

地理空间矢量数据 数字水印技术

张黎明 闫浩文 著



科学出版社

地理空间矢量数据数字水印技术

张黎明 闫浩文 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

地理空间数据是 GIS 应用的核心, 其对国民经济、国防建设和人类生活起着重要的作用, 已广泛应用于社会各行业、各部门, 如城市规划、交通、银行、环保、通信航空航天等。数字水印是保护数字地图版权的一种有效方法, 随着地理空间数据安全保护需求的日益增加, 数字水印技术必将发挥着越来越重要的作用。本书系统论述了地理空间矢量数据数字水印技术的基本概念和基本原理, 是笔者在这一领域的最新研究成果。其主要内容包括: 地理空间矢量数据数字水印技术的研究进展、地理空间矢量数据数字水印技术的理论基础、地理空间矢量数据空间域数字水印技术、地理空间矢量数据变换域数字水印技术、多技术融合的地理空间矢量数据数字水印技术和抵抗投影攻击的地理空间矢量数据数字水印技术等。

本书可供测绘、地理信息、遥感、计算机信息处理和信息安全等方面的科技人员参考, 亦可作为地图学与地理信息系统专业研究生的教学参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

地理空间矢量数据数字水印技术/张黎明, 闫浩文著. —北京: 科学出版社, 2017.11

ISBN 978-7-03-055140-5

I. ①地… II. ①张… ②闫… III. ①地理信息系统-空间矢量-数据处理-水印-研究 IV. ①P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 268770 号

责任编辑: 刘浩旻 赵丹丹/责任校对: 张小霞

责任印制: 张 伟/封面设计: 铭轩堂

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京科印技术咨询服务公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年11月第 一 版 开本: 720×1000 B5

2017年11月第一次印刷 印张: 7 1/4

字数: 140 000

定价: 59.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

地理空间矢量数据是地理信息系统 (geographic information system, GIS) 应用的核心。随着地理空间矢量数据生产和传播的“数字化”和“网络化”, 其安全问题日益凸显, 侵权、泄密和非法传播与使用等行为屡屡发生。地理空间矢量数据以数字化的形式保存, 在方便数据拷贝和传播的同时, 也使盗版变得极其容易。仅仅依靠传统的安全保密措施, 不能有效遏制诸如此类数据安全事故的发生, 地理空间矢量数据的安全迫切需要可靠、有效的技术来保障。为解决数字内容的版权保护问题, 数字水印技术应运而生。数字水印是保护数字地图版权的一种有效方法, 随着地理空间矢量数据安全保护需求的日益增加, 其在地理空间矢量数据安全保护中起着越来越重要的作用。

本书深入分析了地理空间矢量数据数字水印技术的特征, 以归一化方法、映射函数、离散傅里叶变换 (discrete fourier transform, DFT) 和数理统计等数学理论为工具, 结合 GIS 理论及地理空间矢量数据的特征, 研究了一系列地理空间矢量数据数字水印算法。

全书共 7 章。其中, 第 1 章: 绪论, 主要介绍了地理空间矢量数据数字水印技术的研究背景、研究意义、国内外研究现状和不足, 以及研究内容、技术路线和组织情况。第 2 章: 地理空间矢量数据数字水印技术基础, 介绍了数字水印基本概念、基本框架、数字水印的置乱技术; 从地理空间矢量数据结构及特征、数字水印技术特征及数字水印攻击方式三个方面深入分析了地理空间矢量数据数字水印技术特征。第 3 章: 地理空间矢量数据空间域盲数字水印技术, 提出了两种不同的地理空间矢量数据空间域盲数字水印算法, 运用数据处理中的最小-最大归一化方法, 构建数字水印嵌入空间, 在此基础上, 提出了归一化的地理空间矢量数据盲数字水印算法; 基于 QR 码编码技术, 并改进了传统的最低有效位 (least significant bit, LSB) 算法, 提出了二维码 (quick response code, QR 码) 编码的地理空间矢量数据数字水印算法, 对两个算法的正确性和鲁棒性进行了试验验证及分析。第 4 章: 地理空间矢量数据变换域盲数字水印技术, 首先, 对抵抗几何攻击的 DFT 变换域数字水印算法进行研究, 分析了 DFT 变换域数字水印算法引起数据误差较大的原因, 提出了可控误差的 DFT 变换域数字水印算法; 其次, 针

对 DFT 变换域数字水印算法局部性较差的缺陷,提出了基于特征点的 DFT 变换域数字水印算法;最后,针对 DFT 变换域数字水印算法不能直接应用于矢量空间点数据的问题,提出了利用规则格网划分空间数据,建立虚拟线要素对象,再运用 DFT 变换域数字水印算法实施数字水印嵌入、提取。第 5 章:多技术融合的地理空间矢量数据数字水印技术,提出了一种空间域和 DFT 变换域相结合的多重数字水印算法:首先,在空间域中,运用量化索引调制(quantization index modulation, QIM)方法嵌入水印 1,其次,对所有要素对象,在 DFT 变换域嵌入水印 2,算法很好地解决了数字水印覆盖的问题,且保持了两种数字水印技术各自的优点。第 6 章:抵抗投影变换攻击的地理空间矢量数据盲数字水印技术,提出了一种解决投影变换攻击和坐标系变换攻击水印解决方案,在数字水印嵌入时,转换原始数据到 WGS84 地理坐标系,将数字水印嵌入 WGS84 坐标系空间数据。在数字水印提取时,只需把含数字水印数据转换到 WGS84 坐标系后,即可提取数字水印信息,该算法采用了鲁棒性高的 DFT 变换域数字水印算法。第 7 章:总结和展望,对本书研究工作进行总结,分析了未来需要进一步深入研究的相关问题。

本书的研究工作受到国家重点研发计划(No. 2017YFB0504203)、国家自然科学基金项目(No. 41371435, No. 71563025, No. 41671447, No. 41761080)和兰州市人才创新创业科技计划项目(No. 2016-RC-59)等资助。

本书由兰州交通大学测绘与地理信息学院张黎明博士、闫浩文教授共同组织撰写,闫浩文教授负责统稿及审定全稿。第 1 章及第 7 章由闫浩文教授撰写,第 2 章~第 6 章由张黎明博士撰写。在本书的编辑、整理、校对和出版的过程中,得到了兰州交通大学王中辉博士和刘涛博士等老师的热心支持,吕文清、马磊、张乾和冯驰等研究生对本书初稿进行了认真阅读并提出了宝贵的修改意见,在此表示衷心的感谢!

由于笔者学识和水平有限,书中难免有疏漏之处,敬请读者批评指正。

张黎明 闫浩文

2017 年 5 月

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 研究背景和意义	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 研究意义	4
1.2 研究现状	5
1.2.1 数字水印技术的研究现状	5
1.2.2 地理空间矢量数据数字水印算法的研究现状	6
1.3 研究存在的问题	12
1.4 本书的研究内容及创新、技术路线与组织结构	13
1.4.1 研究内容及创新	13
1.4.2 技术路线	15
1.4.3 组织结构	16
第2章 地理空间矢量数据数字水印技术基础	18
2.1 数字水印技术概述	18
2.1.1 数字水印的定义和特征	18
2.1.2 数字水印系统的基本框架	20
2.1.3 数字水印的置乱	23
2.2 地理空间矢量数据数字水印技术的特征	25
2.2.1 地理空间矢量数据及其特征	26
2.2.2 地理空间矢量数据数字水印技术概述	27
2.2.3 地理空间矢量数据数字水印算法	29
2.2.4 地理空间矢量数据数字水印攻击	29
2.3 本章小结	31
第3章 地理空间矢量数据空间域盲数字水印技术	32
3.1 基于归一化的地理空间矢量数据盲数字水印算法	32
3.1.1 地理空间矢量数据归一化	32

3.1.2	数字水印算法	36
3.1.3	试验及分析	38
3.1.4	算法说明	43
3.2	运用 QR 码的地理空间矢量数据盲数字水印算法	43
3.2.1	字符数字水印的特点	43
3.2.2	QR 码及数字水印预处理	44
3.2.3	数字水印嵌入与提取	44
3.2.4	试验及分析	47
3.2.5	算法说明	50
3.3	本章小结	50
第 4 章	地理空间矢量数据变换域盲数字水印技术	52
4.1	基于 DFT 的可控误差地理空间矢量数据盲数字水印算法	52
4.1.1	DFT 变换域数字水印算法的原理	52
4.1.2	误差控制原理	54
4.1.3	数字水印嵌入与提取算法	54
4.1.4	试验及分析	57
4.1.5	算法说明	59
4.2	基于特征点的地理空间矢量数据盲数字水印算法	60
4.2.1	基于特征点的数字水印算法分析	61
4.2.2	数字水印嵌入与提取算法	62
4.2.3	试验及分析	64
4.2.4	算法说明	69
4.3	一种网格划分的点数据 DFT 变化域盲数字水印算法	69
4.3.1	数字水印算法	69
4.3.2	试验及分析	73
4.3.3	算法说明	77
4.4	本章小结	77
第 5 章	多技术融合的地理空间矢量数据数字水印技术	79
5.1	地理空间矢量数据多重数字水印特点分析	79
5.2	一种多重数字水印嵌入算法	80
5.2.1	空间域数字水印嵌入算法	80
5.2.2	DFT 变换域数字水印嵌入算法	81
5.2.3	数字水印提取算法	82

5.3 试验及分析	83
5.3.1 误差及不可见性分析	83
5.3.2 鲁棒性分析	84
5.3.3 增加点、修改点及裁剪攻击	85
5.3.4 压缩及要素删除攻击	85
5.3.5 几何攻击	86
5.3.6 乱序及格式转换攻击	86
5.3.7 数字水印嵌入顺序的影响	87
5.3.8 R 取值对数字水印提取的影响	87
5.4 本章小结	87
第 6 章 抵抗投影变换攻击的地理空间矢量数据盲数字水印技术	88
6.1 投影变换对数字水印的影响	88
6.1.1 投影变换	88
6.1.2 投影变换对数字水印的影响	89
6.2 算法思路	90
6.2.1 数字水印嵌入算法	91
6.2.2 数字水印提取算法	92
6.3 试验及分析	92
6.3.1 误差及不可见性分析	93
6.3.2 鲁棒性分析	94
6.4 本章小结	97
第 7 章 总结和展望	98
7.1 总结	98
7.2 展望	100
参考文献	102

第1章 绪 论

随着全球环境的日益恶化,环境保护成为当今人类社会共同关注的重大问题。由于环境问题和环境过程都与地理空间位置有关,环境保护离不开环境地理信息的采集和处理。据统计,85%以上的环境地理信息都与地理空间位置有关,具有明显的空间分布特征(黄菊,2012)。而地理信息系统(geographic information system, GIS)凭借强大的空间分析和统计功能,已经成为人们解决各种复杂环境问题和正确认知环境地理空间的重要工具(李旭祥等,2008)。

1.1 研究背景和意义

1.1.1 研究背景

环境科学涉及的多种信息处理技术(如环境监测技术和环境管理技术等)正在通过与 GIS 技术的相互集成,逐渐形成功能强大并具有明显环境特征的信息系统,即环境地理信息系统(geographic information system for environment, EGIS)。它是采集、存储、管理、分析和处理环境空间信息的计算机系统,是 GIS 技术与环境科学相互集成的、功能强大的并具有明显环境特征的信息系统。EGIS 近年来已发展成为辅助人们进行环境保护的综合性技术平台,在环境规划、环境管理、环境监测、生态保护、环境影响评价和环境污染事故应急处理等领域具有广阔的应用前景(刘勇、井文涌,1997)。图 1.1 是太湖流域水资源信息服务系统,在水资源信息化管理的基础上,结合 EGIS 强大的空间分析、空间查询和可视化表达及专题图制图等功能,为决策者提供技术手段,为社会相关部门及社会公众提供信息服务。

环境地理数据在 EGIS 中是不可缺少的重要基础数据。2014 年,测绘地理信息系统共提供各种比例尺地形图 28.96 万张,提供“4D”成果数据 153.50TB,累计面积为 42706.53 万 km^2 ^①。环境地理数据一般由测绘部门或环保部门生产和管理,数据的获取通常要借助于昂贵的专业设备和大量的人力、物力,其版权保护、

① 数据来源:2014 中国国土资源公报

数据安全和数据共享等越来越引起人们的重视。随着 EGIS 技术的成熟与广泛应用, 环境地理数据发挥着越来越巨大的作用, 具有重要的科研与应用价值。



图 1.1 太湖流域水资源信息服务系统

资料来源: <http://www.wavenet.com.cn/> 2015 年 10 月

近年来, 随着信息化、数字化和网络化的飞速发展, 环境地理数据的获取、存储、传播、使用和复制等都变得非常方便快捷。人们在享受这一便捷的同时, 极易造成环境地理数据的非法拷贝和复制。环境地理数据的安全面临严峻挑战, 安全问题更加突出。目前, 针对环境地理数据的分发管理大部分还停留在传统的针对纸质地图的管理层次上, 仍然采用申请、登记、领取(购买)数据的方式进行, 使得数据分发之后的去向难以控制, 数据安全无法保证。因此, 无法解决数据的泄密、非法流传、盗版、无偿使用和非法获利等问题, 从而导致一系列的问题: 首先, 由于环境地理数据的保密性高、价值大, 数据拥有者对数据往往采取严格的保护措施, 不敢轻易分发或共享数据, 造成环境地理数据的分发或共享受阻; 其次, 由于安全技术无法跟上实际需要, 数据的传播受到限制, 也就造成环境地理数据难以发挥作用, 应用部门很难得到数据, 正常工作受损, 最终导致整个产业受损, 影响 EGIS 的发展、应用和效益。

2008 年, 北京长地万方科技有限公司控诉深圳市凯立德计算机系统技术有限公司导航电子地图产品侵权, 法院最终判决认定, 被告的《凯立德全国导航电子地图(335 城市)》与原告的《“道道通”导航电子地图》存在内容相同或近似, 法院认定了原告列举的非常明显的 99 处侵权点, 如虚设地址相同、长地版本号相

同、特制信息相同、个别字误相同、表述不当相同、同类地点的多种表述相同、不规范简称相同、未简全称相同、信息取舍相同、被控作品存在有点无路的不合理情形、两者所犯错误相同和位置关系标注相同等情况。导航电子地图的信息是海量的,侵权点不仅此 99 处。由此可见,数字产品的侵权行为难以判断和认定,没有相应的技术和法律法规的支持,权利人很难对一些侵权行为进行证据保全,增加了诉讼的成本和难度。这类问题严重影响了地理信息系统、数字城市和电子政务等地理信息相关产业的健康发展。数字水印技术可以解决这一难题,在地图数据中嵌入数字水印信息,通过数字水印技术能够提取到隐藏的版权标识,实现版权保护。

因此,如何保证环境地理数据的安全、保护知识产权已成为急需解决的现实问题。不论是环境地理数据的完整性,还是所有者的合法权益,都需要有效技术来保护,化解数据共享、应用和安全之间的矛盾。

数据加密技术在数据安全领域内有着悠久的历史,其起源可以追溯到罗马时代,如古罗马的“恺撒密码技术”。但直到 1949 年,香农发表了题为《保密系统的通信理论》一文,使得加密技术的研究真正成为一门学科。传统的数字加密技术是将数据文件加密成密文,只允许持有密钥的人员使用原文数据,无法通过公共系统让更多的人获得其所需要的信息,严重妨碍了环境地理数据的共享使用。同时,解密后的数据可以被任意复制和传播,数据就会失控,数据版权得不到有效保护(朱长青,2009)。另外,盗版者通过购买正版数据产品,使用密钥解密后获得毫无保护的数据副本,然后非法发行数据副本,数据同样失控。因此,传统的数字加密技术在知识产权保护方面具有很大局限性。

在一定的情况下,数字签名技术可以发挥数据安全保护的功能(如数据源的验证、数据完整性的确认),但数字签名与原始数字产品的内容是完全独立的两个部分,因而比较容易被分离开来,这不会影响到原始数字产品的正常使用,同时也就无法对数据安全保护起到应有的作用。

由于密码学技术对数字化产品保护能力的局限性,数字水印技术应运而生,被称为“数字化数据保护的最后一道防线”(孙圣和等,2004)。数字水印技术是将数字水印信息(如版权信息和用户信息等)嵌入到数字载体中,使数字水印信息成为数据不可分离的一部分,并且不影响原始载体的使用价值,也不容易被人类的视觉感知察觉或注意到(可见水印除外)。

目前,数字水印技术的研究主要集中在图像、图形、视频和音频等领域。近年来,数字水印技术在地理空间矢量数据领域的研究越来越多,但环境地理空间矢量数据方面的研究成果还远不能满足实际应用的需求,存在许多急需解决的问

题。例如,空间域数字水印算法如何抵抗几何变换攻击、变换域数字水印算法如何控制数字水印嵌入引起的误差和多技术融合的地理空间矢量数据数字水印算法的研究等,特别是抵抗投影攻击的数字水印技术鲜有研究(闵连权等,2009)。

1.1.2 研究意义

(1) 环境地理空间数据版权保护的需要

环境地理空间数据,特别是矢量空间数据是 EGIS 应用的核心。在各种 EGIS 系统建设中,地理空间数据的建库大概要占到整个系统建设 70%的工作量,数据的采集、整理和后期加工需要耗费大量的人力财力(胡鹏,2002),版权保护尤为重要。地理空间数据以数字化方式储存,这些数据极易被复制,复制物与原件的内容品质相同并且复制成本低廉,因此,其被侵害的概率往往很高,这就需要从技术层面上识别出数据所有者和传播者。数字水印技术是近年来出现的数字产品版权保护技术,可以标识作者、所有者和使用者等,并携带有版权保护信息和认证信息,为环境地理空间数据的版权保护提供有力的技术支持。

(2) 环境地理信息产业发展的必然要求

GIS 为各级环境管理部门提供了新的技术手段。目前,各种层次和规模的 EGIS 在环境保护工作中具有巨大优势和潜力。但是,非法拷贝和复制使得数据生产者(拥有者)不愿轻易公开或发布其产品,不愿共享,不敢共享,严重阻碍了 EGIS 产业的发展和具有重要价值的环境地理空间数据的广泛应用(崔翰川,2013)。因此,如何保护环境地理空间数据的安全与知识产权已成为急需解决的现实问题。解决这一问题,既需要完善的法规制度,也需要先进的技术手段来解决环境地理空间数据的版权保护问题,从而有效保护数据生产者(拥有者)和使用者的合法权益,促进环境地理空间数据的共享与交易,从而保障 EGIS 等环境地理信息产业的安全和健康发展(朱长青,2014)。

(3) 环境地理信息系统科学理论体系的重要内容

环境地理信息系统是一种空间信息系统,具有信息学科的一般特征(李旭祥等,2008)。地理信息安全在信息学科中具有重要的地位和作用,环境地理空间数据安全也具有同样重要的研究意义。尽管各国已经制定了相关的保密政策与法规,并在环境地理信息系统建设中采取了一些安全措施,但目前环境地理空间数据安全现状堪忧,还缺乏完善的理论基础和技术支持,急需开展地理信息安全的基础

理论和技术方法的研究。

因此,本书就数字水印技术在地理空间矢量数据版权保护方面深入研究,根据环境地理空间矢量数据自身的特性,研究适用于 EGIS 的地理空间矢量数据版权保护的鲁棒水印算法,目的在于一方面提出能够抵抗多种数字水印攻击、鲁棒性高的盲水印算法;另一方面,对抗投影攻击的地理空间矢量数据数字水印技术进行探索。

1.2 研究现状

1.2.1 数字水印技术的研究现状

关于数字水印技术研究的论述首见于 Tirkel 等(1993)发表的一篇文章 *Electronic Watermark*, 以及随后发表的另一篇文章 *A Digital Watermark* (Schyndel et al., 1994)。数字水印技术自提出以后,由于其在数字产品版权保护、内容认证和使用跟踪等方面具有独特的作用而逐渐成为研究热点,许多学者和研究机构对数字水印技术进行了深入的研究,其中包括麻省理工学院、剑桥大学和南加利福尼亚大学等大学,以及微软亚洲研究院、IBM、SONY、PHILIPS 和 NEC 等大公司。国内许多大学和研究所紧跟国际研究步伐,对数字水印技术进行深入研究,包括如中国科学院、北京邮电大学、西安电子科技大学、南京师范大学、浙江大学和中国人民解放军国防科技大学等(王奇胜, 2012)。二十多年来,经过国内外学者广泛、深入的研究,数字水印技术研究在水印理论和方法上取得了很多研究成果。

除了理论研究,数字水印软件产品也不断涌现。美国的 Digimarc 公司是一个专门从事数字水印技术研究的公司,于 1996 年推出第一个数字水印商业软件,以插件的形式将该软件集成到 Adobe 公司的著名的 Photoshop 和 Corel Draw 图像处理软件中(孙鸿睿, 2013)。为满足对数字水印系统评估的要求,英国剑桥大学的 Fabien Petitcolas 等设计了一个名为 Stirmark 的通用的水印基准测试软件,建立了一套针对不同数字水印算法性能评估和比较的模型,该软件已经成为数字水印领域使用最为广泛的水印评测工具,Stirmark 可从多方面通过模拟多种数据水印攻击手段来测试数据水印的鲁棒性。除此之外,目前公开报道的数字水印软件还有 Digimarc 公司的系列产品 PictureMarc、ReadMarc、BatchMarc、Marc Center、Marc Spider, 英国 Signum 公司的 SureSign 系列产品, Alpha 公司的 EIKONAmark 和 MediaSec 公司的 SysCop 系列产品等(杨成松, 2011)。

总体来说,目前数字水印技术的研究大部分集中于以图像、音频、视频数据为载体的数字水印技术上,理论研究和技术应用上取得了较大进步,而在地理空间数据特别是地理空间矢量数据方面的研究相对较少。随着数字水印技术被引入到地理空间数据安全及版权保护中,地理空间数据数字水印作为数字水印技术在专业领域的一种应用将逐渐成为数字水印技术研究热点之一。

1.2.2 地理空间矢量数据数字水印算法的研究现状

使用“watermark vector GIS”作为关键字,通过查询工程索引数据库,从1969~2015年,共有44篇相关文献。从文献数量看,2000年出现了该领域的第一篇文章,之后5年中,每年2~3篇,2007年出现了5篇,表明这方面的研究逐渐增多。2009年和2010年论文数量分别是7篇和8篇,表明这是一个新兴的学术领域,也是一个专业化程度非常高的研究方向。从论文数量看,大陆17篇和台湾地区2篇,韩国6篇,这表明中国在该学术领域具有绝对的领先地位,中文文献具有世界领先水平的参考价值。

地理空间矢量数据数字水印技术自提出以来,引起了国内外学者的广泛重视。许多科研机构 and 大学学者进行了相关研究。例如,国外研究机构和大学主要有Yamanashi University和Hokkaido University(日本)、Aristotle University of Thessaloniki(希腊)、Myongji University(韩国)、Northern Illinois University、University of California(美国)、University of Zagreb(克罗地亚)、Technical University Darmstadt(德国)、University of Delhi和Indian Institute of Science(印度)及The Digital Map Ltd.(乌拉圭)等(杨成松,2011);国内研究机构和大学主要有南京师范大学、西安电子科技大学、中国人民解放军信息工程大学、哈尔滨工程大学、武汉大学、中南大学、北京邮电大学和兰州交通大学等。

一般来说,根据数字水印的嵌入位置,地理空间矢量数据数字水印算法可以分为空间域数字水印算法和变换域数字水印算法。本书从空间域数字水印算法和变换域数字水印算法两方面对地理空间矢量数据数字水印算法的研究现状进行综述。

(1) 空间域数字水印算法

空间域数字水印算法是将数字水印信息直接嵌入矢量数据各顶点坐标上。典型算法如LSB算法,即数字水印嵌入空间数据的最低有效位部分。贾培宏等(2004)提出采用LSB与地理空间矢量数据拓扑相结合的算法,并对数字水印信

息加密,该算法在一定程度上提高了空间域数字水印对剪切等攻击的抵抗能力。Schulz 和 Voigt (2004) 提出把地图数据分割成一定宽度的水平带或垂直带,根据数字水印信息调整各个带中数据点的坐标值,算法可以抵抗数据简化、裁剪和小幅度的随机噪声攻击。王超等 (2007) 将矢量地图按多边形特征进行分解,选择合适的多边形线段,将水印嵌入到顶点坐标中,算法对图形的几何变换、增删操作具有较好的鲁棒性。闵连权 (2008) 则根据矢量地图数据的数据量设计了两种数据映射规则,把数字水印信息嵌入在基于数据映射规则的数据分类上,具有很好的不可感知性和鲁棒性。

多位学者研究了应用道格拉斯-普克 (Douglas-Peucker, D-P) 算法选取地理空间矢量数据特征点,并将数字水印嵌入这些特征点。朱长青等 (2006) 首次提出利用 D-P 算法来实现抗矢量地理数据压缩的数字水印算法,即非盲水印算法。张佐理 (2010) 对 D-P 算法进行改进,采用改进的 D-P 算法对冗余顶点进行压缩,利用压缩后的顶点数据嵌入数字水印,具有较好的抗数据压缩效果,但数字水印嵌入时使用简单的分块重复嵌入,难以抵抗其他类型的攻击。李强等 (2011a) 对地理空间矢量数据采用 D-P 算法压缩,根据数据的奇偶性特征嵌入数字水印信息,在取得较好的抗压缩效果的同时,也实现了数字水印信息的盲检测。陈晓光和李岩 (2011) 应用经过 D-P 算法压缩后的数据,根据特征点的位置信息及容差值确定嵌入策略,实现了数字水印信息的盲检测,同时对其他类型的攻击具有一定的鲁棒性。Yan 等 (2011) 根据地理空间矢量数据特点,分别选取点、线、面矢量图层,针对每一图层分别选取特征点,对点图层数据,采用 Voronoi 图方法选取特征点,对线、面数据采用 D-P 算法选取特征点,然后应用 LSB 算法,将数字水印嵌入特征点数据。

Sakamoto 等 (2000) 通过对空间坐标数据进行分块,使扩频后的数字水印信息重复地嵌入到数据块中,是一种最早提出的基于分块的地理空间矢量数据数字水印算法。Kang 等 (2001) 对 Sakamoto 等 (2000) 的算法进行了改进,采用了任意大小的方形掩膜对数据进行分块,调整数据点坐标嵌入数字水印信息。李媛媛和许录平 (2004) 提出了一种用于地理空间矢量数据版权保护的数字水印算法,基本思想是首先,对地理空间矢量数据进行均匀分块;其次,根据每一块中的数据点密度来控制数字水印强度;最后,通过修改横坐标来嵌入数字水印信息。该算法的不足之处是根据数据点的密度来调节数字水印嵌入强度的思想值得商榷;数字水印提取时需要计算数字水印嵌入强度,但数据受到攻击特别是增、删后,如何保证数字水印嵌入和检测时强度计算的一致性有待考虑;数字水印提取需要原始数据和数字水印信息,实用性不强。

MQUAD (modified quadtree, MQUAD) 方法是一种经典的地理空间矢量数据数字水印算法。Ohbuchi 等 (2002) 首次提出了 MQUAD 水印算法, 算法应用四叉树划分矢量地图, 把矢量地图划分为矩形子块, 并在不同矩形子块中重复嵌入数字水印信息, 提高了数字水印算法的鲁棒性。王勋等 (2004) 依据地理要素的不同, 充分运用数据点之间的相关性, 通过改进 MQUAD 数字水印算法, 提出了一种双重矢量地图数据数字水印算法。钟尚平 (2005) 以 MQUAD 水印算法为基础, 结合离散傅里叶变换 (discrete fourier transform, DFT) 数字水印算法, 将数字水印同时嵌入 DFT 变换域的幅度和相位系数, 算法对几何变换攻击具有较好的鲁棒性。马桃林等 (2006) 通过点坐标的漂移方法, 对 MQUAD 数字水印算法进行了相应的改进, 先将地图根据顶点密度划分成矩形网格, 再通过移动矩形网格中的顶点来嵌入数字水印信息。这种分层结构同时决定了嵌入数字水印信息的顺序。通过移动矩形网格中的多重顶点及多次嵌入信息, 可以使数字水印具有抗攻击的能力。王超等 (2009) 改进 MQUAD 数据分块方法, 在不同分块中, 结合密钥修改某些点的 x 坐标或者 y 坐标, 从而嵌入数字水印信息, 实现了数字水印的盲检测。虽然 MQUAD 数字水印算法克服了大多数数字水印算法依赖数据点顺序的问题, 但很难保证在数据遭受攻击前后 MQUAD 划分结果的一致性, 可能会导致数字水印检测失败。

Park 等 (2002) 提出在复杂线面要素上插入冗余点的数字水印算法, 这样既保证了原有数据的精度, 又可以通过增加冗余数据达到嵌入数字水印的目的。张鸿生等 (2009) 将一幅矢量图形视为曲线的集合, 按设定阈值进行曲线分割, 在容差范围内, 使每条曲线对应一个数字水印位, 且对曲线中每个结点嵌入一个含有用户证书信息的数字水印点。阚映红等 (2010) 通过冗余点在其相邻两个数据节点间的移动来嵌入数字水印信息, 从而保证数字水印信息的嵌入不会引起地理空间矢量数据中线状和面状数据的几何变形。朱俊丰等 (2011) 提出一种融合的数字水印算法, 进行两次数数字水印嵌入, 分别是改变数据点的值和在冗余数据点中嵌入数字水印。这几种算法虽然有一定的鲁棒性, 但是增加数据点改变了原始数据的大小, 对数据的使用会造成影响。

基于差值扩张和差值平移是实现地理空间矢量数据可逆数字水印算法的一种重要方法。Voigt 等 (2004) 通过调整离散余弦变换 (discrete cosine transform, DCT) 系数中的高频系数调制数字水印信息, 通过补偿水印嵌入引起误差超过阈值的 DCT 系数, 减小图形的变形。而在数字水印提取时, 完全可以恢复原来的载体数据, 该算法特点是数字水印容量大, 但原始信息的恢复相对比较复杂。邵承永等 (2007) 利用地图相邻顶点坐标的相关性, 通过修改地图中相邻顶点坐标间

的差值来嵌入数字水印信息。数字水印的提取过程不仅能够得到隐藏信息,而且能够准确无误地恢复原始地图数据。该算法的不足之处是地图顶点的扰动方向没有考虑原始地图的形状特征,因此,在充分放大地图后,这些扰动使地图具有不自然的外形特征。Wang 等(2007)提出了两种解决方案:第一种方案是通过修改相邻坐标之间的差值来隐藏水印信息;第二种方案是计算相邻顶点之间的曼哈顿距离,以其作为数字水印的载体数据,通过调整相邻顶点距离差值对其进行改变,第二种方案在水印容量和不可见性方面要优于第一种方案。武丹和汪国昭(2009)在邵承永算法的基础上对坐标点对进行了改进,引入了差值扩张和差值平移技术,不需要存储定位图,与传统算法相比,具有更高的嵌入率,可扩展的差值是传统算法的两倍左右,但由于除了第一个和最后一个顶点外,其他顶点在数字水印嵌入阶段均被改变了两次,这有可能使部分顶点的误差超限。孙鸿睿等(2012)对传统的差值扩张数字水印算法进行了改进,无须计算顶点之间的均值,只需将第一个顶点的坐标与水印负载一起嵌入,除第一个顶点坐标不改变外,其他顶点坐标只需改变一次。该算法具有更大的嵌入容量,数据误差更可控,保密性更好。Neyman 等(2013)提出了基于差值扩张和曼哈顿距离的可逆数字水印算法,该算法定义了一组可逆整数映射函数,用来计算坐标之间的曼哈顿距离,通过调整相邻顶点距离差值嵌入水印信息。该算法具有较好的不可见性和防篡改能力,并可准确地恢复地图原始数据。

使用聚类的方法对地理空间矢量数据进行分类,从而得到数字水印可嵌入数据的集合,进行数字水印嵌入。焦艳华等(2009)根据矢量地图的数据结构,将标记数字水印策略和聚类方法结合起来,研究并设计了一种基于 K-Means 的地理空间矢量数据数字水印算法。由于聚类操作中依据的是各特征点的相对距离,当攻击者对矢量图形进行旋转与扭曲攻击时,数字水印信息遭到的破坏比较严重。孙建国等(2010)根据矢量地图所含结点、线路和区域三种图层的拓扑特点,定义不同的度量规则并引入模糊聚类分析方法,选择数字水印嵌入的数据集合,然后选用比特位复合的方式,将数字水印信息嵌入地图属性文件描述目标对象的坐标块中,数字水印嵌入的同时还需要保留一些辅助信息,因此,该算法也有一些局限性。曾端阳等(2013)对矢量地图线图层进行聚类运算,并在此基础上提出了一种非盲数字水印算法,对平移、数据更新和裁剪等攻击都具有良好的鲁棒性。

闵连权(2008)和杨成松等(2010, 2011)利用坐标映射的思想进行数据分类实现数字水印嵌入,这种分类方法使嵌入的数字水印信息更加离散、均匀地分布于整个数据中,能够有效地抵抗数据压缩、增点、删点、编辑和裁剪等攻击。杨成松(2011)利用地理空间矢量数据线段比值在几何变换中的不变性实现了一