

基于差值映射的二维电子海图自适应水印^①

徐 锋^② 李佳楠 李博权

(哈尔滨工程大学计算机科学与技术学院 哈尔滨 150001)

摘 要 研究了二维电子海图的数字水印技术。针对二维电子海图地物信息多样,隐藏信息的嵌入选择结点有限,常规的水印嵌入方法很难获得较理想的水印容量和确保海图地理精度在可容许的范围内变动,提出了一种二维电子海图自适应水印方法,该方法利用基于平移不变的离散小波域求解策略,获得一个地图域空间内较为理想的一个水印嵌入载体集合。实验和研究表明,该方法具有很好的鲁棒性,同类似方法相比,能够适应海图常规操作所带来的数据扰动,在适应剪切、旋转以及噪声攻击方面具有较低的误码率。

关键词 信息隐藏, 数字水印, 电子海图, 差值映射

0 引 言

电子海图(electronic chart, EC)是近几年逐渐受到广泛重视的一种重要数字海图,随着国家海洋战略的逐步实施和海洋开发、海洋工程的展开,二维电子海图得到了大范围应用,相应地,其版权保护和信息安全技术的研究也日益受到重视。现在,大范围应用后的二维电子海图的安全性问题已被提到了国家数据安全战略高度。在这样的背景下,本项目开展了二维电子海图“安全水印”及相关性技术的研究,在充分考虑电子海图的数据特性以及保持水印方法的鲁棒性和水印容量的稳定性的基础上,提出了一种基于差值映射的二维电子海图自适应水印方法,它将为数字海图的可靠应用和网络化安全管理提供一种新的技术^[1]。

1 水印嵌入位置的选择

1.1 方法概述

由于二维电子海图具有丰富的纹理特性和矢量

拓扑信息,本研究采用基于平移不变的离散小波域方法来搜索最佳的水印嵌入顶点集。

为了获得一个理想的水印载体集合,本研究实现了一种如图 1 所示的国内学者提出的离散小波域求解策略^[2]:

- (1) 获得二维电子海图中的初始顶点集合。
- (2) 利用基于空间聚类的优化方法获得候选的关键顶点。
- (3) 对每个候选顶点,计算其相对的对数极坐标映射(log-polar mapping, LPM)幅值。
- (4) 结合要嵌入的水印容量,依 LPM 幅值降序,依次对幅值进行平移不变小波变换。
- (5) 在确定数量的小波系数内嵌入水印编码,其数学描述为

$$\varepsilon = DWT(\text{Maxm}(C(T(G)))) \tag{1}$$

式中, G 为电子海图顶点集合, ε 表示为小波系数; T 函数为空间聚类优化函数, C 为相对幅值计算函数, DWT 为离散小波变换函数。

当可选的嵌入结点所能容纳的编码容量不足时,可以通过对嵌入载体进行冗余扩展的方式实现水印编码的完整嵌入。由于海图包括了岛屿、陆地、

① 国家自然科学基金(61202455),教育部博士点基金(20112304120025),黑龙江省自然科学基金(F201212)和教育部中央高校基础研究基金(HEUCF100612)资助项目。
② 男,1977 年生,博士生;研究方向:信息安全,数字水印;联系人,E-mail: xufeng@hrbeu.edu.cn
(收稿日期:2015-06-16)

湖泊等多种多样的地物实体,故结合地物的空间拓扑关系和结构特征,增加可嵌入的数据对象。

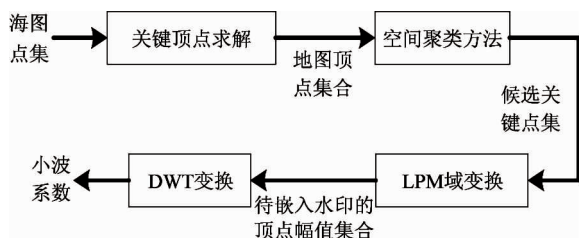


图1 水印载体集合优化示意图

1.2 平移不变性原理

海图载体具有很好的纹理信息,且能够抑制不同情况下的平移变化,尽可能减少由于海图操作导致的纹理变形^[3]。

为了进一步强化海图的纹理,更好地运用小波分解技术,降低色彩对后期小波频域的影响,需要进行归一化处理^[4],获得稳定的海图特征信息,避免再次出现结点去除、色彩缺失等问题。通过对海图的归一化处理,使得地图的轮廓信息非常明显,便于小波多级变换以及人类视觉系统对水印嵌入区域的选择。

对归一化的进行 N 级小波分解,得到低频区域的小波系数、中频序列和高频序列。对中频序列使用阈值序列 T 生成关键正、负系数和非重要正、负系数,分别用两位二进制编码 11,10,01,00 表示。

设海图中频区域某结点 v 的小波系数为 x ,阈值为 $T_0 (T_0 \in T)$,则

(1) v 的阈值系数为 11,代表其为纹理关键点;

(2) v 的阈值系数为 10,代表其为轮廓关键点。

由海图的结构特征^[5,6]可知,纹理结点与轮廓结点的分布具有相关性,小波平移的敏感性会破坏这种相关性,因此,关键结点的这种分布特性,使得其具备携带水印信息,并保护海图内容的作用。即一旦关键结点的分布特性被破坏或结点被移除,水印信息丢失,海图也失去了纹理或轮廓特征,不再具

备可用性。

2 差值映射方案

2.1 水印嵌入操作

纹理关键结点或轮廓关键结点构成了初始顶点集合,对该集合还需要进一步确定水印的嵌入方式。

设关键结点的平面坐标为 (x, y) ,通过离散小波处理为极坐标,表示为

$$I(x, y) \rightarrow I(r, \theta) \quad (2)$$

以水平方向为起点,步长为 $2\pi/M$ 进行分割,得到离散网格 (r_i, θ_j) , M 为 θ 的量化级数。

根据式(2),1个水印比特的嵌入操作,表示为利用网格内两个相邻结点的像素灰度值进行线性差值,得到的结果赋值给 $I(r_i, \theta_j)$ 。

2.2 水印提取操作

水印的提取方案如下:

对海图的极坐标灰度分布 $I(r, \theta)$,定义方向 θ_j 的方向能量分布函数为

$$p(\theta_j) = \sum_{i=0}^{N-1} I(r_i, \theta_j) \quad (0 \leq j \leq M) \quad (3)$$

$p(\theta_j)$ 反映了海图在 θ_j 方向的能量分布,依此类推,计算每个 θ 的方向能量分布序列。

设电子海图 EC 嵌入水印后的能量分布序列为 $EC[p(\theta)]$,则在围绕水平方向 $[-\pi/18, \pi/18]$ 区域内,以 $2\pi/M$ 为步长,计算每一个结点 $p(\theta_i)$ 的移位灰度距离,则提取出一位水印编码。

2.3 具体流程

(1) 水印嵌入方案

输入:数字地图 V ,矢量结点集合 P ,水印编码 W 。

输出:嵌入水印后的地图 V' 。

流程:

1) 利用基于空间聚类的方法获得供水印嵌入的候选顶点 G 。

2) 对每个候选顶点,计算 LPM 幅度值。

3) 根据结点的 LPM 幅值,对结点降序,然后依次对结点的幅值小波变换。

4) 针对结点集合 G , 基于空间聚类 and 实体重心计算的方法获得两个关键顶点, 计算相对相位值。对相位值的整数部分计算邻近差值, 获得一个新的差值序列。

5) 在确定数量的小波系数内嵌入水印编码, 其数学描述为

$$\varepsilon = DWT(\text{Maxm}(C(T(G)))) \tag{4}$$

式中, G 为结点集, ε 为小波系数, $\varepsilon \in W$; T 函数为空间聚类优化函数, C 为相对幅值计算函数, DWT 为小波平移变换函数。

(2) 水印提取方案

输入: 嵌入水印的地图 V' 。

输出: 水印 W_i 。

流程: 1) 利用基于空间聚类方法获得顶点 G 。

2) 根据结点的 LPM 幅值对结点升序, 然后依次对结点的幅值进行小波逆变换。

3) 针对顶点 $G, \omega = WDWT(\text{Maxm}(C(T(G))))$, 式中 G 为结点集、 ω 为小波系数、 $\omega \in W_i, T$ 函数为空间聚类优化函数, C 为相对幅值计算函数, $WDWT$ 为小波平移逆变换函数。

4) 获得水印编码 W_i 。

3 实验与分析

为了尽可能简化电子海图的应用环境和操作复杂度, 本文选择了基于 MO 控件的 ArcGIS 环境。

本人选择三种方法进行性能比较: 文献[7]提出的一种抗栅格数据拟合的水印方法; 文献[8]提出的一种基于几何形态的水印方法; 文献[9]提出的一种基于空间特征的方法。

3.1 常规操作测试

海图根据设计和实用需求, 其精度需求在 $10^{-7} \sim 10^{-8}$ 数量级, 而有时用户并不需要过高精度的数据, 为此可进行精度调整, 通常只保留到小数部分的 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ 之间。

本文讨论两种情况: (1) 仅保留坐标整数部分; (2) 保留小数部分二位, 考查值为误码率。实验结果如表 1 所示。

如表 1 所示, 文献[7]同文献[8]的方法仅关注于嵌入方法对内容的无损要求, 故水印容量以及精度影响考虑较少, 为此, 误码率相应较高。文献[9]存在经验反馈的调整策略, 故对常规操作具有一定的适应性, 因而误码率相对较低。

表 1 算法抗精度调整操作的性能对比

约减情况	误码率	本文方法	文献[7]	文献[8]	文献[9]
保留整数部分	0.10	0.11	0.13	0.11	
保留二位小数部分	0.08	0.13	0.16	0.09	

3.2 几何攻击测试

在各类攻击测试中, 剪切操作是最频繁的一类, 剪切同地图的拼接、旋转等相互关联, 是海图数据侵权、非法复制的常见方式。具体内容如表 2 所示。

表 2 本文方法与其它方法的剪切攻击测试对比

攻击类型	误码率	文献[7]	文献[8]	文献[9]	本文方法
剪切	中心 1/8	4.86	3.12	2.2	1.1
	横向 1/4	5.03	6.20	12.4	1.7
	纵向 1/4	2.79	3.79	18.8	4.5
	中心 1/4	10.69	8.04	8.2	6.1
	左上 1/4	8.13	12.64	7.2	10.6
	右下 1/4	13.14	12.88	5.4	12.5
	横向 1/2	18.96	17.93	29.8	18.3
	纵向 1/2	19.37	18.05	34.3	17.1

文献[7,8]所述的方法非常依赖于图形数据本身, 故各类剪切操作都会在不同程度上破坏这种几何形态, 剪切的区域大小同误码率没有必然联系, 而是同被剪切区域内几何形态的重要性相关。同理, 文献[9]也属于一种基于空间拓扑关系的实现方法, 误码率直接受被剪切区域的空间复杂性影响。

本文方法对于纹理和轮廓的变换有很好的容忍度, 当海图被剪切后, 其轮廓和纹理都会发生缺失,

在阈值范围内,水印信息都有很好的稳健性。

3.3 数据拟合测试

数据拟合是另一类常见的海图水印攻击手段。攻击者通过数学拟合的方法,可以获得一幅与原始海图形态相近、地理分布相似的海图图样。目前,常见的数据拟合方法很多,本文选择利用最小二乘法拟合方法进行对比测试。

已知结点 (x_i, y_i) , $i = 0, 1, \dots, m$, 在 x_i 均不相同的情况,求解拟合函数 $p(x)$, 使得 $p(x)$ 与 y_i 的误差平方值在最小二乘法计算规则下最小,称 $p(x)$ 为最小二乘拟合函数。当拟合函数为多项式时,称为多项式拟合。

测试结果如表 3 所示。

表 3 本文算法与其它方法的拟合测试对比				
	文献[7]	文献[8]	文献[9]	本文算法
误码率	20.02	41.73	48.10	18.60

如表 3 所示,曲线拟合方法对文献[8]和文献[9]的数字水印方法破坏性较大,前者过多利用了曲线等线条信息,而后者结合了空间拓扑结构,使得大量结点被嵌入了水印信息,这些结点在曲线拟合过程中或被移除,或被改变,导致方法失效。文献[7]方法多选择了一些关键性结点来嵌入水印信息,而这些结点恰恰多半是曲线拟合算法的基准结点,故误码率较低。

4 结 论

由于海图具有纹理丰富的特性和矢量结构特征,平移不变小波方法非常适合电子海图水印策略。实验验证和分析表明,该方法具有很好的鲁棒性,抗频域攻击能力较为突出,由于具有自适应性,因而很

好地扩展了水印容量。实验中发现,地物分布模式映射于海图的纹理和轮廓特征,也直接影响方法综合性能,如何应对复杂的地物分布模式,是水印方法性能进一步提升的关键。

参考文献

[1] 王俊祥,倪江群,潘金伟. 一种基于直方图平移的高性能可逆水印算法,自动化学报,2012,38(1):88-96

[2] Sun J G, Men C G. Wavelet neural network based watermarking technology of 2D vector maps. *High Technology Letters*, 2011,17(3):259-262

[3] Lee S H, Kwon K R. Vector watermarking scheme for GIS vector map management. *Multimedia Tools and Application*, 2013, 63(3): 757-790

[4] 孙鸿睿,李光强,朱建军等. 改进的差值扩张和平移矢量地图可逆水印算法. 武汉大学学报(信息科学版), 2012,37(8):1004-1007

[5] Zhang D, Qian D P, Han P. A new attributes-priority matching watermarking algorithm satisfying topological conformance for vector map. In: *Proceedings of the 3rd International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, Kaohsiung, Taiwan, China, 2007. 469-472

[6] Abbas T A, Jawad M J, Sudirman S. Robust Watermarking of Digital Vector Maps for Copyright Protection, Liverpool John Moores University, United Kingdom, 2013. 1-6

[7] Xu G Y, Tan J Q, Zhong J Q. Adaptive efficient non-local image filtering. *Journal of image and graphics*, 2012, 17, (4): 471-479

[8] Clementine E, Difelice P. A Comparison of methods for representing topological relationships. *Information Science*, 2004, 80(1):1-34

[9] Peng F, Liu Y, Long M. Reversible watermarking for 2D CAD engineering graphics based on improved histogram shifting. *CAD Computer Aided Design*, 2014, 49: 42-50

Research of adaptive watermarking for 2D electronic charts based on difference mapping

Xu Feng, Li Jianan, Li Boquan

(Department of Computer Science and Technology, Harbin Engineering University, Harbin 150001)

(Department of Software, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080)

Abstract

Digital watermarking for two-dimensional electronic charts was studied. To solve the problem that a two-dimensional electronic chart has varieties of terrestrial object information, and the vertexes in the map can carry very limited watermarks, so it is very difficult for a conventional watermarking method to obtain the ideal watermark capacity and to make the geographic accuracy of the electronic chart tolerated within certain limits, an adaptive watermarking method based on difference mapping for 2D electronic charts was presented. It takes advantage of the solving strategy based on the shift invariant discrete wavelet domain to obtain the ideal watermark embedding carrier set in the map space. The experimental results show that the proposed method has the good robustness, and compared with similar methods, is adaptable to the data perturbation caused by conventional chart operation, with the lower bit error rate in cutting, rotating and noise attack.

Key words: Information hiding, digital watermarking, electronic chart, difference mapping