I'_{M \times N}$ 为亮度调整后的影像, k 为整数 ($k \in [-254,$

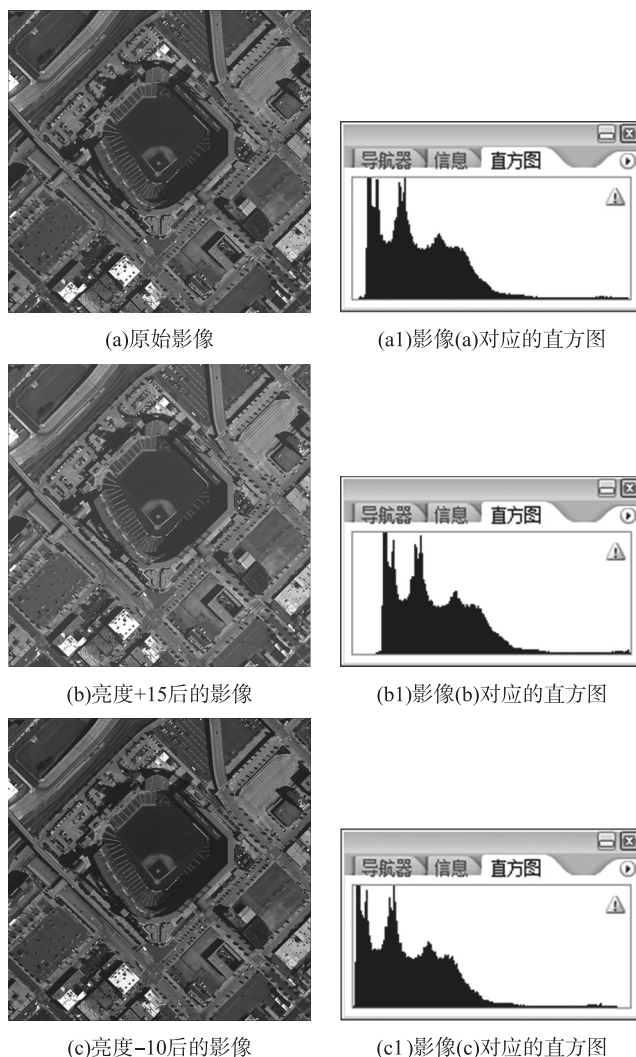


图1 亮度调整效果图

Fig.1 Effect drawing after brightness adjust

254]), $E_{M \times N}$ 为全部元素为 1 的矩阵, $M \times N$ 为影像的大小. 由此可见, 亮度调整相当于影像的直方图沿着横轴向左或向右平移 k 个单位.

2 改进的遥感影像水印检测算法

遥感影像经过一定的亮度调整攻击后, 具有一定的规律性, 像素值变化比较大. 在进行水印检测时, 面临的最大的问题是难以保证含水印数据与水印信息的同步性. 这是解决遥感影像抗亮度调整攻击的水印算法首要需要解决的问题. 通常的遥感影像水印算法无法提取出正确的水印信息, 这给基于像素级的遥感影像水印算法带来了新的挑战. 本文借鉴文献[15]的基于映射机制的遥感影像水印算法, 讨论 k 值对映射参数和水印信息之间关系的影响, 提出一种改进的与水印信息同步变化的匹配检测机制.

在基于映射机制的水印算法中, 关键是映射函数的建立, 主要是建立影像数据与水印嵌入位置之间的多对一映射关系. 算法中, 需要通过两个输入参数来确定水印的嵌入位置, 假设未亮度调整前两个参数分别为 x 和 y . 亮度调整后的参数为 x' 和 y' .

根据映射函数参数的定义可知,

$$\begin{cases} x = I(i, j), \\ y = \frac{1}{k' \times l'} \sum_{i=m-k'j=n-l'}^{i=m+k'j=n+l'} I(i, j), \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} x' = I'(x, y) = I(i, j) + k = x + k, \\ y' = \frac{1}{k' \times l'} \sum_{i=m-k'j=n-l'}^{i=m+k'j=n+l'} I'(i, j) = \frac{1}{k' \times l'} \sum_{i=m-k'j=n-l'}^{i=m+k'j=n+l'} (I(i, j) + k) = y + k, \end{cases} \quad (3)$$

其中, $k' \times l'$ 为窗口大小.

因此, 我们得出调整前后映射函数的两个参数的关系式如式(4)所示:

$$\begin{cases} x' = x + k, \\ y' = y + k. \end{cases} \quad (4)$$

由此可见, 在遥感影像亮度调整了 k 个单位后, 映射函数中的两个参数同样发生相同大小的平移单位. 因此, 可以采用匹配检测来解决亮度调整攻击所造成的检测时水印信息不同步的问题. 在水印匹配检测过程中, 可以根据不同的 k 值以同样的方向平移映射参数, 然后采用与基于映射机制相同的检测规则进行水印信息提取. 计算每次平移后的水印信息与原始水印信息之间的相关系数, 如果相关系数大于设置的阈值, 则提示水印信息检测成功; 否则, 继续进行平移操作.

3 实验与分析

为了验证本文水印检测算法的性能和有效性, 分别进行了不可感知性测试、抗压缩、滤波和亮度调整攻击能力的实验. 实验所选用的原始载体为两幅遥感影像(见图2), 均采用的是单波段遥感影像. 影像(a)的大小为 $5\,000 \times 5\,000$, 影像(b)的大小为 $2\,000 \times 2\,000$.



(a) $5\,000 \times 5\,000$

(b) $2\,000 \times 2\,000$

图2 原始实验影像

Fig. 2 The original images



(a) $5\,000 \times 5\,000$

(b) $2\,000 \times 2\,000$

图3 对应的含水印影像

Fig. 3 The corresponding watermarked images

3.1 不可感知性分析

按本文方法嵌入水印后的影像如图3所示.

从图2和图3对应的嵌入前后的两幅遥感影像来看,主观视觉上很难看出嵌入前后的差别.由此可见,嵌入水印信息后不影响影像的可视性,满足水印的不可感知性.

为了客观说明本文算法的有效性,采用相关系数来确定水印提取的效果,公式如下:

$$NC = \frac{1}{KL} \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^L b_{i,j}, \quad (5)$$

其中, $b_{i,j} = XNOR(w_{i,j}, w'_{i,j})$, $w_{i,j}$ 表示原始水印信息, $w'_{i,j}$ 表示提取的水印信息. $K \times L$ 表示水印的大小, $XNOR$ 表示异或运算.

为了更好地说明嵌入前后影像的不可感知性,采用峰值信噪比($PSNR$)来进一步评价嵌入前后影像的质量. $PSNR$ 的公式如下:

$$PSNR = 10 \times \log_{10} \frac{(MN) \times [\max(I) - \min(I)]^2}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [I(i,j) - I'(i,j)]^2}, \quad (6)$$

其中, MN 为影像的大小, I 为原始影像, I' 为含水印影像.

表1给出了提取的水印信息与原始水印信息的相关系数,及嵌入前后两幅影像的峰值信噪比值.

从表1可以看出,在未对嵌入水印的数据进行任何攻击时,提取的水印相关系数都为1,表明本文算法在没有任何攻击的情况下可以正确地提取出水印信息,具有好的有效性.嵌入前后影像的 $PSNR$ 值都高于45,从客观上也说明了本文算法具有很好的不可感知性.

表1 不可感知性客观指标

Table 1 Objective indicators for imperceptibility

影像编号	相关系数	峰值信噪比
(a)	1.00	46.526 8
(b)	1.00	45.886 2

3.2 鲁棒性分析

本文提出的水印匹配检测算法是对文献[15]水印检测算法的改进,在水印嵌入算法方面仍采用该文献提出的基于映射机制的水印算法.因此,本文算法对几何攻击、压缩、滤波等常见的图像处理具有好的鲁棒性.本文主要考虑亮度调整后水印算法的鲁棒性,将本文的匹配检测算法与文献[15]的检测算法进行亮度调整攻击的对比实验.实验结果如表2所示.

从表2的实验结果可知,本文算法在亮度调整后,提取的水印信息与原始水印信息之间的相关系数都非常接近于1.0.文献[15]在亮度调整后,提取的水印信息与原始水印信息之间的相关系数几乎都接近于0.由此可见,本文算法具有较强的抗影像亮度调整攻击,文献[15]算法毫无抵抗影像亮度调整攻击的能力.

表2 抗亮度调整实验结果

Table 2 The test result after the brightness adjustment

亮度调整 幅度	本文算法		文献[15]算法	
	相关系数	检测标识	相关系数	检测标识
增加10	1.00	成功	0.10	失败
增加15	1.00	成功	0.19	失败
增加25	0.98	成功	0.45	失败
增加40	0.95	成功	0.24	失败
减弱10	1.00	成功	0.21	失败
减弱15	0.99	成功	0.17	失败
减弱25	0.98	成功	0.09	失败
减弱40	0.96	成功	0.02	失败

4 结论

本文通过对亮度调整后遥感影像的特征分析,证明了其所具有的规律性,并针对这种特殊性,提出了一种改进的抗亮度调整的水印检测算法.该算法讨论了映射参数与亮度调整因子之间的线性关系,从而给出了抗亮度调整的水印检测策略.最后,将本文算法与文献[15]算法进行了对比实验.结果表明,本文方法在保留文献[15]算法的强抗几何攻击性基础上,有效提高了对亮度调整攻击的鲁棒性.

[参考文献](References)

- [1] Zhu Shulong, Zhang Zhen, Zhu Baoshan, et al. Experimental comparison among five algorithms of brightness and contrast homogenization[J]. Journal of Remote Sensing, 2011, 15(1): 117-122.
- [2] Barni M, Bartolini F, Cappellini V, et al. Copyright protection of remote sensing imagery by means of digital watermarking [C]//Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites V. Torino, Italy, 2001, 4 540: 565-576.

- [3] Purna Kumari B, Subramanyam Rallabandi V P. Modified patchwork-based watermarking scheme for satellite imagery[J]. Signal Processing, 2008, 88(4): 891–904.
- [4] Shikha Tripathi, Nishanth Ramesh, Bernito A, et al. A DWT based dual image watermarking technique for authenticity and watermark protection[J]. Signal and Image Processing, 2010, 1(2): 34–35.
- [5] 朱长青, 任娜. 一种基于伪随机序列和 DCT 的遥感影像水印算法[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2011, 36(12): 1 427–1 429.
- Zhu Changqing, Ren Na. An algorithm for digital watermark based on pseudo-random sequence and DCT for remote sensing image[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2011, 36(12): 1 427–1 429. (in Chinese)
- [6] 李丽丽, 孙劲光. 基于 Contourlet 变换的遥感影像数字水印方案[J]. 计算机应用与软件, 2012, 29(2): 60–63.
- Li Lili, Sun Jinguang. A watermarking scheme for remote sensing images based on contourlet transformation[J]. Computer Applications and Software, 2012, 29(2): 60–63. (in Chinese)
- [7] Fang Hai, Zhou Quan, Li Kaijia. Robust watermarking scheme for multispectral images using discrete wavelet transform and tucker decomposition[J]. Journal of Computers, 2013, 8(11): 2 844–2 850.
- [8] 顾成喜, 李亚琴, 顾才东. 基于 PCA 和数据融合的遥感图像数字水印算法[J]. 计算机科学, 2012, 39(7): 290–292.
- Gu Chengxi, Li Yaqin, Gu Caidong. Remote sensing image watermarking based on PCA and data fusion[J]. Computer Science, 2012, 39(7): 290–292. (in Chinese)
- [9] Barni M, Bartolini F, Cappellini V, et al. Near-lossless digital watermarking for copyright protection of remote sensing images[J]. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2002(3): 1 447–1 449.
- [10] Roberto Caldelli, Francesco Filippini, Mauro Barni. Joint near-lossless compression and watermarking of still images for authentication and tamper localization[J]. Signal Processing: Image Communication, 2006, 21(10): 890–903.
- [11] Zhao Rui, Jiang Gangwu, Wang Shugen. Content-based multipurpose watermarking for remote sensing images[C]//Proceedings of the SPIE, Geoinformatics 2007: Remotely Sensed Data and Information. Beijing, China, 2007: 6 752–6 761.
- [12] Wang Xianmin, Guan Zequn, Wu Chenhan. An adaptive content based localized watermarking algorithm for remote sensing image[C]//Proceedings of IGARSS 2004. Anchorage, Alaska, 2004: 20–24.
- [13] 任娜, 朱长青, 王志伟. 抗几何攻击的高分辨率遥感影像半盲水印算法[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2011, 36(3): 329–332.
- Ren Na, Zhu Changqing, Wang Zhiwei. Semi-blind watermarking algorithm resistance on geometrical attacks for high-resolution remote sensing image[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2011, 36(3): 329–332. (in Chinese)
- [14] 尹忠海, 简剑峰, 周利华, 等. 以改进影像逼真度为约束条件的变换域水印嵌入强度[J]. 西安电子科技大学学报: 自然科学版, 2005, 32(3): 339–343.
- Yin Zhonghai, Jian Jianfeng, Zhou Lihua, et al. Upper limit of embedded strength of transformation domain digital watermarking under invisible target of improved image fidelity constraint[J]. Journal of Xidian University: Natural Science Edition, 2005, 32(3): 339–343. (in Chinese)
- [15] 任娜, 朱长青, 王志伟. 基于映射机制的遥感影像盲水印算法[J]. 测绘学报, 2011, 40(5): 623–627.
- Ren Na, Zhu Changqing, Wang Zhiwei. Blind watermarking algorithm based on mapping mechanism for remote sensing image[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2011, 40(5): 623–627. (in Chinese)

[责任编辑: 丁 蓉]