



Research of
Digital Watermarking
for Vector Maps

矢量地图 数字水印 技术研究

■ 孙建国 著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

■ 孙建国 著

矢量地图 数字水印 技术研究

RESEARCH OF
Digital Watermarking
for Vector Maps

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (CIP) 数据

矢量地图数字水印技术研究 / 孙建国著. — 北京 :
人民邮电出版社, 2012. 8
ISBN 978-7-115-28107-4

I. ①矢… II. ①孙… III. ①数字地图—水印—研究
IV. ①P288

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第078655号

内 容 提 要

本书从数字矢量地图的内容特征出发, 比较全面、系统地介绍了数字矢量地图水印关键技术。内容涵盖数字水印基本理论、数字矢量地图基本特征、基于属性特征、空间特征和身份验证的水印技术。

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。

矢量地图数字水印技术研究

-
- ◆ 著 孙建国
责任编辑 邢建春
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 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: 5.5 2012年8月第1版
字数: 110千字 2012年8月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-28107-4

定价: 29.00 元

读者服务热线: (010)67119329 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154



前言

2007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。作为一名计算机科学与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”永远长青，这是一个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，结合自己个人爱好和知识积累，我的科研方向确定了，那就是关于数字矢量地图版权保护技术研究。

2008年9月，我正式开始进入博士学位论文研究阶段，当时能够检索到关于数字矢量地图版权保护技术的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，在当时理清了思路，耐心阅读了所有可检索到的论文，并进行了适当扩展性阅读，最终选择了 70 余篇代表性文章，完成了《矢量地图数字水印研究综述》一文，发表在《计算机科学》期刊上，时至今日，在同领域综述文献中，它的被引次数和下载次数仍然是首屈一指的。

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？不知彼长，如何确定己短？衡量的标准是什么？指标体系如何确定？为此，我决定从矢量地图水印技术性能评测入手，分为定性和定量两个阶段。后者可以利用大家公认的顽健性、不可见性、容量等关键要素，前者可以从安全性、稳定性考虑，提出了基于可信度的性能评价模型。该论文发表在“机电一体化与自动化”国际会议上，这是比较早的研究水印技术性能评测的论文。

随着信息处理技术和网络技术的快速发展，数字矢量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。数字矢量地图的地理信息详实准确，具有巨大的经济价值和战略意义。同时，数字矢量地图制作成本极高，针对数字矢量地图的非法拷贝、窃取等侵权行为也日益猖獗。对于数字矢量地图的数据安全防范措施稍有不当，就会给企业造成损失，甚至会对国家安全造成严重的威胁。为此，数字矢量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。数字矢量地图水印



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适应数字矢量地图的数据特征和操作特性。

我的研究思想是:以数字矢量地图的内容特征为研究对象,以保障地图数据安全为研究内容,从数字矢量地图的实用角度出发,深入研究了可满足数字矢量地图内容无损要求、抵抗多种攻击方式并具备地图来源追踪功能的数字矢量地图水印技术。首先,结合数字矢量地图节点的位置属性和坐标属性,结合数字矢量地图的数据结构和文件结构,提出可实现数字水印无损嵌入与提取的零比特动态扩展技术。在此基础上,改进基于网格密度的空间聚类分析方法,从而有效地提高算法的顽健性能。其次,针对基于属性特征的无损数字水印算法在抵抗常见的地图编辑操作时顽健性能较弱的不足,提出基于空间特征的数字矢量地图水印算法。利用数字矢量地图的空间拓扑关系和线、多边形图元的空间特性,提出偏序演化以及全序置换两种水印标记方式。同时,为改善水印标记的孤立性,提出水印互认证方案。在保证无损性能的前提下,最终实现可抵抗曲线拟合、格式转换、精度约减、数据压缩等操作方式的强顽健性数字水印。最后,提出基于指纹匹配技术的具有身份认证功能的数字矢量地图水印算法,利用该数字水印技术可以实现追踪地图数据来源以及确定地图责任人的功能。利用基于双图分形理论的自适应指纹特征提取策略,构造高精度的指纹数字水印



标记；针对数字矢量地图的不同内容特征，提出面向空间、属性以及零水印的3层数字水印信息提取方案。为事前预防型数字水印算法的研究奠定理论基础。

本书从数字矢量地图的内容特征出发，比较全面、系统地论述了矢量地图数字水印的关键理论和技术问题，主要内容包括矢量地图的基本特征、水印算法的基本原理、基于属性特征的水印技术、基于空间特征的水印技术、基于身份验证的水印技术等。

全书共5章，每章都包含了作者近年的科研成果。

第1章：简要介绍本书的研究背景、研究目标以及研究难点。

第2章：数字矢量地图水印算法原理及相关内容的研究。从数字矢量地图水印算法的研究过程入手，介绍了针对数字矢量地图水印算法的各种攻击方式以及评测技术，并对可信度推理评测方法和多属性决策集对分析方法进行了详细的分析。在本章的最后，重点介绍了基于内容特征的矢量地图研究模型，利用该模型可以进行数字水印算法的研究与改进。

第3章：针对数字水印算法的嵌入方式会对地图内容产生明显扰动的问题，提出一种基于属性特征的数字矢量地图水印算法研究。该算法通过零比特扩展技术实现了数字水印无损嵌入的目标。结合改进的网格密度空间聚类分析方法选择适合的水印嵌入目标节点集合，提高数字水印算法的顽健性能，并对算法进行了实验验证。

第4章：针对基于属性特征数字矢量地图水印算法在抵抗格式转换、曲线拟合以及精度约减等地图编辑方式上顽健性较弱的缺



陷,提出一种基于空间特征的数字水印算法。该方法重点研究了面向图元空间特性的数字矢量地图水印嵌入机制,并结合实例,对算法在抵抗常见地图编辑方式时的顽健性能进行了测试与分析。

第5章:基于第3章和第4章的研究成果,重点研究了可进行身份识别的数字矢量地图水印算法,解决了数字矢量地图遭到非法窃取或拷贝等侵害情况后,矢量地图数据源追踪以及责任人认定等安全问题。该算法综合运用了自适应指纹特征提取理论、双图分形搜索理论以及水印互认证机制,实现了身份识别的高准确性和水印算法的强顽健性,并通过实验验证了该方法的有效性和正确性。

本书是哈尔滨工程大学计算机系统结构研究团队全体师生研究成果的结晶,又是教育部高等学校博士点基金、黑龙江省政府博士后资助项目、国家军工保密资格审查认证中心合作项目的成果总结。在写作过程中,博士生唐滨、李璐,硕士生寇亮、宋超、李庆显、汪永峰等付出了辛苦工作。特别感谢哈尔滨工程大学张国印教授、郑崇辉教授、武俊鹏教授、马春光教授,对本书及个人研究工作的支持和鼓励。

限于水平,书中的疏漏和不当之处在所难免,希望大家批评指正和学术交流,欢迎通过电子邮件(sunjianguo@hrbeu.edu.cn)与我联系。

希望本书能为推进我国数字地图安全研究尽绵薄之力。

作者

2012年3月



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	5
1.2.2 数字水印的定义与实现	6
1.2.3 水印算法的一般评测标准	8
1.2.4 国内外研究情况	10
1.3 数字矢量地图水印算法的研究热点	22
1.4 小结	23
第2章 数字矢量地图水印算法的基本原理	25
2.1 数字矢量地图水印算法的研究阶段	26
2.2 数字矢量地图水印攻击方法	30
2.3 数字矢量地图水印算法评测方法	32
2.3.1 水印算法的主要评测指标	32
2.3.2 水印算法的基本评测过程	36



2.3.3 水印算法的评测技术	38
2.4 数字矢量地图的内容特征模型	49
2.4.1 矢量地图的数据结构	49
2.4.2 矢量地图的文件结构	51
2.4.3 矢量地图的内容特征模型	53
2.5 小结	56
第3章 基于属性特征的数字水印算法	58
3.1 问题的提出	58
3.1.1 传统数字矢量地图水印算法	58
3.1.2 无损数字水印技术的研究	59
3.2 无损数字水印算法的设计方案	63
3.2.1 水印算法无损性能的分析	63
3.2.2 矢量地图的属性特征信息描	65
3.2.3 零比特动态扩展技术	67
3.3 目标节点的选取策略	73
3.3.1 目标节点的选取目标及标准	73
3.3.2 基于网格密度的空间聚类分析方法	74
3.3.3 关键性目标节点提取	78
3.4 数字水印算法的实现过程	79
3.5 理论分析与实验验证	81
3.5.1 实验环境和数据	81
3.5.2 顽健性测试与分析	81
3.5.3 安全性分析	84
3.5.4 隐藏容量分析	84



3.5.5 内容无损性测试与分析	85
3.5.6 坐标系转换分析	87
3.5.7 可信度推理评测分析	88
3.5.8 算法的总体评价	92
3.6 小结	93
第4章 基于空间特征的数字水印算法	94
4.1 数字矢量地图的操作特性	95
4.2 面向图元的数字水印算法设计方案	98
4.2.1 图元的空间特征信息描述	98
4.2.2 基于线图元的水印嵌入机制	100
4.2.3 基于多边形图元的水印嵌入机制	101
4.3 基于空间关系的目标节点选取策略	103
4.3.1 数字矢量地图的空间演化特性	103
4.3.2 目标集的求解算法	104
4.4 数字水印算法的结构设计与实现	106
4.5 水印信息与标记的互认证	111
4.5.1 解释攻击的问题描述	111
4.5.2 互认证方案	113
4.6 理论分析与实验验证	114
4.6.1 曲线拟合测试	114
4.6.2 精度约减及格式转换测试	118
4.6.3 数据压缩测试	119
4.6.4 算法性能分析	120
4.6.5 集对分析评测验证	121



4.7 小结	127
第5章 基于身份验证的数字水印算法	128
5.1 身份识别功能的需求	128
5.2 自适应指纹特征选取方法	129
5.2.1 自适应性解释与讨论	130
5.2.2 双图分形编码的研究与实现	131
5.3 数字水印算法的实现方案	133
5.3.1 指纹水印生成方案	134
5.3.2 水印嵌入与检测方案	136
5.3.3 数字零水印扩展方案	138
5.4 实验验证与理论分析	141
5.4.1 实验数据集来源	141
5.4.2 身份验证准确性分析	142
5.4.3 视觉系统检测	144
5.4.4 身份验证歧义性分析	145
5.5 小结	146
参考文献	147



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。数字矢量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矢量地图的依赖程度也越来越大。数字矢量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。伴随着数字矢量地图的推广和应用,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。

数字矢量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矢量地图的安全问题。人们在享受地理信息化带来众多便利的同时,面临着日益突出的信息安全问题。数字矢量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成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矢量地图,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矢量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。

了解数字矢量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。解决数字矢量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,对于数字矢量地图来说,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。数字矢量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。

数字矢量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。传统的数字矢量地



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矢量地图安全防护体系,需要综合应用多种安全技术,从不同的角度、层次上对数字矢量地图进行研究。分析数字矢量地图的内容特征,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,保证数字矢量地图的内容不被轻易获得。

按照数字矢量地图数据安全问题的危害性程度,对数字水印(digital watermark)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,数字矢量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,算法的顽健性能普遍较弱;③按照算法公开原则,多数算法均可被逆向破解。

据国内媒体据统计,仅2009年,基于GPS的数字矢量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。数字矢量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、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。

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,还需要对数字矢量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,消除对数字矢量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储存器上, 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, 数字地图能够更全面和生动地描述地形地貌。

按照来源和用途的不同, 数字地图可分为: 数字矢量地形图、数字栅格地形图、数字遥感影像图、数字高程模型图、数字专题图等。

数字地图与传统地图的不同表现在以下几个方面。

1) 传统地图主要进行图形数据的绘制, 而数字地图则是一些更为复杂的数据类型, 例如点、线、多边形等矢量对象及其拓扑关系。

2) 传统地图数据在同一图幅内展现, 而数字地图的地理数据要根据要素类型分为不同的图层存放。统一分层实现了地理信息的任意抽取, 为专题图制作和数据共享提供了极大的便利。

3) 传统地图的更新速度较慢, 而数字地图可随时根据需要进行图层重绘, 且生产周期短、工艺简单快捷, 为数字城市、数字交通和军事国防提供了重要的保障资源。

目前, 二维矢量数字地图应用最广泛。矢量数字地图一般由3部分组成: 地理(geometric)信息、属性(attribute)信息