



Research on Lossless Information Hiding
Technology of Digital Maps

数字地图无损信息隐藏 技术研究



■ 夏松竹 孙建国 著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

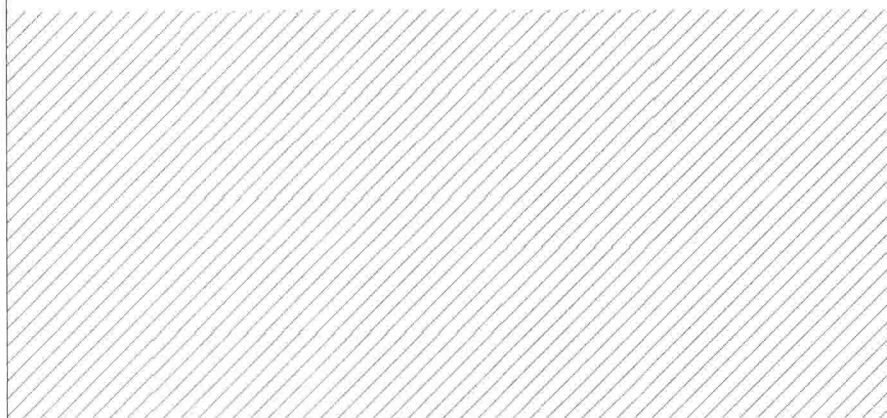


Research on Lossless Info
Technology of Digital M

数字地图无损信息隐藏 技术研究



■ 夏松竹 孙建国 著



人 民 邮 电 出 版 社
北 京

图书在版编目 (C I P) 数据

数字地图无损信息隐藏技术研究 / 夏松竹, 孙建国
著. — 北京: 人民邮电出版社, 2015. 1
ISBN 978-7-115-37287-1

I. ①数… II. ①夏… ②孙… III. ①信息系统—安
全技术—应用—数字地图—研究 IV. ①P28

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第248041号

内 容 提 要

本书以作者所在的信息安全科研团队的研究成果为基础, 系统介绍了数字影像地图水印关键技术, 内容涵盖数字水印基本理论、数字地图基本特征以及基于小波分形、波段融合和云模型的可逆水印技术。

本书内容简练, 通俗易懂, 既可供高等院校信息安全、地理信息系统相关专业师生使用, 又可以作为开发人员和技术人员的设计参考书, 也可供对地理信息系统安全、数字地图水印技术感兴趣的读者阅读。

◆ 著 夏松竹 孙建国

责任编辑 邢建春

责任印制 程彦红

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号

邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京天宇星印刷厂印刷

◆ 开本: 880×1230 1/32

印张: 4.75

2015 年 1 月第 1 版

字数: 120 千字

2015 年 1 月北京第 1 次印刷

定价: 39.00 元

读者服务热线: (010) 81055488 印装质量热线: (010) 81055316

反盗版热线: (010) 81055315

前 言

2006年9月，我正式进入哈尔滨工程大学计算机科学与技术学院成为一名博士研究生，作为一名计算机应用技术专业的博士生，应该做些什么，如何确定自己的研究方向，让自己不虚度学业，让自己的“科研生命”长青，这是摆在我面前的严峻问题。

在确定研究方向的时候，我主要考虑了以下几个问题：1) 必须是一个关系国民经济或国家发展的关键命题；2) 必须是一个实际的科研问题，不那么虚无缥缈；3) 必须是一个交叉领域问题，不需要过于热门。在这样的背景下，结合我的个人爱好和知识积累，确定了自己的科研方向：数字矢量地图版权保护技术研究。

2007年9月，我开始进入博士学位论文研究阶段，当时能够检索到的相关国内外核心期刊论文和会议论文不过百篇，这对于一个研究方向或者领域来说，数目可谓寥寥无几。但是，我坚信我这个领域不会太冷，而且一定会逐渐“春暖花开”。事实证明，当时的想法是对的，当然这是后话。在当时我还是理清了思绪，耐心阅读了所有的可检索到的论文，并进行了适当的扩展阅读，最终选择了影像地图数字水印技术作为自己的研究领域。

完成综述后，我和我的学生们发现，矢量地图数字水印技术种类繁多，所依托的理论、数学模型千差万别。如何进行比较和性能分析呢？不知彼长，如何确定己短呢？衡量的标准是什么，指标体系如何确定？为此，我决定从水印技术性能评测入手，分为定性和

定量两个阶段，后者可以利用公认的顽健性、不可见性、容量等关键要素，前者可以从安全性、稳定性考虑，提出基于可信度的性能评价模型。

随着信息处理技术和网络技术的快速发展，数字影像地图已逐步成为地理信息系统、智能交通运输系统、数字化城市和数字化国防建设等方面必需的保障资源。数字影像地图的地理信息翔实准确，具有巨大的经济价值和战略意义。同时，数字影像地图制作成本极高，针对数字影像地图的非法拷贝、窃取等侵权行为也日益猖獗。对于数字影像地图的数据安全防范措施稍有不当，就会给企业造成损失，甚至会对国家安全带来严重的威胁。为此，数字影像地图的内容安全问题已受到我国政府、军队和科研院所以及相应企业的关注。数字影像地图水印技术是一种解决数字矢量地图版权保护问题的常用手段。虽然人们对数字矢量地图水印技术进行了近 20 年的研究，提出了若干技术并试图解决数字矢量地图在应用中遇到的各类安全问题，但这些技术并没有很好地解决水印或信息隐藏技术对于地图内容的无损问题。

我的研究思想是以数字地图的两大类别——数字矢量地图和数字影像地图为主要研究对象，以无损信息隐藏为研究内容，从数字地图的实用角度出发，深入研究可满足数字矢量地图内容无损要求、抵抗多种攻击方式的数字地图无损信息隐藏水印技术。本书的创新工作主要包括以下几个方面。

首先，结合数字矢量地图的特点以及小波分形理论，本书提出了基于小波分形无损的零水印算法，并且详细介绍了基于小波分形无损的零水印算法的技术实现过程，通过有效性、顽健性、IBM 攻

击测试等实验表明,该技术对数字矢量地图的精度无损,且具有较高的顽健性,结合第三方认证机制,该技术可以完全抵制 IBM 攻击,使该水印技术具备真正的可行性和实用性。

其次,针对空间域算法主要是通过修改像素信息来嵌入水印,技术实现简单,顽健性差,对图像的损伤也较大,具有无法抵抗多种攻击等缺点,本书提出了基于波段叠加的数字影像地图无损信息隐藏技术,以 IMG 格式的数字影像地图为例详细介绍了技术的实现流程。经过抗攻击性能测试、不可见性检测与分析等方式,验证结论表明该技术达到了水印无损嵌入和提取的目标,且具有较高的顽健性和隐蔽性。

最后,在数字矢量地图零水印技术和数字影像地图无损信息隐藏技术研究的基础上,针对上述无损信息隐藏技术地图格式依赖性强、自适应性差的特点,本书提出了格式无关的数字地图可逆数字水印技术。该技术运用云模型的不确定性特征,实现了对主流格式数字地图的无损信息隐藏,相继介绍了云水印的生成、嵌入和提取方法,并就此进行了大量的实验验证。依据云的模糊性和随机性理论,当部分水印云滴受到攻击后,云模型也不会有太大变化,因而具有较好的顽健性。该算法可适应于数字矢量地图、数字影像地图等多种格式的数字地图。

本书比较全面、系统地论述了数字地图信息隐藏技术的关键理论和技术问题,主要内容包括数字地图的基本特征、水印算法的基本原理、基于小波分形的水印技术、基于波段叠加的水印技术、格式无关的可逆水印技术等。

全书共分为 5 章,每章都包含了作者近年的科研成果。第 1 章

简要介绍研究背景、研究目标以及国内外有关数字地图信息隐藏算法的研究现状。第2章介绍了数字地图信息隐藏技术的基本原理,数字地图基本概念,数字地图制作的基本过程,数字地图分类及数字地图信息隐藏相关技术和数字地图无损信息隐藏的特点。第3章为数字矢量地图无损数字水印算法原理及相关内容的研究,介绍了信息隐藏技术、无损和可逆水印技术、基于分形技术的零水印等概念和技术,并分析了小波、分形、多图分形。在第3章的最后重点介绍了基于小波分形无损的零水印算法。该算法包括小波变换及低频系数块提取、分形相似匹配、水印的生成与注册、基于第三方的数字水印认证、水印检测与提取。第4章针对影像地图空间域算法顽健性较差、对图的损伤大、无法抵抗多种攻击,频率域算法比较复杂、对图像的质量有一定的影响、无法抵抗多种组合攻击的问题,提出基于波段叠加的零水印算法。该算法实现了完全无损的水印嵌入与提取,不对地图文件造成任何损坏,并具有较好的顽健性及不可见性。第5章在第3章和第4章研究成果的基础上,提出了格式无关的数字地图无损数字水印算法。该算法利用云模型的随机性和模糊性,把云作为水印信息嵌入到数字地图中,提出了在数字地图中嵌入和提取云水印的算法。该算法具有很好的顽健性,并且该算法自适应性较强,适应于数字矢量地图、数字影像地图等数字地图,与文件格式无关。

本书是哈尔滨工程大学计算机信息安全研究团队全体师生的研究成果结晶。本书是国家自然科学基金、教育部高等学校博士点基金、黑龙江省自然科学基金、黑龙江省博士后资助经费项目的成果总结。在写作过程中,博士生寇亮、白玉,硕士生刘少林、张文亮、

曹翠玲、袁春艳等付出了辛苦工作。特别感谢哈尔滨工程大学张国印教授、马春光教授对本书及个人研究工作的支持和鼓励。

限于作者水平，书中定有疏漏和不当之处，希望大家批评指正并与我进行学术交流，联系方式：xiasongzhu@hrbeu.edu.cn。

希望本书能为推进我国数字地图安全研究尽绵薄之力。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 背景及意义	1
1.2 基础知识及理论	4
1.2.1 数字矢量地图的基本特征	4
1.2.2 数字水印的定义与实现	5
1.2.3 水印算法的一般评测标准	7
1.2.4 国内外研究情况	8
1.3 数字影像地图和矢量地图配准	18
1.4 数字地图应用现状和前景	19
第 2 章 数字地图信息隐藏技术的基本原理	21
2.1 数字地图基本概念	21
2.2 数字地图制作的基本过程	22
2.3 数字地图分类	23
2.3.1 数字矢量地图	23
2.3.2 数字影像地图	25
2.4 数字地图信息隐藏相关技术	26
2.4.1 数字地图信息隐藏概念	26
2.4.2 信息隐藏的分类	28
2.5 数字地图无损信息隐藏	29
2.5.1 无损信息隐藏概念	29
2.5.2 信息隐藏与密码学技术比较	30

2.5.3	无损信息隐藏技术特点	31
2.6	本章小结	33
第3章	基于小波分形的矢量地图零水印技术	34
3.1	问题的提出	34
3.2	零水印技术	34
3.2.1	可逆数字水印技术	35
3.2.2	数字零水印技术	36
3.3	小波分形技术设计方案	40
3.3.1	分形概念	40
3.3.2	小波技术	42
3.3.3	多图分形方案	43
3.4	零水印技术研究是实现	44
3.4.1	小波变换及低频系数块提取	44
3.4.2	分形相似匹配过程	46
3.4.3	零水印构造机制	48
3.4.4	零水印认证机制	51
3.4.5	零水印检测与提取	53
3.5	零水印技术实现过程	57
3.6	实验验证与分析	60
3.6.1	有效性实验	60
3.6.2	顽健性实验	62
3.6.3	坐标系转换分析	63
3.6.4	精度约减与转换测试	63
3.6.5	曲线拟合测试	64
3.6.6	数据压缩测试	67

3.6.7 解释攻击测试	68
3.6.8 算法总体分析	69
3.7 本章小结	70
第4章 基于波段融合的影像地图信息隐藏算法	71
4.1 问题的提出	71
4.2 影像地图的特征	74
4.2.1 影像地图的特点	74
4.2.2 IMG 格式地图特征	76
4.2.3 影像地图的统计特性	78
4.3 影像地图信息隐藏算法模型	79
4.3.1 算法模型要求	80
4.3.2 算法模型设计	82
4.4 基于波段叠加的信息隐藏算法	83
4.4.1 像素值插值技术	84
4.4.2 多波段融合技术	84
4.5 算法实现流程	86
4.5.1 水印嵌入流程	86
4.5.2 水印提取流程	88
4.5.3 算法整体实现	90
4.6 实验验证与分析	93
4.6.1 内容转换攻击测试	93
4.6.2 图像形式攻击测试	95
4.6.3 安全可靠性能分析	97
4.6.4 算法无损性分析	98

4.6.5	隐藏容量分析	98
4.6.6	不可见性检测与分析	99
4.6.7	算法总体评价	100
4.7	本章小结	101
第5章	格式无关的数字地图可逆水印技术	102
5.1	格式无关性分析	102
5.2	可逆数字水印模型	103
5.2.1	BLOWFISH 加密技术	103
5.2.2	安全容器	105
5.2.3	可逆数字水印模型	106
5.3	云模型基本知识	107
5.3.1	云模型概念	107
5.3.2	云定义	108
5.3.3	云的数字特征	110
5.3.4	云发生器	110
5.3.5	常见的云模型	111
5.4	格式无关的可逆水印技术	112
5.4.1	云水印生成	112
5.4.2	水印云滴嵌入	114
5.4.3	云水印提取	115
5.5	算法整体实现过程	117
5.6	实验验证与分析	119
5.6.1	裁剪处理	119
5.6.2	旋转处理	120
5.6.3	模糊处理	121

5.6.4 高斯滤波处理.....	122
5.6.5 噪声处理	123
5.7 本章小结	125
参考文献	126

第1章

绪 论

1.1 背景及意义

随着信息处理技术和网络技术的快速发展,数字地图在地理信息系统、智能交通运输系统、城市规划管理系统、海洋开发等领域获得了广泛应用,它是地理学、测绘、导航、军事等领域开展科学研究的数据基础,具有巨大的可重复利用价值,数字化城市和数字化国防建设都需要数字地图的支撑和保障。数字地图具有地理信息丰富、造价昂贵、经济及军事利益突出等特性,在地理信息相关领域正在得到迅速普及,整个信息化社会对数字地图的依赖程度也越来越大。数字地图已经成为社会发展和经济建设的强大信息资源,其地位越来越重要。伴随着数字地图的推广和应用,也产生了各种各样的数据安全问题,其中,非法拷贝、恶意篡改等数据安全问题尤为突出,它严重威胁着地图所有者的合法利益,对国家安全和经济发展造成重大的潜在威胁。

数字地图的数量递增以及大量应用系统的诞生,促使人们越来越重视数字地图的安全问题。人们在享受地理信息化带来的众多便

利的同时,面临着日益突出的信息安全问题。数字地图发布后对传播者的身份认证与权责利的确认,造价昂贵的数字地图地理内容的真实性鉴别等都将作为地图安全防护研究的焦点,这将直接影响到国家主权、经济发展和社会稳定。过去的10多年时间里,我国投入了大量人力财力,建成了不同比例尺和不同用途的数字地图,如何保护这些数字地图的安全是享受科技成果带给军队和国家建设巨大推动力的前提条件。在我国不断发生数字地图失窃或非法拷贝等事件,这对信息国防领域来说无疑是一次次沉重的打击。

了解数字地图面临的各种威胁,防范和消除这些风险,实现真正的数据安全已经成了地理信息相关产业发展中最重要的事情。每个国家都为了商业或者军事的目的,不惜重金来研究数字地图的数据安全。解决数字地图数据安全问题的基本途径是对地图存储介质进行严格管理和控制,可以通过人员保密教育、规章制度约束以及硬件加密手段来实现。但人员和设备因素导致的数据风险是无法预知的,对于数字地图来说,基于人为的恶性操作要比存在漏洞的技术会产生更严重的信息灾难。数字地图水印技术的研究是目前地理信息安全领域研究的重要课题之一。

数字地图水印技术除提供必需的地图版权保护功能外,还具有以下安防目标:1)鉴定地图数据的真伪;2)考察地图内容的完整性;3)追踪泄密地图的来源。传统的数字地图水印技术就是通过信息隐藏来提供版权证明,这种被动且单一的数据防护方法已经不能满足当今信息安全的需求。因此,要建立一个完整的数字地图安全防护体系,需要综合应用多种安全技术,从不同的角度、层次对数字地图进行研究。分析数字地图的内容特征,实现信息的无损隐藏;

并通过融入生物信息,实现地图用户身份的识别,保证数字地图的内容不被轻易获得。

按照数字地图数据安全问题的危害性程度,对数字水印技术的安全需求可以分为3个层次:1)版权证明;2)完整性验证;3)防数据泄露。目前,3个层次的问题都未得到合理有效的解决,数字地图水印技术的研究成果还有很多不理想的地方。如:1)版权证明时,水印技术还无法达到对地图内容零扰动、精度无影响的最佳状态;2)对于地图数据压缩、拟合简化以及坐标系变换等编辑方式,算法的顽健性普遍较弱;3)按照算法公开原则,多数算法均可被逆向破解。

据国内媒体统计,仅2009年,基于GPS的数字地图专项产业规模超过400亿元人民币,其中一半以上为盗版地图。而遏制这种行为的关键技术即为数字水印,如“道道通”产品状告某导航软件公司一案,就是因为道道通的地图出版方瑞图万方在数字地图内加入了数字水印,为案件的审理提供了有力证据。在地图制作过程中,瑞图万方投入了数亿元人民币,1000多名专业测绘人员,历时4年半完成产品研究。数字地图不但测绘研发费用庞大,维护费用也相当昂贵,每次更新都需要千万甚至上亿元人民币。一旦地图被盗版或非法滥用,给地图生产者带来的灾难和损失都难以估量。

为满足迫切的应用需求以及数字化地理信息科学的发展,亟须建立一套保障地理信息资源合法有序使用的安全机制。总之,这是一个面临巨大需求而又需要解决大量关键问题的研究领域,还需要对数字地图的内容特征进行大量的深入研究。如何在提高数字水印算法整体性能的同时消除对数字地图内容的扰动一直是研究的核心问题。

1.2 基础知识及理论

数字矢量地图的安全防护问题涉及国家安全、商业利益和知识产权保护等方面,是保障我国经济、科学与军事可持续发展的重要因素之一。为保障数字矢量地图的数据安全,国家行政部门和军事主管机构已制定一系列相关的法规来约束和限制数字地图的制作、发放以及传播等环节,如《测绘法》、《基础测绘成果提供使用管理暂行办法》、《关于对外提供我国测绘资料的若干规定》等。这些法规的执行需依靠安全可信的技术保障,这是目前迫切需要解决的重要问题^[1]。

对于数字矢量地图水印技术来说,研究难点在于数字矢量地图的精度要求与数字水印算法实现方式间的矛盾。高精度的地理信息是数字矢量地图得到广泛运用的基本保障,但目前的数字水印算法却是通过调整地物坐标值来完成水印嵌入操作的,这种方式对数字地图的内容必然产生扰动,损伤到地图精度;另一方面,数据拟合是一种广泛运用在数字矢量地图上的编辑手段,该方式能够拟合出近似曲线来获得一幅原始地图的复制品,从而导致水印被去除。

1.2.1 数字矢量地图的基本特征

数字地图是以地图数据库为基础,综合利用测绘学知识、数字图像处理技术、数据挖掘、专家系统和相关信息技术等,以数字形式存储在计算机外存储器上,可以在电子屏幕上显示的地图。同绘制或印刷的普通地图相比,数字地图可以携带和传播更庞大容量的信息,利用丰富的坐标、线条和记录形式,能够更全面和生动地描