

基于语义特征的电子海图权限水印研究

赖明珠^{1,2}, 张立国¹, 冯维淼³, 王媛媛⁴, 王勇¹, 李守政¹

(1. 哈尔滨工程大学计算机科学与技术学院, 黑龙江 哈尔滨 150001;

2. 哈尔滨理工大学软件学院, 黑龙江 哈尔滨 150001;

3. 中国科学院信息工程研究所, 北京 100093; 4. 东北林业大学机电工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘 要: 为了进一步扩展数字水印功能, 提出了权限水印的概念, 即水印信息定义用户对载体的具体操作。基于图像特征识别技术, 构造基于语义特征的电子海图权限水印, 通过对水印信息的解读, 拦截和控制对电子海图的访问操作。实验分析表明, 该方法能够实现网络环境下的数据分发和操作验证, 在防篡改、水印伪造方面具有突出的性能。

关键词: 信息隐藏; 电子海图; 数字水印; 权限控制

中图分类号: TP309

文献标识码: A

Study on authority watermark of the electronic chart based on the semantics characteristics

LAI Ming-zhu^{1,2}, ZHANG Li-guo¹, FENG Wei-miao³, WANG Yuan-yuan⁴, WANG Yong¹, LI Shou-zheng¹

(1. College of Computer Science and Technology, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China;

2. School of Software, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150001, China;

3. Institute of Information Engineering, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China;

4. School of Mechatronics Engineering, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

Abstract: In order to expand the function of watermarking technology, a concept of authority watermark, for which, watermarks defining the users' specific operations on the digital carriers was proposed. With interception technology on images, the constructed authority watermark based on the semantics characteristics of the watermark images, through the interpretation of the watermarks, accessing behaviors on the electronic chart would be controlled. Experimental results show that, this method can realize safety distribution and operation verification under the network environment, especially with outstanding performance in tamper resistant and forgery.

Key words: information hiding, electronic chart, digital watermarking, authority control

1 引言

权限水印, 又称“安全水印”, 属于可逆水印的一种, 但权限水印标识包含了海图的操作特性和文件属性, 通过解析水印标识可以限制用户操作权限。众所周知, 二维电子海图已经广泛应用于海军装备、海洋开发、海洋工程领域; 同时, 二维电子

海图大范围应用后所引发的安全性问题, 也迅速成为研究人员关注的热点。

当前二维电子海图的安全研究进展缓慢, 根据水印实现方法的不同, 已有二维电子海图水印算法大致可分为以下 2 种。

1.1 结构性复合水印

美国、印度以及中国的研究人员先后提出了

收稿日期: 2016-04-20; 修回日期: 2016-09-07

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.61472096, No.61202455); 黑龙江省博士后基金资助项目 (No.F201212, No.F201306); 国家科技支撑计划基金资助项目 (No.2012BAH81F02); 哈尔滨工程大学中央高校基金资助项目 (No.HEUCF100609)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (No.61472096, No.61202455), Postdoctoral Foundation of Heilongjiang Province (No.F201212, No.F201306), The National Key Technology Support Program of China (No.2012BAH81F02), Central University Fund of HEU (No.HEUCF100609)

基于多级小波分解的复合安全水印策略，通过在数字海图中嵌入有价值信息（如指纹、签名信息等）来标识其所有者，追踪非法复制的来源。在地图小波域的高频部分和低频部分嵌入不同的水印信息，在高频部分使用数据融合技术嵌入小的徽标水印，在低频部分使用扩频技术嵌入一个高斯分布序列，这样可以使水印的稳健性更好。该方法基于高低频复合嵌入的思想，能够确保不知情攻击者在针对地图纹理或图像色彩进行单一攻击的情况下，水印标识仍然具有较好的存活率，同步提升了水印的嵌入容量。该方法具有较好的顽健性，在抵抗地图旋转、剪切等常规攻击方面都具有很好的性能。该方法的缺点是水印的保护功能始终处于被动状态，如果攻击者的操作强度较大，水印易被彻底破坏。

1.2 内容复合水印

为了解决在海图操作过程中水印信息可能丢失的问题，以及在使用扩频技术添加水印过程中内容扰动的问题，国外研究人员提出了一种新的复合水印算法^[1~4]。在算法中先后使用了扩频技术和 PatchWork 算法嵌入水印，在使用扩频技术的过程中，加入了块匹配矫正算法，对水印信息进行了特殊调整，在算法的性能和实现速度之间取得了良好的平衡。该方法体现了内容复合水印的特点，即关注水印标识自身所能体现的意义和达到的保护海图数据安全的效能。

通过分析电子海图安全水印的国内外发展现状，有以下发现。

1) 对于已有的矢量图形数字水印和影像类数字水印的研究成果，它们只适用于传统的数字矢量地图^[5]或数字影像地图^[6]，无法推广到二维电子海图。

2) 由于二维电子海图的数据耦合性较低，若将二维矢量地图水印技术^[5]直接应用于二维电子海图，将会使海图数据严重失真。

3) 文献[7~10]需要对海图进行小波变换，对于绝大多数的海图来说，其高频区域单一，这在一定程度上影响了低频嵌入的效果，导致该方法的抗攻击性能较弱；该方法的另一个不足是单纯依靠小波的频域系数来嵌入水印信息，很容易受到噪声攻击、剪切攻击，虽然不会导致水印信息丢失，但因数据混淆而无法正确提取；虽然文献[1]通过混沌序列扩频的方式提高了水印嵌入的

容量和隐蔽性，在一定程度上避免了水印信息被混淆情况的发生，但对电子海图的数据特征本身缺乏专门深入的研究，在对海图文件操作权限的控制上尚属空白。

4) 文献[2~4]对海图水印编码进行了块匹配矫正，进一步对水印信息进行强化处理，确保水印提取的正确性；同时，文献[11~15]也提出了多水印的策略，以此发挥水印标识的内容特征，确保数字载体的安全，但该类安全水印的研究均处于初步阶段，缺乏实用性。

综上所述，电子海图安全水印技术的研究既有理论深度，又有应用价值，同时还存在很多问题。本文充分考虑电子海图的数据特性，在保持水印方法的水印容量、顽健性等性能的基础上，实现电子海图传输安全管控和操作权限管控的目标。

2 安全水印标识构建理论

首先，构建包含权限策略的水印标识，并通过自适应嵌入方法和无损水印方法将其嵌入到二维电子海图中。图 1 所示为二维电子海图权限水印标识的构造过程。

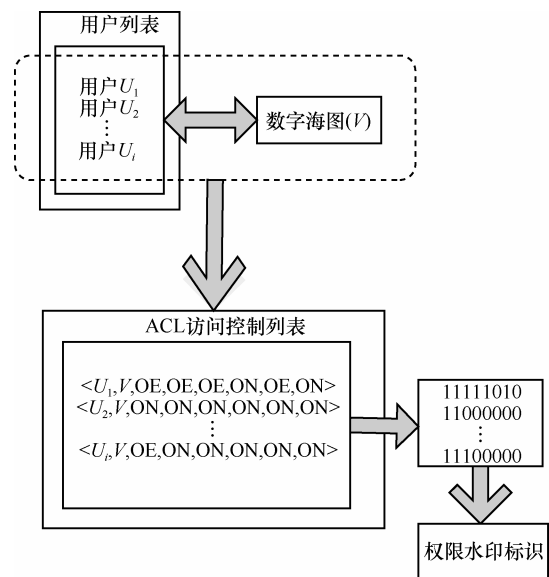


图 1 二维电子海图权限水印标识的构造过程

1) 对于给定的数字海图 V ，将其分发给 i 个用户，为了防止用户对海图的非法操作，根据用户 $U_j (j=1, 2, \dots, i)$ 对地图 V 的不同权限，制定访问控制列表 L 。

2) 对于 $L_0 = \langle U_1, V, OE, OE, OE, ON, OE, ON \rangle$ ，“OE”为允许操作，而“ON”为禁止操作，用户 U_1




对海图 V 的权限序列 “OE,OE,OE,ON,OE,ON” 中，代表了“打开、编辑、剪切、复制、打印、更名”操作元素。同时，当“打开”元素为禁止时，后续操作项均为禁止，即 “ON,ON,ON,ON, ON,ON”。

3) 将海图 V 的访问操作列表 L 逐条转换为二进制编码，以 $L_0 = \langle U_1, V, OE, OE, OE, ON, OE, ON \rangle$ 为例，转换后为 “11111010”。

4) 将转换为二进制编码的访问控制列表 BL 构造为 $M \times N$ 的多维向量，其中， M 为一条访问控制项， N 为用户个数。

3 水印标识语义转换

语义水印的构建如表 1 所示，将使用者 ID 和权限操作序列合并构建权限水印编码。每一个权限水印编码都对应一类图像特征库。例如，用户 U_1 编码为 “01”（用户编码可扩展为多位），允许的操作为“打开文件浏览，但不可编辑”，如前所述编码序列为 “1000”，权限水印编码为 “011000”；该编码对应一组图像分类集合，即“椅子”。在实际应用中，根据海图规模、水印容量和用户需求，会从语义特征图像中选择一个大小适合的“椅子”图像作为语义水印，嵌入到海图中。











用户 (编码)	操作序列	操作序列	最终权限水印编码	语义转换后水印图像
$U_1(01)$	浏览、不可编辑	1000	011000	
$U_2(10)$	浏览、编辑、不可打印、不可另存	1100	101100	
$U_3(11)$	浏览、编辑、打印、另存	1111	111111	

如表 2 所示，语义特征库同权限水印编码之间，通过随机指定的方式确定对应关系。而权限水印最终选定的语义图像完全是随机的，相当规模、不同大小的同类语义图像都有很多。以权限水印编码 “011000” 为例，该编码所对应的语义分类特征图像是“椅子”，而该语义特征库内的图像会有很多，大小不同，差异明显。

4 语义水印应用框架

图 2 为语义应用框架。

表 2 权限序列对应的语义分类图像库示例

权限水印	语义图像	权限水印	语义图像
011000		101101	
011001		⋮	⋮
011010		⋮	⋮
⋮	⋮	111100	
101010		111101	
⋮	⋮	111110	
101100		111111	

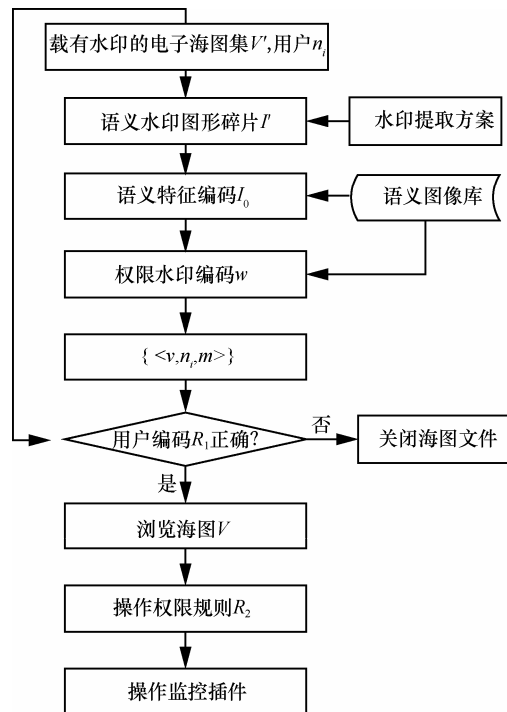


图 2 语义应用框架

对于任意的电子海图集 V ，用户群 N ，海图分配得到以下关系。

$$f(v_i, n_j) = \langle v_i, n_j \rangle \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^{k_2} v_i = V, \sum_{j=1}^{k_1} n_j = N \quad (2)$$

其中，有序偶对 $\langle v_i, n_j \rangle$ 表示了一种权限分配，即将海图 v_i 分配给用户 n_j 使用。其中，电子海图集 V 包含 k_1 个海图，服务用户数为 k_2 。

海图权限集合 M ，根据管理制定，一般包括“浏览、剪切、复制、打印、另存”等，表示为 $\{m_r | m_r \in M, |M| = T\}$ ，管理方会根据海图分配列表细化操作权限，得到以下关系。

$$f(v_i, n_j, M_k) = \langle v_i, n_j, M_k \rangle \quad (3)$$

其中， $v_i \in V, n_j \in N, M_k \subseteq M$ ，有序偶对 $\langle v_i, n_j, M_k \rangle$ 表示允许用户 n_j 对海图 v_i 可以执行的操作权限为 M_k 。 M_k 是一个离散的权限集合。

海图权限编码 R_2 由一组定长为 K 的二进制编码组成。 K 值视操作权限种类而定，如果对文件的常规操作包括“浏览、剪切、复制、打印、另存”，则 $K=5$ 。此时可定义为

$$R_2 : \{k_i | 1 \leq i \leq 5, k_i \in \{0, 1\}\} \quad (4)$$

其中， $k_i = 0$ 表示对应操作权限不可执行， $k_i = 1$ 表示具有相应操作权限。如果对某海图文件拥有的权限为“可浏览、可剪切、可复制、不可打印、不可另存”，则对应的权限编码为 $R_2 : \{k_i | 1 \leq i \leq 5, k_i \in \{0, 1\}\} = \{1, 1, 1, 0, 0\}$ ，即 $R_2 = "11100"$ 。

用户编码 R_1 用定长的二进制编码表示，假设多个海图被 x 个用户共享，则用户编码长度为 $\lfloor \lg x + 1 \rfloor$ 。如果海图文件共提供给 7 个用户使用，为了表示每一位用户的独立 ID，共需要 3 位 ($\lfloor \lg 4 + 1 \rfloor = 3$) 二进制编码表示。

综上所述，权限水印编码 w 的组成包括 3 个部分，即海图编号、用户编码以及权限编码。

设 3 位用户对同一电子海图拥有不同的操作权限，生成权限水印编码 w_1 、 w_2 和 w_3 。

在此基础上，根据语义特征库和水印编码找到对应的语义水印图像 I_1 、 I_2 和 I_3 。之后，利用水印嵌入算法将语义图像嵌入海图，生成不同的电子海图 v'_1 、 v'_2 和 v'_3 。

用户 n_i 浏览海图 v' ，利用水印提取算法可以获得海图内的语义水印 I' ，但语义水印会有所缺失。结合语义特征库，可以利用水印碎片，通过特征匹配的方式，获得对应的语义分类库，从而得到权限编码 w 。

按照权限水印的编码规则 $\langle v_i, n_j, M_k \rangle$ ，分别

获得地图编号 v_i 、用户编码 n_j 和权限编码 M_k 。

若用户编码 $n_j = n_i$ ，表明用户对该海图 v' 拥有合法权限 M_k 。随后，监控插件会按照具体规则进行操作的监控和拦截。

5 基于语义的权限水印方案

根据海图规模 z 和语义水印图像 w 的编码长度，设定阈值 $\lambda = f(z, w)$ ， λ 的大小决定了海图分区的数目，确保分区的面积 $g(z, \lambda, w)$ 足够嵌入一个单一的语义水印图像 w 。

1) 数字水印嵌入算法

对于给定的电子海图 v ，电子海图的大小为 z ，语义水印图像的大小为 w ，初始阈值为 λ ，将电子海图 v 等分为 $\frac{z}{g(z, \lambda, w)}$ 个区域。

在电子海图的 $\frac{z}{g(z, \lambda, w)}$ 个区域内，随机选择多个区域嵌入数字水印图像，且确保在每个区域内完整地嵌入一个数字水印图像。

本文选择以增加冗余节点的方法嵌入数字水印。在海图内增加冗余节点的方法有很多，原则上主要包括以下 3 种。

① 选择海图的曲线，在曲线上增加冗余节点。在海图内，任意曲线都是由线段首尾连接组成。假设直线的端点坐标为 (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) ，则可增加的冗余节点 (x_r, y_r) ，只需满足式(5)。

$$y_r = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} x_r + \frac{y_1 x_2 - y_2 x_1}{x_2 - x_1} \quad (5)$$

② 在分割的区域内，当没有曲线可供水印嵌入时，可以直接构建多条冗余的曲线和冗余节点。

③ 将数字水印编码依次嵌入到这些节点坐标内。

数字水印嵌入流程如图 3 所示。

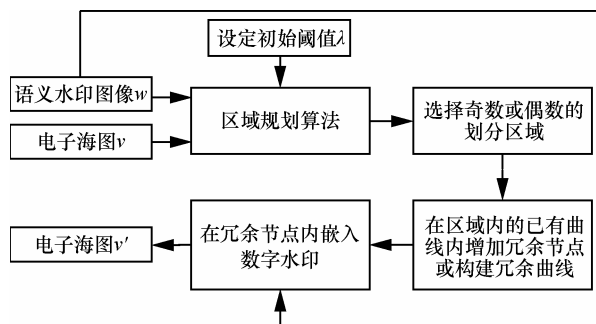


图 3 数字水印嵌入流程

2) 语义水印提取算法

如图 4 所示，提取算法包括以下内容。

- ① 根据电子海图 v' ，设定初始阈值 λ ，根据区域规划算法获得等面积的分割区域。
- ② 检测 2 个相邻区域内是否存在冗余节点，得到奇数或偶数序号区域。
- ③ 在奇数或偶数序号的区域内，去除冗余节点，提取水印碎片。
- ④ 根据语义特征匹配算法，获得语义特征库内分类特征编码。
- ⑤ 根据语义图像分类特征编码，获得水印编码。
- ⑥ 解析水印编码，获得用户 ID 和对海图 v 的权限信息。

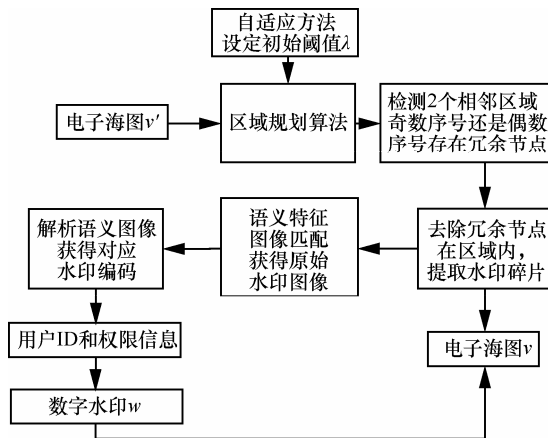


图 4 数字水印提取算法

第④步所应用的语义特征匹配算法，并不是通过水印碎片获得原始的嵌入水印图像，而是获得正确的图像特征分类编码。

6 语义特征图像匹配

本文采用了一种基于对象库语义表达的图像匹配算法。假设嵌入的语义水印图像为 i ， $i \in I_a$ ，特征库 I_a 内的图像可以表示为 $I_a = \{I_1, I_2, I_3, I_4, \dots, I_N\}$

由分类算法可知，语义水印图像 $i = i_x \in I_a$ ，嵌入电子海图后，再次提取到的水印碎片 $i_y \neq i_x$ ，但通过分类的方式，可以重新得到 $i_y \in I_a$ 。从而在未正确恢复水印图像的情况下，获得 I_a 所对应的权限编码。

1) 对象库的构建

语义特征图像库的构建种类并不需要太多，由于操作权限种类所限，彼此存在关联性，如表 3 所

示。基于实际操作关联，对象库的种类无需太多。

表 3 权限操作的关联性

序号	操作序列关联				权限编码
	浏览	编辑	打印	另存	
1	1	0	0	0	1000
2	1	1	0	0	1110
3	1	1	1	0	1110
4	1	1	1	1	1111

在同一种类对象库内，语义图像的选择要考虑地图载体的大小，水印图像选择范围应从 100 B 到 500 KB 左右，差异明显。

2) 图像特征分析

根据上文可知，由于空间关系简单，不存在多维对象组的问题，为了提高本轮算法的效率，只需要关注前景对象即可。这些对象以独立物体为主，背景单一，都为纯色。对于这些图像，使用颜色熵来衡量图像的背景复杂度。

$$H(x) = -\sum_{b \in B} C_x(b) \lg C_x(b) \quad (6)$$

其中， C_x 表示归一化后的图像颜色直方图。 B 代表颜色的量化集合， $b \in B$ 。对于任意一副图像 i ，使用红绿蓝(RGB)颜色空间来表示像素，设 $|B|=1\ 000$ 。

3) 图像分类算法

本文采用了一种上下文关系稀疏约束的编码算法。所谓“上下文关系”是指背景单一、以独立物体为主的图像之间存在着较高的相关度。

具体方法如下。

对于待分类的水印碎片图像 I_x 而言，使用求解 I_x 的稀疏表示向量 α 。

$$\arg \min_{\alpha} \frac{1}{2} \|I_x - D\alpha\|_2^2 = \lambda \sum_{\alpha_i \in c_1} \|\alpha_i\|_2 + \frac{\beta}{2} \sum_{j=1}^p \|\alpha - \alpha_{p_j}\|_2^2 \quad (7)$$

分类特征图像库集合 $I = \{I_s\}_{s=1}^{N_c} = \{I_j\}_{j=1}^{N_s}$ ， N_c 表示类别数量，而 I_s 表示第 s 的分类特征图像集合， I_j 表示第 j 个待分类图像， N_s 表示 I 中的图像数量， D 为数据字典，包含了相应类别的关键特征。

在实际测试中，对于待分类的水印碎片 I_x ， p 为上下文特征相近的邻居数量。保真项 $\|I_x - D\alpha\|_2^2$ 使重构残差取得最小值，防止过拟合；

$\sum_{\alpha_i \in c_1}^{N_c} \|\alpha_i\|_2$ 为组稀疏约束项; $\sum_{j=1}^p \|\alpha - \alpha_{p_j}\|_2^2$ 为上下文约束项; λ 和 β 表示平滑稀疏, 分别调整函数 $\sum_{\alpha_i \in c_1}^{N_c} \|\alpha_i\|_2$ 、 $\sum_{j=1}^p \|\alpha - \alpha_{p_j}\|_2^2$ 的贡献度。

对于待分类的水印碎片 I_x , 求得稀疏表示向量 α 后, 可对其进行确切分类, 获得分类特征库的编码, 即权限编码。

$$F(I_x) = \arg \min_i \sum_{\alpha_i \in \alpha} \|I_x - D\alpha_i\|_2^2 \quad (8)$$

其中, 选取 $\|I_x - D\alpha_i\|_2^2$ 重构残差最小时的 D_i , 将 I_x 确定为该类特征图像, 获得对应权限编码。

算法 1 图像分类法

输入 I (分类特征图像库集合), I_x (待分类水印碎片), p (最优近邻集合)

输出 I_x 的分类特征图像编码

1) 从 I 中选择与 I_x 关键特征相似的图像 I_j , 结合 I_j 的分类特征信息, 构建 I_x 的上下文邻居集合;

2) 计算邻居与 I_x 的距离, 选择距离最小的 I_x 个样本构成最优邻居集合 I_{N_p} ;

3) 将 I_x 和 I_{N_p} 分别代入式(7), 求解 I_x 的稀疏表示向量 α ;

4) 根据式(8), 对 I_x 分类计算, 得到具体的分类特征图像库序号 i ;

5) 返回图像库编号, 获得权限编码。

7 实验验证与分析

本文选择了基于 AO 插件的 ArcGIS 二次开发平台。

ArcGIS 平台是主流的数字地图编辑环境, 能够分类地图图层, 提取坐标等多种属性信息。该系统提供了基于 AO (arc objects) 和 AE (arc engines) 2 种模式的二次开发环境。

对于地图数字水印研究领域, 基于 AO 的开发环境提供了更多封装和对象以供调用。

如图 5 所示, 实验选择了 3 幅电子海图。



(a) 电子海图 a (b) 电子海图 b (c) 电子海图 c

图 5 测试用电子海图

本文选定的数字水印图像如图 6 所示, 水印图像大小为 30×40 。嵌入率为 $40\% \sim 60\%$, 嵌入率是指水印编码长度与载体空间规模的比值。其中, 海图载体空间规模是指可嵌入水印信息的节点数量与单个节点可嵌入水印编码长度的乘积。

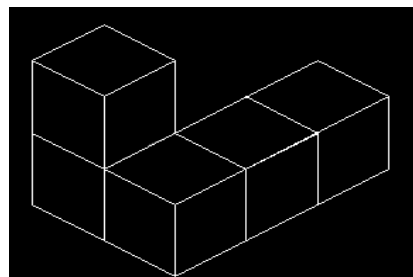


图 6 测试用数字水印

本文将从以下几方面具体讨论所提算法的性能和特点。

1) 顽健性分析

相同情况下, 与其他算法^[14, 15]进行比较, 测试本文算法的抗攻击性能, 包括剪切操作和亮度调整。

使用均方根误差 (RMSE, root mean square error) 来计算水印算法对数字海图的内容扰动。

$$x.RMSE = \left[\frac{1}{M} \sum_{x=1}^M [f'(x) - f(x)]^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

同时, 选用归一化系数 (NC, normalized correlation coefficient) 来计算结果水印与原始水印之间的相似度。


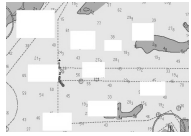
$$x.NC = \frac{\sum_{x=1}^M f(x)f''(x)}{\sqrt{\sum_{x=1}^M f^2(x)} \sqrt{\sum_{x=1}^M f''^2(x)}} \quad (10)$$

其中, $f(x)$ 、 $f'(x)$ 、 $f''(x)$ 分别表示 x 坐标在不同海图对象内的取值, 即原始海图、嵌入数字水印后的海图以及提取水印后的海图。

剪切实验结果如表 4 所示, 在实验中 NC 值比较了 2 次, NC_1 为使用水印算法直接提取的对比结果, 而 NC_2 为语义水印进一步解码后的比较结果。同时, 算法还进行了效率对比。

从表 4 的实验结果可知, 本文算法在水印检测的准确性方面要强于其他 2 种算法, 特别是在语义特征匹配后, 算法能够获得更精确的水印编码信息。同时, 本文算法具有更快的执行速度, 计算时间主要用于提取水印碎片之后的解码和特征匹配。

表 4 剪切操作实验结果分析

剪切图片	水印算法	NC_1	NC_2	$x.RSME$	$y.RSME$	计算时间/ms
	本文算法	0.949 2	0.975 4	0.000 36	0.000 40	1 833
	文献[14]算法	0.930 7	0.903 7	0.001 55	0.001 20	4 989
	文献[15]算法	0.941 8	0.941 8	0.000 40	0.000 42	6 764
	本文算法	0.953 0	0.981 4	0.000 23	0.000 28	3 055
	文献[14]算法	0.942 5	0.942 5	0.001 50	0.001 60	6 038
	文献[15]算法	0.932 2	0.932 2	0.000 78	0.000 80	8 127

而其他 2 种算法的计算时间则主要用于对于提取到的残留水印信息进行再组织。

由于空域算法对于海图内容的扰动普遍较大，基于频域的算法研究逐步成为热点。频域算法通过数学变换方式，将水印嵌入到海图的频域系数内，该类方法对于海图像素信息的调整较为敏感。如表 5 所示，本文对嵌入数字水印的地图进行了亮度调整操作的顽健性测试。通过这种操作，像素信息发生了显著的改变，对水印信息的破坏较大。本文选择了峰值噪声比 (PSNR) 进行评价，用来评价因亮度调整而导致水印图像的退化程度。

$$PSNR = 10 \lg \frac{255^2}{MSE} \quad (11)$$

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (f'(i, j) - f(i, j))^2 \quad (12)$$

其中， $f'(i, j)$ 、 $f(i, j)$ 分别表示原始海图和含水印海图在坐标 (i, j) 处的像素值。海图像素大小为 $M \times N$ 。

从实验结果可以发现，本文算法同其他算法一样，对于亮度调整引起的频域能量衰减具有明显的反馈，提取到的水印信息都损失较大，但本文从水印碎片中仍可通过特征提取手段获得较为完整的初始语义水印信息。同时，从峰值噪声比来看，本文算法的水印图像退化程度较低，基于区域划分和重复嵌入的方式，使算法获得相对较优的顽健性。

2) 可视化分析

以图 5 的 3 幅海图作为水印载体，分别给出了原始海图与已嵌入数字水印海图的对照关系。

从视觉来看，嵌入了数字水印的海图与原始海图无论从整体还是局部并没有显著差异，水印具有较好的不可见性，如表 6 所示。

3) 综合分析

为了验证算法的可用性，基于顽健性分析实验结果，以图 5(a) 为例，对该海图嵌入数字水印后，进行剪切操作，之后提取水印并进行语义分析和解码。

表 5 亮度调整操作实验结果分析



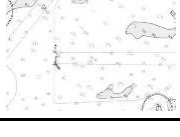
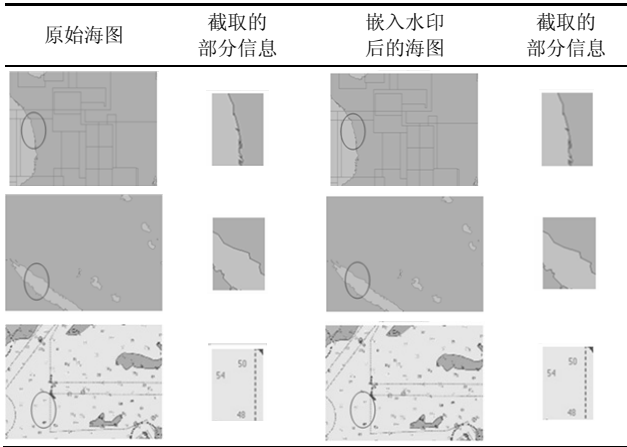
原始图片	调整后图片	水印算法	调整后的 NC_1	调整后的 NC_2	峰值噪声比/dB
电子海图 a		本文算法	0.673 2	0.975 8	13.554
		文献[14]算法	0.639 0	0.639 0	12.439
		文献[15]算法	0.622 6	0.622 6	11.482
电子海图 b		本文算法	0.582 9	0.979 6	12.483
		文献[14]算法	0.440 3	0.440 3	10.458
		文献[15]算法	0.503 9	0.503 9	8.581
电子海图 c		本文算法	0.623 2	0.968 2	12.492
		文献[14]算法	0.523 7	0.523 7	9.254
		文献[15]算法	0.592 3	0.592 3	9.482

表 6 可视化对比效果



如表 7 所示, 本文算法能够通过水印 W_1 进行二次语义解析, 获得与其图像特征相匹配的语义特征库 W_2 , 从而得到相似度更高的语义水印信息。而其他同类算法则不具备该特征。

8 结束语

基于数字水印图像的语义特征, 提出了一种强顽健性的电子海图水印算法, 算法较好地满足了电子海图精度无损的要求, 水印信息嵌入和检测对于海图都有很好的适用性。除具有完整性验证和版权保护的功能外, 本文重点引入语义特征编码的概念, 将电子海图信息权限编码后转换为语义图像的特征分类库, 使水印图像的特征具有了权限编码的定义。由于水印信息的检测和提取, 转变为语义图像的特征匹配和语义解析, 使水印信息检测率得到了提升, 能够更好地恢复水印的语义信息。对于语义水印应用框架的推广和应用, 这是确保语义水印信息进一步研究的关键。

参考文献:

- [1] IGUAL L, PRECIOZZI J, GARRIDO L, et al. Automatic low baseline stereo in urban areas[J]. Inverse Problems and Imaging, 2007, 1(2): 319-348.
- [2] YAMADA T, FUJII Y, TEZUKA S, et al. Line-division-based digital watermarking system for facilitating fair use of small-size vector map content[J]. Electronics and Communications in Japan, Part II: Electronics (English Translation of Denshi Tsushin Gakkai Ronbunshi), 2008, 91(9): 11-19.
- [3] SUN J, ZHENG C, GAO D. Lossless digital watermarking scheme for image maps[J]. Wireless Communication Over Zigbee for Automotive Inclination Measurement China Communications, 2014, 11(8): 125-130.
- [4] ZHANG L, SUN J, YIN G, et al. Cross structured light sensor and stripe segmentation method for visual tracking of a wall climbing robot[J]. Sensors, 2015, 15: 13725-13751.
- [5] LEE S H, HUO X J, KWON K R. Vector watermarking method for digital map protection using arc length distribution[J]. IEICE Transactions on Information & Systems, 2014, E97, D(1): 34-42.
- [6] WANG N N, MEN C G. Reversible fragile watermarking for 2D vector map authentication with localization[J]. Computer-Aided Design, 2012, 44(4): 320-330.
- [7] SUN J G, MEN C G. Wavelet neural network based watermarking technology of 2D vector maps[J]. High Technology Letters, 2011, 17(3):259-262.
- [8] TRIPATHI S, JAIN R C, GAYATRI V. Novel DCT and DWT based watermarking techniques for digital images[C]//The 18th International Conference on Pattern Recognition. 2006, 4: 358-361.
- [9] ZHU C Q, YANG C S, WANG Q S. A watermarking algorithm for vector geo-spatial data based on integer wavelet transform[C]//The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2008: 15-18.
- [10] SUN J, HE B, PEIXOTO-DE-BÜYÜKKURT C. Growth properties at

表 7 算法水印提取效果

水印算法	原始水印	提取水印 (W_1)	二次 (语义) 解析 (W_2)
本文算法			 分类特征编码: 101100
文献[14]算法			无变化
文献[15]算法			无变化

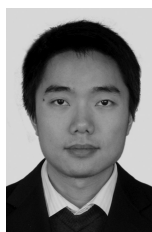
infinity for solutions of modified Laplace equations[J]. Journal of Inequalities & Applications, 2015, 2015(1): 1-7.

- [11] TAN X H. A blind watermarking method based on space reconstruction[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 444-445: 712-716.
- [12] YADAV, NAVNEET. Robust image-adaptive watermarking using an adjustable dynamic strength factor[J]. Signal Image and Video Processing, 2014, 9(7): 1-12.
- [13] THABIT R, KHOO B E. Robust reversible watermarking scheme using slantlet transform matrix[J]. Journal of Systems and Software, 2014, 88(1): 74-86.
- [14] WANG X, LIANG C, LIU Z G. Watermarking algorithm based on informed coding and informed embedding[J]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 443: 566-570.
- [15] CAO L, MEN C, JI R. High-capacity reversible watermarking scheme of 2D-vector data[J]. Signal Image & Video Processing, 2014, 9(6): 1387-1394.

作者简介:



赖明珠 (1976-), 女, 黑龙江哈尔滨人, 博士, 哈尔滨理工大学副教授, 主要研究方向为信息安全、数字水印等。



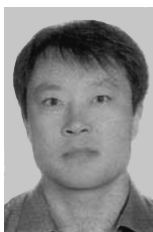
冯维森 (1981-), 男, 北京人, 博士, 中科院信息工程研究所研究员, 主要研究方向为手机木马检测、手机应用逆向分析、移动安全等。



王媛媛 (1993-), 女, 黑龙江哈尔滨人, 主要研究方向为人工智能等。



王勇 (1983-), 男, 河南潢川人, 博士, 哈尔滨工程大学讲师, 主要研究方向为数据库技术、多媒体信息处理等。



张立国 (1981-), 男, 黑龙江双城人, 博士, 哈尔滨工程大学讲师, 主要研究方向为多媒体信息处理等。



李守政 (1990-), 男, 山东青岛人, 哈尔滨工程大学硕士生, 主要研究方向为信息安全、数字水印等。