

DOI:10.13203/j.whugis20150207



文章编号:1671-8860(2017)08-1151-08

基于 QR 码的瓦片遥感影像数字水印算法

林 威¹ 王玉海¹ 任 娜¹ 郑小雪²

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 福建农林大学交通与土木工程学院,福建 福州,350002

摘 要:针对瓦片遥感影像数据,提出一种基于快速响应矩阵码(quick response code, QR code)的强鲁棒性盲水印算法。算法的设计充分顾及了瓦片遥感影像的数据特征,将包含版权认证信息的 QR 码水印图像进行数据压缩和预处理,有效降低了嵌入数据量;通过在水印嵌入单元和水印信息位之间建立稳定的映射关系确保水印信息的可靠嵌入;采用改变像素值位平面统计特征的方法实现对含水印瓦片遥感影像的快速定位。最后,对所提算法进行了试验验证。结果表明,QR 码的引入有效提升了水印信息容量,所提算法对于常规图像处理操作和拼接攻击具备良好的保真度和鲁棒性,可实际应用于瓦片遥感影像数据的版权保护。

关键词:QR 码;瓦片遥感影像;数字水印;鲁棒性

中图法分类号:P237; TP751; TN309.2

文献标志码:A

瓦片遥感影像数据是以“天地图”为代表的地理信息公共服务平台的重要数据源,随着网络地理数据服务的普及,瓦片遥感影像来源丰富和便于下载等特点所引发的非法使用和牟利等安全问题日益凸显,直接影响了数据所有者的权益和共享积极性。数字水印技术通过水印信息与载体数据的紧密融合实现数据产品的版权保护、内容认证和来源追溯等功能,是解决瓦片遥感影像数据安全问题的有效技术手段。

目前,在测绘地理信息领域基于数字水印的安全保护方案已取得了丰富的成果^[1-10],然而,将数字水印技术应用于瓦片数据的研究在国内外尚不多见。针对瓦片栅格地图,文献[11]在分析其数据特征的基础上,利用像元 R/G 通道的像素值确定该像元所对应的水印信息位,通过修改 B 通道的像素值嵌入水印信息,具有较好的实时性。文献[12]提出一种特征级的瓦片栅格地图盲水印算法,在保证透明性的同时提高了对各种水印攻击方式的鲁棒性。文献[13]采用伪随机二值序列作为无意义水印信息的生成方式,通过映射函数将水印信息嵌入瓦片栅格地图小波变换后的低频子带,算法具有较好的不可见性和鲁棒性。针对瓦片遥感影像数据,文献[14]通过分析瓦片遥感

影像数据的拼接特性,运用黄金分割法提出了一种抗拼接攻击的瓦片遥感影像数字水印算法。

水印信息一般可分为明文水印信息和无意义水印信息两类。对于明文水印信息,常规的生成方式是逐行扫描包含特定文本或图案的图像;无意义水印信息多采用具备某些统计特征的伪随机序列,如 m 序列、 M 序列、混沌序列等^[15]。明文水印信息在水印检测时可直接便捷地目视识别,但包含水印信息的图像在有限的几何空间内能够承载的信息量受到制约。无意义水印信息的长度较短,有助于降低水印嵌入算法的设计难度,文献[11-14]所提瓦片数据数字水印算法中均采用无意义水印信息。但无意义水印信息在进行水印检测时需要计算与参照信息之间的相关系数才能确定检测结果,且依赖附加的转换识别机制解读其内容,无法脱离特定的检测环境,水印检测的便捷性受到影响。瓦片数据尺寸恒定且单幅数据量小,对可嵌入的水印信息容量有着严格的限制。现今流行的 QR 码兼具数据量小、信息容量高、自纠错强和识读快速全方位等技术优势,将其作为水印信息的编码方式,在相同的几何空间内能够承载更多的信息;亦可根据信息容量的要求灵活选择合适的版本和纠错等级以调整嵌入数据量,

收稿日期:2015-12-10

项目资助:国家自然科学基金(41301413);江苏省自然科学基金(BK20130903);国家社会科学基金(11&ZD162)。

第一作者:林威,博士生,主要从事地理空间数据安全研究。linwei1099214@126.com

通讯作者:王玉海,博士。wangyuh@126.com

且在水印检测时无需任何附加信息,可直接扫码识读,相较无意义水印信息检测更为便捷,其强大的自纠错功能则有助于提高水印检测结果的准确性。

国内外关于 QR 码数字水印技术的研究已在图像水印领域取得了一定的成果。文献[16]在载体图像中同时嵌入可见和不可见的 QR 码水印信息,并通过可逆水印算法设计保证载体图像的质量不受影响,算法实现简单,具备较高的水印嵌入与检测效率。文献[17]提出一种具备更高信息容量和纠错能力的 QR 码生成方式,将 QR 码作为水印信息嵌入载体图像后对图像进行攻击,藉此验证 QR 码水印信息对常规图像处理操作的强鲁棒性。文献[18]提出一种基于 QR 码的 Contourlet 域数字水印算法,将 QR 码水印信息以量化的方式嵌入载体图像 Contourlet 变换后的低频子带,算法对旋转和缩放攻击具有较强的鲁棒性。文献[19]利用哈希函数生成具备唯一性的载体图像注册码,并将注册码嵌入载体图像小波域中对攻击操作敏感的高频子带,包含注册码和用户信息的 QR 码则被嵌入相对稳定的低频子带,算法兼具攻击检测能力和较强的鲁棒性。

目前 QR 码数字水印技术多应用于图像水印领域^[16-19],尚缺乏在瓦片遥感影像数据中引入 QR 码水印信息的先例。为此,本文从瓦片遥感影像的数据特征和版权保护需求出发,结合 QR 码的技术优势,提出了兼具高嵌入容量和强鲁棒性的瓦片遥感影像数据水印嵌入和检测算法,为瓦片遥感影像数据的版权保护提供了切实可行的技术途径。

1 瓦片遥感影像的数据特征分析及其水印算法要求

对瓦片遥感影像的数据特征进行分析是水印算法的设计基础。相较常规遥感影像,瓦片遥感影像的数据特征可归结为共性特征和差异化特征两个方面。两者均拥有远超自然图像的丰富细节、边缘和纹理,像素值有明确的物理意义,能通过不同的波段反映差异化的地物信息。差异化特征主要体现在以下 3 个方面。

1) 恒定尺寸特性。单幅瓦片遥感影像的尺寸是恒定的,均为 256 像素×256 像素。

2) 小数据量特性。单幅瓦片遥感影像的数据量较小,仅包含切片前原始遥感影像的部分信息。

3) 拼接处理特性。在实际应用中,仅调用单幅瓦片遥感影像的情况很少见,通常根据需要对多幅瓦片进行拼接处理后再行调用。

常规遥感影像的尺寸远超瓦片遥感影像,拥有更大的空间用于承载水印信息,对嵌入数据量的敏感度较低。因此,针对常规遥感影像设计的水印算法难以直接应用于瓦片遥感影像,需结合瓦片遥感影像的版权保护需求,设计符合瓦片遥感影像数据特征的水印算法。设计要求如下。

1) 保真度要求。主要包括主观和客观两个层面。在主观层面,水印算法必须满足视觉保真度这一基本要求,即对于人类视觉系统嵌入的水印信息是不可感知的;在客观层面,水印算法应当具备良好的“近无损”特性,即含水印影像与原始影像之间的数据差异尽可能小。

2) 高容量要求。恒定尺寸和小数据量特性决定了单幅瓦片数据的可嵌入水印信息容量有限。为实现版权保护的功能,需要嵌入尽可能丰富的版权信息。因此,水印算法应能良好地协调水印信息容量与嵌入数据量之间的矛盾。

3) 鲁棒性要求。用于版权保护的瓦片遥感影像数字水印算法必须具备较强的鲁棒性。即要保证嵌入的水印信息不被常规的图像处理方式如旋转、缩放、加噪等去除,又要在经过拼接处理后的影像数据中准确地定位与提取出水印信息。

2 瓦片遥感影像数据水印嵌入和检测算法

2.1 算法概述

算法的基本思想是先将版权认证信息编码为 QR 码,再对 QR 码水印图像进行压缩和预处理,在保证水印信息容量的基础上减少嵌入数据量;选用单幅瓦片遥感影像作为载体数据,通过在水印嵌入单元和水印信息位之间建立稳定的映射关系确保水印信息的可靠嵌入,采用基于位平面的水印嵌入规则以控制嵌入强度;凭借改变影像边缘像元像素值的位平面统计特征实现对含水印影像的快速定位;利用 QR 码的自纠错能力增强水印算法对各类攻击的鲁棒性,发挥其快速全方位扫码识读的优势提高水印检测的便捷性。算法的工作流程如图 1 所示。

2.2 水印信息生成与预处理

对于空间域水印算法,水印容差指的是载体影像中映射至某个固定水印位的像元个数,提升水印容差有助于增强算法的鲁棒性。由于单幅瓦

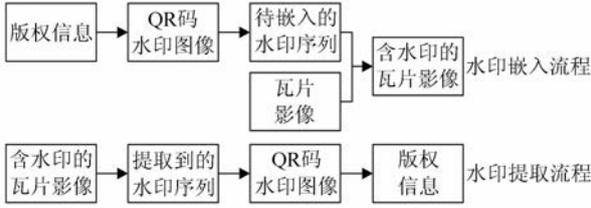


图 1 算法工作流程

Fig. 1 Flowchart of the Algorithm

片遥感影像中像元的个数是恒定的,因此待嵌入水印信息的数据量越小,水印容差越大,算法鲁棒性越好。本文通过对包含版权认证信息的 QR 码水印图像进行压缩和预处理,从而提升水印容差。

1) QR 码水印图像的生成和压缩。

将版权认证信息编码并转换为二值化的 QR 码水印图像,在此基础上,利用二维离散小波变换实现 QR 码水印图像的数据压缩;提取第一层小波分解后得到的低频信息作为压缩结果,压缩后的水印图像尺寸仅为原图像的 1/4,在保证图像主要信息不丢失的前提下有效降低了数据量。

2) 水印信息的预处理。

QR 码的符号结构如图 2 所示。

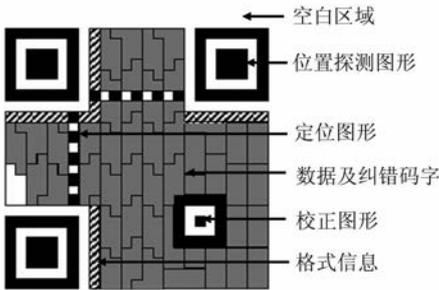


图 2 QR 码的符号结构

Fig. 2 Structure of QR Code

通过分析 QR 码的符号结构可知,对于符号版本和纠错等级既定的 QR 码,除数据及纠错码以外的组成部分均为固定内容。为了进一步降低水印信息的数据量,对压缩后的 QR 码水印图像进行逐行扫描,提取其中的数据及纠错码字部分,重构为一维二值水印信息序列,用于嵌入载体数据。

2.3 水印嵌入算法

1) 读取载体瓦片遥感影像后,对载体影像 R/G/B 通道各像元的像素值进行量化处理,量化步长(Step)设置为 32,得到大小均为 256×256 的像素值矩阵 $M_{Quantify}(R)$ 、 $M_{Quantify}(G)$ 和

$M_{Quantify}(B)$ 。

2) 以 R 通道为例,预先指定大小为 $S(S=3, 5, 7, \dots)$ 的滑动窗口(本文取 $S=15$),对于 $M_{Quantify}(R)[m, n](m, n \in [k+1, 256-k], k=(S-1)/2)$,计算其邻域窗口像素均值 $S_{Ave}(R)[m, n]$ 。

$$S_{Ave}(R)[m, n] = \frac{1}{S^2} \sum_{m-k}^{m+k} \sum_{n-k}^{n+k} M_{Quantify}(R)[m, n] \quad (1)$$

对 G 通道和 B 通道同样执行上述操作,得到 $S_{Ave}(G)$ 和 $S_{Ave}(B)$ 。

3) 使用伪随机序列对 $S_{Ave}(R)$ 、 $S_{Ave}(G)$ 和 $S_{Ave}(B)$ 进行扩频调制。为保证伪随机序列的可确定性和可重复性,选择特定的初始种子 Seed 同时重置伪随机序列发生器状态,Seed 在水印提取时可作为密钥使用。在此基础上顺序生成 6 组伪随机序列,每个邻域窗口像素均值矩阵分别用 2 组伪随机序列进行调制,调制后的矩阵记为 $S_{Ave'}(R_1)$ 、 $S_{Ave'}(R_2)$ 、 $S_{Ave'}(G_1)$ 、 $S_{Ave'}(G_2)$ 、 $S_{Ave'}(B_1)$ 和 $S_{Ave'}(B_2)$ 。

4) 对调制后的邻域窗口像素均值矩阵根据其所有元素的取值范围进行区间划分。设预处理后所得一维二值水印信息序列 W 的长度为 L ,划分的区间个数 $N = \text{fix}(\sqrt{\frac{L}{3}})$ (fix 为舍入取整函数)。以 $S_{Ave'}(R_1)$ 为例,其各元素中最大值为 $\max(R_1)$,最小值为 $\min(R_1)$,则区间长度 $L(R_1) = (\max(R_1) - \min(R_1)) / N$,对于 $S_{Ave'}(R_1)[i, j](i, j \in [1, 256-S+1])$,其对应的区间值为:

$$M_{Coor}(R_1)[i, j] = \frac{S_{Ave'}(R_1)[i, j] - \min(R_1)}{L(R_1)}$$

同理,得到与各邻域窗口像素均值矩阵对应的区间值矩阵 $M_{Coor}(R_2)$ 、 $M_{Coor}(G_1)$ 、 $M_{Coor}(G_2)$ 、 $M_{Coor}(B_1)$ 和 $M_{Coor}(B_2)$ 。

5) 在区间值矩阵与水印信息序列 W 间建立映射关系。将 W 分为 3 段,每个分段包含 $(N+1)^2$ 个水印位,若 W 的长度 $L < 3 \times (N+1)^2$,则将第 3 个分段中不足的水印位用“0”填充。每两个区间值矩阵映射至 1 个分段,得到映射表 $\text{Index}(R_1, G_1)$ 、 $\text{Index}(G_2, B_1)$ 和 $\text{Index}(R_2, B_2)$,映射表用于保存作为映射参数的区间值经过变换后所对应的水印信息位。映射规则如式(2)所示,其中 Round 为四舍五入函数:

$$\begin{cases}
 \text{Index}(R_1, G_1) = \text{Round}(\mathbf{M}_{\text{Coor}}(R_1) \times \\
 (N+1) + \mathbf{M}_{\text{Coor}}(G_1)) + 1 \\
 \text{Index}(G_2, B_1) = (N+1)^2 + \\
 \text{Round}(\mathbf{M}_{\text{Coor}}(G_2) \times (N+1) + \\
 \mathbf{M}_{\text{Coor}}(B_1)) + 1 \\
 \text{Index}(R_2, B_2) = 2 \times (N+1)^2 + \\
 \text{Round}(\mathbf{M}_{\text{Coor}}(R_2) \times (N+1) + \\
 \mathbf{M}_{\text{Coor}}(B_2)) + 1
 \end{cases} \quad (2)$$

6) 在载体瓦片遥感影像的 R 通道嵌入第 1 个分段的水印信息, G 通道嵌入第 2 个分段, B 通道嵌入第 3 个分段。仍以 R 通道为例, 将映射表 $\text{Index}(R_1, G_1)$ 与载体瓦片遥感影像的 R 通道像素值矩阵 $\mathbf{M}_{\text{Band}}(R)$ 进行匹配, 采用基于位平面的水印嵌入方法, 令 $P = \text{Index}(R_1, G_1)[i, j]$, $V = \mathbf{M}_{\text{Band}}(R)[i+k, j+k]$, 其中 $i, j \in [1, 256-S+1], k = (S-1)/2$ 。水印嵌入规则如式(3)所示:

$$V_x = \begin{cases} 1, W(P) = 1 \\ 0, W(P) = 0 \end{cases} \quad (3)$$

式中, x 表示像素值的第 x 位平面, $x=0, 1, 2, \dots, 7$, 本文取 $x=2$ 。基于相同的嵌入思想, 完成对 G 通道和 B 通道的水印嵌入。

7) 对于嵌入水印后的瓦片遥感影像, 依据嵌入规则可知, 水印嵌入单元是可以取得邻域窗口的像元, 影像边缘像元的像素值中并不包含水印信息, 边缘的宽度为 $(S-1)/2$ 。提取含水印影像边缘像元中 B 通道像素值的第 1 位平面, 将其全部置“1”, 从而改变边缘像元中该位平面的统计特征。

水印嵌入算法中, 通过步骤 1)~4) 将载体瓦片遥感影像各通道的像素值矩阵转换为对应的区间值矩阵。由于区间值相较像素值对于图像处理操作具有更强的不变性, 因此步骤 5) 选择区间值作为映射参数, 以确保对水印信息位的稳定映射。步骤 6) 中所采用的分段嵌入思想是基于提升水印容差的考量, 相较在单通道中嵌入整个水印信息序列的做法, 分段嵌入可提升约 3 倍的水印容差。步骤 7) 专门针对瓦片遥感影像的拼接处理特性, 水印提取时, 边缘像元位平面统计特征的显著变化有利于从拼接处理后的多个瓦片遥感影像中快速定位至含水印的瓦片, 从而提高水印检测的可靠性。

2.4 水印提取算法

水印提取是嵌入的逆过程, 使用与嵌入算法相同的窗口大小 S 和伪随机序列发生器初始种子 Seed 。

1) 根据 S 提取待检测瓦片遥感影像边缘像元中 B 通道像素值的第 1 位平面, 对其中“0”和“1”的个数进行统计; 考虑到图像处理操作可能引起的像素值变化, 若“1”所占比例达总数的 60% 以上, 则判断该瓦片遥感影像中包含水印信息, 之后再行水印提取, 否则跳过水印提取的环节。

2) 对于含水印的瓦片遥感影像, 先依照与嵌入算法相同的量化处理, 邻域窗口像素均值计算, 利用 Seed 生成的伪随机序列进行扩频调制、区间值转换等步骤建立映射表, 再利用映射表从含水印影像除边缘外各通道像素值的第 2 位平面中获取嵌入的水印信息。由于水印容差的存在, 同一水印信息位将被多次提取, 需根据多数原则判定该水印信息位的取值。

3) 利用确定的水印信息序列填充 QR 码除固定内容外的数据和纠错编码部分, 得到压缩后的 QR 码水印图像; 再通过小波逆变换将其还原为未压缩的 QR 码水印图像; 对该图像进行扫码识读, 最终获得与载体瓦片遥感影像数据相关联的版权认证信息。

3 试验与分析

3.1 对比试验

为验证 QR 码相较明文水印图像在信息容量、嵌入数据量和自纠错功能等方面的技术优势, 本文进行了对比试验。试验选用版本 4、尺寸 82 像素 \times 82 像素的 QR 码, 该规格的 QR 码最大信息容量可达 187 个数字、114 个英文字符或 48 个中文汉字。明文水印图像采用相同尺寸的文本图像, 文本字号为标准 4 号字。图 3 为 QR 码及扫码识别结果, 图 4 为明文水印图像。图 5 为局部裁剪后的 QR 码与明文水印图像。



扫码结果:
“天地图...天地图”
(共48个汉字)

图 3 QR 码及扫码识别结果

Fig. 3 QR Code and Code Information

如图 3、图 4 所示, 在尺寸相同的情况下, 得益于高效的编码方式, QR 码自身的信息容量远胜于传统的明文水印图像。此外, QR 码中还可加入统一资源定位符(uniform resource locator, URL), 当使用智能手机等终端设备扫码时可直接访问其中的链接, 以联网的方式获取更多的信息。相较明文水印图像, QR 码的信息容量具有

天地图天
地地图天地
图天地图

图 4 明文水印图像

Fig. 4 Text Watermark Image



图 5 裁剪后的 QR 码和明文水印图像

Fig. 5 Cropped QR Code & Text Watermark Image

良好的外部可拓展性。如图 5 所示,对 QR 码和明文水印图像进行局部裁剪后,由于具有自纠错功能,QR 码扫码识别结果和未裁剪前完全一致,而明文水印图像中则有部分信息缺失。

嵌入数据量方面,经过文中 § 2.2 部分的预处理环节后,QR 码的实际嵌入数据量可以压缩至 807 位,而相同尺寸的明文水印图像经扫描二值化后的数据量为 6 724 位,两者相差约 8 倍。

水印信息是整个水印系统的基础和重要组成部分。由对比试验可知,QR 码的信息容量、嵌入数据量和容错性能均显著优于明文水印图像;经过预处理后,数据量接近无意义水印信息(通常为 200~1 000 位),在检测便捷性方面则优于无意义水印信息。QR 码的技术特性能够很好地支持其在瓦片数据数字水印算法中的应用。

3.2 算法有效性试验

为验证所提算法的有效性,分别进行了保真度分析和鲁棒性分析试验。试验硬件环境为 CPU i7-3630QM,内存 8 GB,硬盘 500 GB;软件环境为 Windows 7 64 位操作系统, MATLAB 2013a。试验选择源自“天地图”平台的 256 像素 × 256 像素瓦片遥感影像数据作为水印载体,将“试验数据天地图版权所有”的版权认证信息编码转换为 QR 码水印图像。QR 码水印图像如图 6 所示,图 7 和图 8 分别为载体瓦片遥感影像和含水印影像。

3.2.1 保真度分析

保真度分析分为主观视觉分析和定量评价分



图 6 水印图像

Fig. 6 QR Code Image



图 7 载体影像

Fig. 7 Host Image



图 8 含水印影像

Fig. 8 Watermarked Image

析两部分。

1) 主观视觉分析利用肉眼对图 7 和图 8 两幅影像进行目视观察,嵌入水印前后的影像并无视觉差异,证明嵌入的水印信息对于人类视觉系统具备不可感知性。

2) 定量评价分析主要针对嵌入水印前后影像的视觉质量和数据改变量。其中,视觉质量以文献[13]中所采用的峰值信噪比 (peak signal-to-noise ratio, PSNR) 作为评价指标。对嵌入水印前后的影像进行计算,所得 PSNR 值为 37.548,远高于经验阈值 28,表明嵌入算法不会降低载体影像的视觉质量。数据改变量以水印嵌入前后像素值发生变化的像素点个数作为评价指

标,统计结果如表1所示。

由表1可知,嵌入算法对载体瓦片遥感影像像素值的改变量最大不超过4,且像素值发生改变的点占全部像素点的比例仅约35%,表明嵌入算法对载体影像的数据改变量较小。主观视觉分析和定量评价分析的结果均表明所提算法具有良好的保真度。

表1 数据改变量统计结果

Tab.1 Statistical Results of Data Changing

像素值改变量	像素点个数	所占比例/%
0	128 359	65.287
1~4	68 249	34.713
>4	0	0

3.2.2 鲁棒性分析

对含水印影像执行旋转、缩放、加噪等图像处理操作和拼接处理,从而验证所提算法的鲁棒性。由于QR码本质上属于有意义水印信息,故试验采用位错率(bit error rate, BER)作为定量评价指标,可衡量提取的水印信息相较原始水印信息的失真程度。对于有意义水印信息而言,BER值越小,表明提取到的水印信息越准确,被正确识读的可能性越高。BER的计算公式见式(4)。式中 N^2 为QR码水印图像的大小; X_{or} 为位异或运算; W_i 和 W'_i 为原始水印图像和提取到的水印图像中对应的水印信息位。对于提取的QR码水印图像,利用识别软件进行扫码,若能正确识读出“试验数据天地图版权所有”信息,则将试验结果标识为“可识读”,反之标识为“不可识读”。

$$BER = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^{N^2} [X_{or}(W_i, W'_i)] \times 100 \quad (4)$$

试验采用3种方式模拟拼接处理,试验数据如图9所示。其中,图9(a)为含水印瓦片遥感影像,图9(b)、图9(c)和图9(d)为未嵌入水印的瓦片遥感影像。方式1为图9(a)与图9(b)上下拼接;方式2为图9(a)与图9(c)左右拼接;方式3为图9(a)同时与图9(b)、图9(c)和图9(d)拼接,图9(d)位于图9(a)的对角线位置。试验结果见表2。

从表2的数据可以看出,嵌入载体瓦片遥感影像中的水印信息在经历旋转、缩放、加噪、扭曲等图像处理操作后,其BER值均接近于0,提取的QR码水印图像均能被正确地扫码识读,证明所提算法对于图像处理操作具有很强的鲁棒性;采用3种不同方式进行拼接处理后,利用所提算法均能快速定位至含水印瓦片且无损地提取水印



图9 拼接处理试验数据

Fig.9 Experiment Data for Mosaic Attack

表2 图像处理和拼接处理试验结果

Tab.2 Experimental Results of Image Processing and Mosaic Attack

攻击方式	攻击程度	BER/%	检测标识
旋转	15°	1.606	可识读
	74°	1.725	可识读
	180°	0.238	可识读
缩放(原始分辨率为72)	分辨率为36	1.904	可识读
	分辨率为144	0.297	可识读
加噪	高斯噪声(0.001)	0.952	可识读
	椒盐噪声(0.08)	2.261	可识读
扭曲	球面化(+7%)	1.904	可识读
	球面化(-8%)	1.665	可识读
拼接	方式1	0	可识读
	方式2	0	可识读
	方式3	0	可识读

信息(BER值为0),这表明所提算法能够有效抵抗拼接处理。综上所述,所提算法具有较好的实用性。QR码的自纠错功能在试验中也得到了体现,对于不同攻击方式造成的水印信息错误均能可靠地纠正,保证了识读结果的准确性。

4 结 语

本文利用QR码取代传统的明文水印图像,在增强水印信息鲁棒性的同时增加了信息容量。水印算法的设计充分考虑了瓦片遥感影像的版权保护需求与数据特征,通过试验分析证明所提算法具有良好的保真度和鲁棒性。本文的研究成果对于数字水印技术在网络地理数据服务中的应用以及瓦片遥感影像的版权保护等具有较高的实用价值。

参 考 文 献

- [1] Barni M, Bartolini F, Cappellini V, et al. Near-lossless Digital Watermarking for Copyright Protec-

- tion of Remote Sensing Images [C]. International Geo-science and Remote Sensing Symposium, Toronto, Canada, 2002
- [2] Wang X, Ouyang Y, Gu H M. A Remote Sensing Image Self-Adaptive Blind Watermarking Algorithm Based on Wavelet Transformation [C]. The 7th WSEAS International Conference on Signal, Hangzhou, 2007
- [3] Zhu Changqing, Fu Haojun, Yang Chengsong, et al. Watermarking Algorithm for Digital Grid Map Based on Inter Wavelet Transformation [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2009, 34(5): 620-625(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): 620-625)
- [4] Xu Dehe, Zhu Changqing, Wang Qisheng. Blind Watermarking Model of Vector Spatial Data Based on DFT of QIM [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2010, 35(9): 1 100-1 103(许德合, 朱长青, 王奇胜. 利用 QIM 的 DFT 矢量空间数据盲水印模型[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2010, 35(9): 1 100-1 103)
- [5] Wang Zhiwei, Zhu Changqing, Wang Qisheng, et al. An Adaptive Watermarking Algorithm for Raster Map Based on HVS and DFT [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2011, 36(3): 351-354(王志伟, 朱长青, 王奇胜, 等. 一种基于 HVS 和 DFT 的栅格地图自适应数字水印算法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2011, 36(3): 351-354)
- [6] Wang Qisheng, Zhu Changqing, Xu Dehe. Watermarking Algorithm for Vector Geo-Spatial Data Based on DFT Phase [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2011, 36(5): 523-526(王奇胜, 朱长青, 许德合. 利用 DFT 相位的矢量地理空间数据水印方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2011, 36(5): 523-526)
- [7] Zhu Changqing, Ren Na. An Algorithm for Digital Watermark Based on Pseudo-Random Swquence and DCT for Remoter Sensing Image [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2011, 36(12): 1 427-1 429 (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)
- [8] Kim J, Won S, Zeng W, et al. Copyright Protection of Vector Map Using Digital Watermarking in the Spatial Domain [C]. The 7th IDCTA International Conference, Busan, Korea, 2011
- [9] Gao Guangda, Ren Na, Wang Yongzhi, et al. Digital Watermarking Algorithm Using Image Relocation and Traversal Detection for Remote Sensing Image [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2012, 37(10): 1 229-1 231(高光大, 任娜, 王永志, 等. 利用影像重定位和遍历检测的遥感影像水印算法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2012, 37(10): 1 229-1 231)
- [10] Chen Liang, Zhu Changqing, Ren Na, et al. Watermarking Algorithm Using Wavelet Transform for GIS Video Data [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2012, 37(10): 1 256-1 259(陈亮, 朱长青, 任娜, 等. 利用小波变换的视频 GIS 数据数字水印算法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2012, 37(10): 1 256-1 259)
- [11] Ren N, Zhu C, Ren S, et al. A Digital Watermark Algorithm for Tile Map Stored by Indexing Mechanism [M]. Heidelberg: Springer Publications Inc., 2014
- [12] Ren Na, Zhu Changqing. A Watermarking Algorithm for Tile Map [J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2014(12): 60-62(任娜, 朱长青. 一种瓦片地图水印算法[J]. 测绘通报, 2014(12): 60-62)
- [13] Wang B, Ren N, Zhu C. Watermarking Algorithm Based on Data Feature for Tile Map [M]. Heidelberg: Springer Publications Inc., 2015
- [14] Ren Na, Zhu Changqing. A Watermarking Algorithm with Image Mosaic Resistance for Tile Map [J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2012 (S1): 491-493(任娜, 朱长青. 一种抗拼接的瓦片遥感数据水印算法[J]. 测绘通报, 2012 (S1): 491-493)
- [15] Sun Shenghe, Lu Zheming, Niu Xiamu. Digital Watermarking Technology and Application [M]. Beijing: Science Press, 2004(孙圣和, 陆哲明, 牛夏牧. 数字水印技术与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2004)
- [16] Hsu F H, Wu M H, Wang S J. Dual-Watermarking by QR-Code Applications in Image Processing [C]. Ubiquitous Intelligence & Computing and 9th International Conference on Autonomic & Trusted Computing, Fukuoka, Japan, 2012
- [17] Cho D J. Study on Method of New Digital Watermark Generation Using QR-Code [C]. The 8th International Conference on Broadband, Wireless Computing, Communication and Applications, Compiegne, France, 2013
- [18] Bai Taotao, Liu Zhen, Lu Peng. Digital Watermarking Scheme in Contourlet Domain Based on QR Code [J]. *Journal of Optoelectronics. Laser*, 2014, 25(4): 770-776(白韬韬, 刘真, 卢鹏. 基于 QR 码的 Contourlet 域数字水印算法[J]. 光电子. 激光, 2014, 25(4): 770-776)

[19] Thulasidharan P P, Nair M S. QR Code Based Blind Digital Image Watermarking with Attack Detection Code [J]. *AEU-International Journal of*

Electronics and Communications, 2015, 69 (7): 1 074-1 084

QR Code Based Research on Digital Watermarking Algorithm for Tile Remote Sensing Image

LIN Wei¹ WANG Yuhai¹ REN Na¹ ZHENG Xiaoxue²

1 Key Laboratory of Virtual Geographic Environment of Ministry of Education, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China

2 College of Transportation and Civil Engineer, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China

Abstract: A blind watermarking algorithm which has strong robustness based on quick response (QR) code for tile remote sensing image was presented. Considering the data feature of tile remote sensing image fully, QR code image which contains the information of copyright authentication is compressed and pretreated in order to reduce the quantity of embedded data effectively. The watermark is embedded reliably based on building a stable mapping relationship between the watermark embedding units and the information bits. The method which changes the statistical characteristics of bit-plane of the pixel value can achieve fast positioning of tile remote sensing image which contain watermark. Finally, the proposed algorithm is validated by test. The result proved that QR code effectively enhances the capacity of watermark information, and the proposed algorithm has good fidelity and robustness to common image processing operations and mosaic attacks, which can be used to protect the copyright of tile remote sensing image.

Key words: quick response code; tile remote sensing image; digital watermarking; robustness

First author: LIN Wei, PhD, specializes in geo-spatial-data security. E-mail: linwei1099214@126.com

Corresponding author: WANG Yuhai, PhD. E-mail: wangyuh@126.com

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China, No. 41301413; the Natural Science Foundation of JiangSu Province, No. BK20130903; the National Social Science Foundation of China, No. 11&ZD162.