

具有身份识别功能的矢量地图数字水印研究

孙建国 门朝光 马春光 曹刘娟

(哈尔滨工程大学计算机科学与技术学院 哈尔滨 150001)

摘要: 在某些重要应用领域,一旦地图资源非法泄露,确定地图来源是首要问题。在该文提出的方案中,首先采集地图所有者的指纹信息并进行特征提取,提取到的特征信息转换为二进制编码,并将该编码嵌入到矢量地图属性文件的对象定义数据块中。在对象定义块中,属性描述信息之后以结束符作为结束标识,结束符识之后存储的数据不被任何工具软件读取和显示。实验和分析表明,该隐藏算法具有较好的鲁棒性,能够对地图无损地嵌入和提取水印信息,NC 值可达 97%以上,兼顾结合指纹匹配算法的性能,身份识别的准确率保持在 80%以上。

关键词: 信息隐藏; 数字水印; 矢量地图; 指纹; 身份验证

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2010)05-1131-05

DOI: 10.3724/SP.J.1146.2009.00748

Digital Watermarking with Authentication for Vector Maps

Sun Jian-guo Men Chao-guang Ma Chun-guang Cao Liu-juan

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

Abstract: It is important to identify the source or owner after the vector map is leaked in some key application areas. In this paper proposed scheme, the characteristics of the map owner's fingerprint can be extracted and converted into the binary character string as the watermark; and then the watermark will be embedded into the object definition blocks in the attribute file; In any object definition block, there is a character as the ending indicator followed the definition information of the object, the data after the ending character can not be processed or displayed by any tools. Experiments show that the algorithm has better robustness; The watermark can be embedded or extracted nondestructively to the vector map, the value of NC coefficient is more than 97%, as the factor of fingerprint matching algorithm, the accuracy of authentication is more than 80%.

Key words: Information hiding; Digital watermarking; Vector map; Fingerprint; Identify authentication

1 引言

矢量数字地图是一种在语义信息描述下,通过拓扑关系形成的图形化数字产品。作为重要的有价值的信息资源^[1],矢量地图逐渐成为地理信息系统、智能交通系统,Web 地图服务等应用领域的核心组成部分。为了遏制矢量地图资源的非法传播与滥用,文献[2]提出了面向矢量地图的数字水印技术和信息隐藏方案。典型的矢量地图数字水印算法包括空域和频域的方法^[3]。空域水印对矢量地图的损伤较大,抗攻击能力仍然较弱^[4];频域方法(如 DFT^[5], DCT^[6], DWT^[7])是研究热点,但频域水印对矢量地图精度仍存在一定损伤,且无法抵抗复杂的矢量数据压缩攻击^[8]。

Gou^[9]等人提出将指纹信息作为水印标识,利用 B-Spline 3 参数曲线来调整坐标频域系数的方式将

指纹信息嵌入地图图形;同时,对指纹的检测与匹配方式提出了改进策略,以抵抗攻击提高算法的鲁棒性。该方法是第 1 篇明确提出指纹作为水印标识的矢量地图数字水印算法。该算法受到指纹检测与匹配性能的过多限制,指纹嵌入地图图形的过程中也存在数据失真及损耗的问题,使得指纹无法发挥身份鉴别作用,算法的整体性能有待提高。

本文提出一种可识别地图所有者的矢量地图数字水印算法。算法预先提取指纹图像的特征信息,并将特征序列作为待嵌入的水印信息,避免由于指纹检测或匹配计算的误差而导致的整体性能下降;此外,属性文件中对象定义数据块被用来存储水印信息,在每个信息结束符后的空间内分散保存着水印信息,这些信息不被任何地图编辑工具或软件所读取和显示;属性文件的二进制存储格式也加大了水印信息破译的难度,提升了算法的稳定性。与已有算法相比,该算法首次实现了水印可进行身份识别的特定功能;在鲁棒性能方面,算法可以抵抗多种攻击方式;水印的嵌入和提取方式使得算法能够

2009-05-15 收到, 2009-09-28 改回

国家博士后基金(20070410896),省博士后基金(LBH-Z06027)和哈尔滨工程大学基础研究基金(HEUFT05067)资助课题

通信作者: 孙建国 sunjianguo@hrbeu.edu.cn

确保地理精度零损失。

2 水印信息嵌入方案

常见的矢量地图存储格式按软件类型包括：MapGis、MapInfo、ArcGis、Erdas，所有格式之间可进行相互转换。本文以 MapInfo 格式^[10]的矢量地图为例，说明基于地图属性文件的水印嵌入过程。

2.1 信息无损隐藏

MapInfo 文件(表 1)主要包括 4 类文件。其中，MAP 格式的文件定义了所有矢量对象的属性信息，每个对象的属性信息存储在一个大小为 1024 byte 的对象定义块，它主要定义了对象的名称、类型、资源(字体、颜色、图标等)等数据。当一个对象被删除时，仅删除标记发生改变，对象定义块内的描述信息依然存于文件中。在对象定义块中，描述信息末尾都存在一个结束符标识 '\0'，任何地图工具软件都无法编辑或阅读结束符 '\0' 之后的数据。

表 1 MapInfo 文件结构说明

序号	名称	说明
1	TAB 文件	矢量地图公共变量定义
2	DAT 文件	地图资源索引描述信息
3	ID 文件	对象索引描述信息
4	MAP 文件	矢量对象数据定义信息

当信息存储结束符之后，该信息既不会对地图图形图像产生扰动，也不会对地理精度造成影响。且分散存储的水印编码长度比单位块所拥有的冗余空间规模小得多，不会产生数据溢出的问题，因此，基于属性文件的信息隐藏方式是一种真正的无损技术。

2.2 水印信息制作

已有的类似算法^[9]通常将指纹图像直接作为水印分散嵌入介质中；在水印信息提取后，还需进行指纹检测与匹配等附加过程，这种做法的弊端在于将指纹分解、检测及匹配的计算误差连续引入水印嵌入和检测的多个环节，降低了水印算法本身的性能。

本文提出的改进方法是：在水印嵌入之前，先提取指纹图像的特征信息组成二进制特征序列，然后将特征序列作为水印编码嵌入属性文件中，已知在二进制的指纹编码算法^[11]干预下，每幅指纹图像的二进制特征序列都可进行唯一标识。水印信息的制作过程是：

输入：指纹灰度图像 F_0 。

输出：二值水印编码 W_0 。

(1) 利用算法^[11]将指纹 F_0 编码为二进制序列 B_{F_0} ；

(2) 对指纹 F_0 应用特征提取算法，获得特征集 C ；

(3) 将 B_{F_0} 中所有与特征集 C 元素对应的编码依次提取，获得 F_0 的二进制特征序列 B_C ；

(4) 任意指纹图像的特征序列都可以唯一表示，因此，水印 $W_0 = B_C$ 将唯一识别指纹 F_0 。

2.3 水印嵌入算法

输入：矢量地图 V_0 ，水印 W 。

输出：含水印的矢量地图 V' 。

(1) $L = W$ 的编码长度， $S = V_0$ 所含矢量对象个数

(2) if $L > S$ then 提示“水印过大，无法嵌入地图！”

(3) for $j = 0$ to S do

(4) 计算 $B[j]$ 有效信息的字节长度 l

(5) if $a > 1023 - (l + 2)$ then

(6) for $j = 0$ to S do

(7) for $i = 0$ to $\lfloor L/a \rfloor$ do

(8) 将 $W[i] \sim W[i + a]$ 嵌入对象定义块 $B[j]$

(9) 将 i 嵌入定义块最后一个字节 $B[1023]$ 中

(10) end for

(11) end for

(12) else $j++$

(13) end for

参数 a 代表单位对象定义块所允许嵌入的水印编码长度；在每个对象定义块的末尾字节 $B[1023]$ 内存储着分段水印编码的嵌入次序。根据 $B[1023]$ 存储的信息可判定对应数据块中是否含有水印以及该分段水印在 W 中的位置顺序。

3 水印信息提取方案

水印提取方案可分为两个过程：水印信息检测和水印编码恢复。

3.1 水印提取方案

输入：含水印的矢量地图 V' 。

输出：数字水印 W_t 。

(1) $S = V'$ 所含矢量对象个数

(2) for $j = 0$ to S do

(3) if $\text{int}(B[j]) > 0$ then

(4) 计算 $B[j]$ 有效信息的字节长度 l

(5) 将 $B[1023]$ 插入升序数组 $S[]$ ，将信息 $B[l + 1] \sim B[l + 1 + a]$ 存储到 $W[\text{int}(S[])]$ 中。

(6) else $j++$

(7) end for

$$(8) \quad W_t = W[]$$

如算法所描述, 水印的检测与编码恢复并行展开, 提取到的分段水印编码可按照每个对象定义块末尾 $B[1023]$ 所存储的数据大小, 按位插入序列 $W[]$ 中。该算法还可通过双向搜索等方式进行速度优化。

3.2 水印相似度

为了明确提取到的水印 W_t 的准确程度, 需要计算 W_t 与原始水印 W 的差异, 即水印相似度(式 1)。

$$\rho(W, W_t) = \left| 1 - \frac{\sum_{i=1}^n W_i \times W_{t_i}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n W_i} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n W_{t_i}}} \right| \quad (1)$$

显而易见, $\rho(W, W_t) \in [0, 1]$ 。

3.3 指纹信息匹配

由信息隐藏算法可知, 嵌入矢量地图 V_0 的水印编码 W , 即 V_0 所有者的指纹特征信息。在外部指纹库中, 随着所存储的指纹数量的递增, 必然存在着指纹特征编码雷同的情况; 此时, 可对特征编码重复的多个指纹图像进行二次特征提取, 达到扩展特征编码的目的。这样, 矢量地图中检测到的任一水印 W_t 必然对应唯一的指纹特征信息(图 1), 可识别唯一的指纹。指纹匹配的具体方案是:

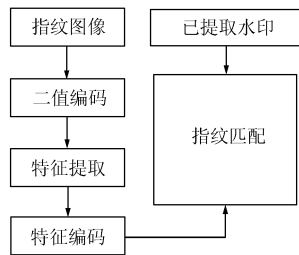


图 1 指纹信息匹配过程

输入: 指纹库 $\{F_i\}$, 水印 W_t 。

输出: 匹配系数 AC 。

- (1) $N = \{F_i\}$ 所含指纹图像个数, $L = W_t$ 长度
- (2) 采用优化匹配策略, 读取 $W_s = W_t$ 前 s 位字符
- (3) for $i = 0$ to N do
- (4) 读取 F_i 特征信息的前 s 位字符 $F_i(s)$
- (5) if $\text{IsSame}(F_i(s), W_s) = 0$ 前 s 位字符不匹配

- (6) then $i++$
- (7) else if $\text{IsSame}(F_i(L), W_t) = 0$ 仅前 s 位字符不匹配, 后续字符不匹配
- (8) then $i++$
- (9) else $\text{ComparebyBit}(F_i, W_t) = AC$ 按位匹配
- (10) end for

方案中, 匹配系数 AC 表明了水印 W_t 对地图所有者的身份识别准确程度(式 2)。

$$AC = \frac{\sum_{m=1}^L |f_m - w_m|}{L}, f_m \in F_i, w_m \in W_t \quad (2)$$

在本文的无损信息隐藏算法中, W_t 与原始水印 W 的相似度可达 97% 以上, 因此, 指纹的特征提取算法直接决定了匹配系数 AC 值。

4 实验与评估

4.1 精度无损测试

如前所述, 水印信息分散嵌入多个对象定义块的冗余空间中, 单位块内所嵌入的编码长度均小于冗余空间规模, 不会造成数据溢出而影响地理精度; 另一方面, 当地理精度调整时, 对象定义信息不变, 水印性能不降低。

为了进一步说明问题, 选择哈尔滨市服务点矢量地图(图 2(a))作为测试素材。由指纹库 $\{F_i\}$ 中随机选择一幅指纹图像(图 2(b)), 将它的特征序列作为水印标识; 同时, 选择基于统计特征的矢量地图水印算法^[12]进行性能对比实验(表 1)。文献[12]主要依赖地图对象坐标的相关性实现一定程度上的无损

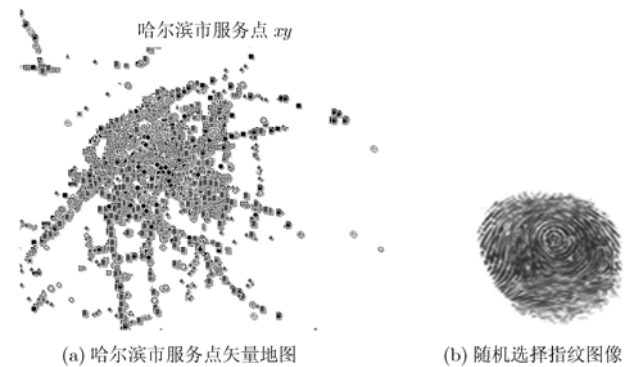


图 2 精度无损测试

表 1 地理精度无损实验抽样结果

原始坐标值 (x, y)	水印嵌入后坐标值	
	本文算法	文献[12]算法
(124.45529346, 58.64855244)	(124.45529346, 58.64855244)	(124.45549381, 58.64855232)
(71.62145658, 324.13258744)	(71.62145658, 324.13258744)	(71.62146613, 324.13258930)
(346.35995426, 58.58528556)	(346.35995426, 58.58528556)	(346.35995143, 55.58468519)

恢复, 而哈尔滨市服务点矢量地图内的对象均为离散点图元, 故使得算法的无损恢复性能有所降低。

特别地, 当地理精度发生调整, 文献[12]的坐标差值扩大策略逐渐失效, NC 值迅速下降, 直至水印提取失败(表 2)。AC < NC 是由于在身份识别过程中, 需要进行原始指纹的特征提取, 该过程引入的计算误差, 使得身份识别的准确程度有一定扰动。

表 2 地图精度调整实验随机抽取结果

精度调整比例	NC 值		AC 值
	本文算法	文献[12] 算法	本文算法
原始精度	0.9963	0.9523	0.901
扩大 10^1	0.9941	0.8774	0.876
扩大 10^3	0.9932	0.6536	0.843
扩大 10^5	0.9912	0.5417	0.882

4.2 稳定性实验

将本文算法和两种性能较好的矢量地图水印算法^[13,14]进行稳定性对比实验。文献[13]是一种基于双重网格的空域水印算法, 该算法通过双重网格划分, 将水印信息分散隐藏到节点坐标的最低有效位上。文献[14]提取地图数据的特征点组成特征图像, 并通过离散余弦变换, 把水印信息嵌入特征图像的中低频系数上。

在保持等嵌入率的情况下, 指纹(图 2(b))的特征信息分别采用各类算法加载到地图(图 2(a))中, 实验结果如表 3 所示。

表 3 鲁棒性对比测试

攻击类型	NC 值			AC 值
	本文 算法	文献[13] 算法	文献[14] 算法	本文 算法
移除地图左侧 1/2	0.9831	0.7477	0.8742	0.862
移除地图右下 1/4	0.9913	0.8798	0.9057	0.910
墨卡托投影	0.9872	0.8814	0.8706	0.902
随机噪声	0.9858	0.6799	0.7036	0.871
顺指针旋转 145°	0.9732	0.7182	0.8839	0.817

基于属性文件的无损信息隐藏特性, 使得方案在保证对地理精度无损伤的前提下, 能够抵抗多种攻击, 保持良好的稳定性。

4.3 不可感知性能实验

参照视觉检测的通常手段, 选择 20 名地理信息相关领域的研究生进行视觉测试, 将其分成两组: A 组被告知矢量地图(图 2(a))包含水印, 并为其提供原始地图, 要求在尽可能短的时间内找出嵌入规

律; B 组被告知水印是通过修改地图属性文件嵌入的, 为其提供原始文本, 要求其查明水印嵌入位置即可。测试最长时间 10 min, 每 1 分钟统计一次数据。由实验结果(图 3)可看到, A 组仅 1 人察觉到水印的存储方式; B 组有 2 人找到水印嵌入位置方式, 但无法提取水印。

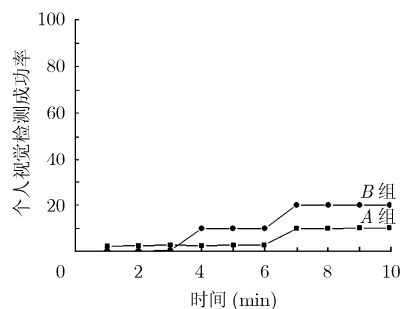


图 3 视觉检测实验

4.4 水印容量分析

由于单位对象定义数据块的大小为 1024 byte, 描述信息所占用的字节相对有限, 有大量可供水印信息存储的空间; 即便某种地图格式的字节空间相对有限, 而水印编码长度过大, 此时可采用对水印编码压缩的方式实现容量的扩展。这一策略在另外的论文中论述。

5 结束语

本文提出可进行地图所有者身份识别的矢量地图信息隐藏方案。基于指纹特征信息的水印编码转换确保了身份识别的准确性。面向地图属性文件冗余空间的嵌入方法确保隐藏方案对地理精度及地图图形的零扰动; 实验及分析表明算法具有突出的稳定性, 能够有效抵抗多种攻击。在下一步的研究工作中, 拟采用编码压缩技术^[15]进一步提高算法的容量及不可感知性。

参考文献

- [1] 李琦, 杨超伟, 陈爱军. WebGIS 中的地理关系数据库模型研究[J]. 中国图像图形学报, 2000, 5(2): 119-123.
Li Q, Yang C W, and Chen A J. Research on geographical relational database model in WebGIS[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2000, 5(2): 119-123.
- [2] Ohbuchi R, Ueda H, and Endoh S. Robust watermarking of vector digital maps[C]. Proceedings of IEEE International Conference on Multimedia and Expo, Tokyo, Japan, 2002: 577-580.
- [3] Xu D H, Zhu C Q, and Wang Q S. A survey of the research on digital watermark for the vector digital map. *Geomatics*

- World*, 2007, 12(6): 42-48.
- [4] 马桃林, 顾种, 张良培. 基于二维矢量数字地图的水印算法研究[J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2006, 31(9): 792-794.
- Ma T L, Gu Z, and Zhang L P. Watermarking algorithm on 2D vector digital maps[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2006, 31(9): 792-794.
- [5] Solachidis V, Nikolaidis N, and Pitas I. Fourier descriptors watermarking of vector graphics images. Proceedings of the International Conference of Image Proceeding, Vancouver, Canda, 2000: 9-12.
- [6] Voiqt M, Yang B, and Busch C. Reversible watermarking of 2D-vector data. Proceedings of the 2004 Multimedia and Security Workshop on Multimedia and Security, Magdeburg, Germany, 2004: 160-165.
- [7] 李媛媛, 许录平. 矢量图形中基于小波变换的盲水印算法[J]. *光子学报*, 2004, 33(1): 97-100.
- Li Y Y and Xu L P. Vector graphical objects watermarking scheme in wavelet domain[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2004, 33(1): 97-100.
- [8] Sun Jianguo, Men Chaoguang, and Cao Liujuan. Digital watermarking appraisalment based on certainty factor[C]. The 2009 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, Jilin, China, 2009: 1312-1316.
- [9] Gou H and Wu M. Data hiding in curves with applications to map fingerprinting [J]. *IEEE Transactions on Signal Process*, 2005, 53(4): 3988-4005.
- [10] 齐锐, 屈韶琳. 用 MapX 开发地理信息系统[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003: 88-91, 105.
- Qi R and Qu S L. Development of Geographic Information System with MapX [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2003: 88-91, 105.
- [11] 王彦, 吕述望, 徐汉良. 一种二进制数字指纹编码算法[J]. *软件学报*, 2003, 14(6): 1172-1177.
- Wang Y, Lv S W, and Xu H L. A digital fingerprinting algorithm based on binary codes[J]. *Journal of Software*, 2003, 14(6): 1172-1177.
- [12] Wang X T, Shao C Y, and Xu X G, et al. Reversible data-hiding scheme for 2-D vector maps based on difference expansion [J]. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 2007, 2(3): 311-320.
- [13] 邵承永, 王孝通, 徐晓刚, 牛夏牧. 矢量地图的无损数据隐藏算法研究[J]. *中国图像图形学报*, 2007, 12(2): 206-211.
- Shao C Y, Wang X T, and Xu X G, et al. Study on lossless data hiding algorithm for digital vector maps[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2007, 12(2): 206-211.
- [14] Deng S J and Lu L. Research on a digital Watermark algorithm suitable to vector map. Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics, Jinan, China, 2007: 1236-1240.
- [15] 孙建国, 门朝光. 基于二维矢量地图属性特征的数字水印算法[J]. *高技术通讯*, 2009, 19(7): 713-717.
- Sun Jian-guo and Men Chao-guang. A digital watermarking algorithm based on attribute features of 2D vector maps[J]. *Chinese High Technology Letters*, 2009, 19(7): 713-717.
- 孙建国: 男, 1981年生, 讲师, 研究方向为信息隐藏、数字水印、文件自毁技术等.
- 门朝光: 男, 1963年生, 教授, 博士生导师, 研究方向为计算机网络及应用、数字版权与图像处理等.
- 马春光: 男, 1974年生, 教授, 博士生导师, 研究方向为密码学、网络与信息安全.
- 李成名: 男, 1968年生, 教授, 博士生导师, 研究方向为地理信息系统、地理测绘等.