

数字水印技术在地质数据成果知识产权管理 中的应用研究 成果报告

课题编号：第 222 号

课题名称：数字水印技术在地质数据成果知识产权管理中的应用研究

课题负责人：朱长青

课题联系人：任娜

承担单位：南京师范大学

起止时间：2011 年 8 月~2012 年 3 月

目 录

第一章 课题基本情况.....	1
第一节 课题背景.....	1
第二节 目标与任务.....	1
第三节 主要工作量及成果.....	1
第二章 课题实施及数据源.....	3
第一节 课题组织与实施.....	3
第二节 数据来源.....	3
第三节 质量监控体系与质量保证.....	4
第三章 基于数字水印技术的地质数据成果知识产权管理技术路线.....	5
第一节 总体思路.....	5
第二节 技术路线.....	5
第三节 关键技术.....	6
第四章 基于数字水印技术的地质数据成果知识产权管理模型.....	18
第一节 数字水印信息生成模型和算法.....	18
第二节 矢量地质数据数字水印模型和算法.....	20
第三节 栅格地质数据数字水印模型和算法.....	24
第四节 数字栅格地图可见水印嵌入模型.....	28
第五章 取得成果与建议.....	32
第一节 地质数据数字水印应用模式.....	32
第二节 “吉印”地质数据安全管理平台.....	32
第三节 “吉印”地质数据安全管理平台各子系统说明.....	36
第四节 问题与建议.....	75

第一章 课题基本情况

第一节 课题背景

根据全国矿业权实地核查总体工作安排的公开竞争，受中国地质调查局发展研究中心委托，南京师范大学承担“数字水印技术在地质数据成果知识产权管理中的应用研究”工作任务（隶属中国地质调查局发展研究中心“地质调查信息化适用技术应用研究”项目 2011 年度工作任务）。

合同登记编号：中地调研合同[2011]第 222 号。

第二节 目标与任务

根据中地调研合同[2011]第 222 号合同，本课题主要工作目标及任务如下：

1. 研究数字水印技术在地质数据成果汇交、分发等过程中实现知识产权保护的应用模式；
2. 研究针对地质数据特点的数字水印模型和算法；
3. 开发地质数据数字水印实际运行系统，并对其经济适用性、可用性等进行评价。

第三节 主要工作量及成果

一、主要工作量

1. 基于数字水印技术的地质数据知识产权保护应用模式

分析数字化、网络化环境下地质数据成果汇交、分发等过程中知识产权保护的特点，分析地质数据的多级汇交、分发的应用需求，并以此为依据，研究基于数字水印技术的地质数据多级分发机制，建立地质数据知识产权保护的应用模式，构建可有效保护地质数据知识产权的技术解决方案。

2. 地质数据数字水印嵌入模型和算法

充分顾及矢量、影像、PDF 等类型地质数据的特点，研究地质数据数字水印信息生成方法，研究针对不同地质数据的数字水印嵌入规则，建立强度大、精度高、适用性强的地质数据鲁棒性数字水印嵌入模型和算法。

研究适用于影像和 PDF 数据的可见水印模型和算法。

重点研究地质数据多级水印嵌入模型和算法，建立适用于地质数据多级分发的水印嵌入模型和算法。研究多级以上水印嵌入对数据精度、效率等的影响。

3. 地质数据数字水印检测模型和算法

探讨地质数据数字水印检测特征，研究地质数据水印检测过程中检测阈值的确定方法，分析检测阈值与虚警概率、漏检概率的统计关系，建立基于 F 检验法、总体分布函数的地质数据水印检测数学模型。定量评价水印检测结果的可靠性和可信度，设计地质数据数字水印检测器。

4. 地质数据数字水印抗攻击性和精度研究

剖析地质数据处理方式及其与水印攻击的内在联系，归纳、总结地质数据水印攻击方式，分析和验证建立的地质数据水印模型的抗攻击性能力及对精度的影响，研究提高地质数据水印模型抗攻击性和精度的方法。研究地质数据精度变化规律，建立水印地质数据精度评估方法，研究嵌入水印后地质数据的可用性。

5. 地质数据数字水印原型系统

基于地质数据成果汇交、分发等的需求，利用建立的地质数据水印模型和算法，辅以并行计算技术，研究建立科学性与实用性相结合、集成性和独立性相结合、可靠性和先进性相结合为原则的地质数据数字水印原型系统。在此基础上，对水印系统的适用性和效率进行评价。

二、主要成果

1. 数字水印技术在地质数据成果汇交、分发等过程中实现知识产权保护的应用模式；

2. 两级分发模式的地质数据数字水印模型和算法；

3. 基于 MapGis、ArcGIS、CAD、PDF 等软件的“吉印”地质数据安全平台。

第二章 课题实施及数据源

第一节 课题组织与实施

一、课题组织

根据课题的特点和要求，为保证该课题能够按期、顺利、高质量的完成，成立专门开发人员来管理、实施课题的进度和质量。课题组人员及安排见表 1。

表 1 课题成员组织结构表

姓名	年龄	现工作单位	职务/职称	在本课题中的作用	投入本课题的工作时间（月）
朱长青	50	南京师范大学	教授	负责总体设计	3
任 娜	31	南京师范大学	讲师	应用模式研究	3
崔翰川	27	南京师范大学	博士生	水印嵌入模型构建	3
张亚南	25	南京师范大学	博士生	水印检测模型构建	3
毛 健	29	南京师范大学	博士生	攻击性、精度	3
丁凯孟	25	南京师范大学	博士生	水印系统实现	4
曲东方	24	南京师范大学	硕士生	模型验证	4
曹 曲	24	南京师范大学	硕士生	算法实现	6
吴 维	23	南京师范大学	硕士生	算法实现	6

二、课题实施

根据课题的特点和要求，课题组组成了模型与方案研究组、软件开发组。

模型和方案研究组：研究地质数据数字水印模型和算法，探讨数字水印技术在地质数据成果汇交、分发等过程中实现知识产权保护的应用模式。

软件开发组：完成地质数据数字水印系统需求分析、模型设计、算法实现、软件设计、程序编码、测试等。

第二节 数据来源

本课题研究对象为地质数据，包括矢量数据、栅格数据（含影像数据、扫描数据等）、PDF 数据等。

《“吉印”地质数据安全平台》是针对中国地质调查局发展研究中心的亟需保护的 MapGIS、ArcGIS、CAD、PDF 等数据类型，部分实验数据是中国地质调查局发展研究中心地质信息技术实验室提供的 1: 500 万等中国矿产地质图数据库数据；部分数据是 MapGIS 等软件系统自带实验数据。

第三节 质量监控体系与质量保证

一、 组织保证

本课题由中国地质调查局发展研究中心负责课题的组织实施，南京师范大学承担。

课题接受中国地质调查局发展研究中心的指导、管理和监督。

课题设置组织管理组 1 个，组织管理组负责和总课题沟通、重大问题的审定和决策。组织管理组人员如下：

组 长： 朱长青。

成 员： 任娜、曹曲。

二、 质量评述

本课题的最终研究成果包括：数字水印技术在地质数据成果汇交和分发等过程中实现知识产权保护的应用模式，地质数据数字水印模型和算法，基于 MapGis、ArcGIS、CAD、PDF 的地质数据数字水印系统。

在研究中，对提出的关键技术问题进行了深入探讨，对提出的算法实现过程中可能出现的问题进行了验证，对提出的地质数据成果知识产权应用模式进行了严格论证，对建立的地质数据数字水印系统进行了严格的测试，使得解决方案得以完善。

第三章 基于数字水印技术的地质数据成果知识产权管理技术路线

第一节 总体思路

本课题以地质数据成果知识产权管理关键技术研究为出发点，基于地质数据独有的特征，借鉴了国内外有关矢量数据、图像数据已有的版权保护研究方面的成果，研究数字水印技术在地质数据成果汇交、分发等过程中实现知识产权保护的应用模式，研究了数字水印信息生成、嵌入、检测等关键技术，研发地质数据两级分发数字水印软件系统。

第二节 技术路线

在本课题中，综合运用数理统计、小波分析、傅里叶变换、并行计算、集合与映射理论等方法，展开系统的实验与研究，实现对地质数据知识产权保护的基本理论、方法与应用体系的系统研究。总体技术路线如图 1 所示。

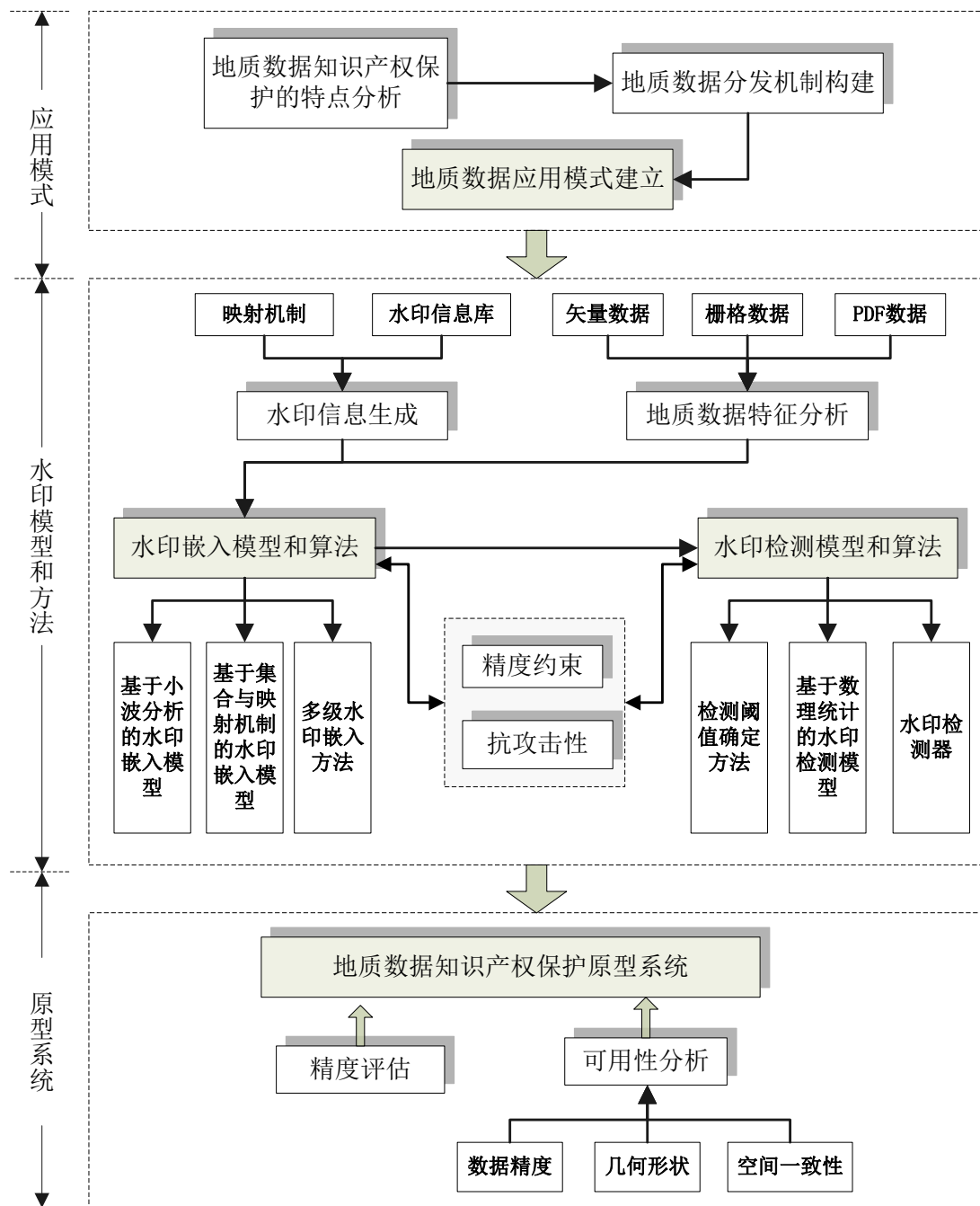


图 1 总体技术路线

第三节 关键技术

一、地质数据特性分析

地质数据是本课题研究的载体，与图像数据、音频、视频等水印载体相比，地质数据具有冗余度小、精度高、具有绝对空间定位等特性。地质数据处理方式与其它载体数据具有鲜明的差别，这决定了地质数据成果知识产权管理将具有自身的特

点。

本课题对地质数据特征进行了分析，从数据结构、数据处理方式、精度要求、统计特性等方面与图像等栅格数据比较，研究了地质数据成果知识产权管理技术的特点，分析了地质数据在数据生产、存储、传输、处理、应用方面的所具有的特点及其对版权保护的影响，总结出地质数据成果知识产权管理技术特点，为研究提供理论基础。

二、地质数据数字水印应用模式

地质数据应主要用于地质系统各级部门，数据管理、汇交、分发主要分两个层次：国家地质主管部门（全国地质资料馆）、直属及地方地质部门。在数字水印技术应用中，需要考虑这两个层次的应用。基本应用模式应该体现在中央和地方两级，即中央向地方及其它政府部门汇交、分发数据，地方部门向相关下一级部门再进行分发，在分发过程中嵌入版权、用户等水印信息，必要时检测出嵌入的水印信息。基本过程如图 2 所示。

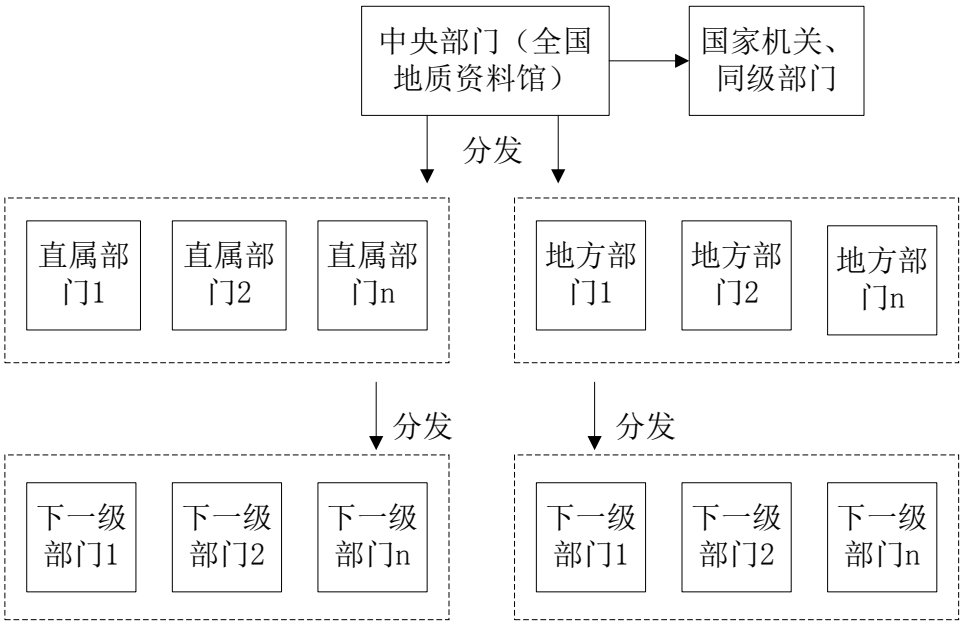


图 2 两级分发模式

在地质数据数字水印两级分发应用模式中，都需要嵌入水印信息，都需要互不干扰，都需要保持数据精度，都需要上级能够检测下级水印信息，反之不可。这些问题的解决必须依靠科学严密的数字水印模型和算法。

三、地质数据数字水印嵌入方法

根据地质数据的特征及处理方式，结合数字水印特点，对地质数据水印嵌入的本质特征进行剖析，归纳水印嵌入的关键技术环节，并对地质数据水印嵌入进行概念建模。进而建立高鲁棒性的适合于地质数据的数字水印嵌入方法。

在实际的水印嵌入过程中，水印嵌入需要解决三个关键技术问题：（1）水印嵌入位置的选择，即如何选择水印嵌入基本单元；（2）水印信息位与水印嵌入基本单元之间的对应关系；（3）水印信息位与水印嵌入位置的结合方式。三个关键技术问题中牵涉到两个基本概念，水印嵌入数据单元和水印信息位。对地质数据处理即可得到一个水印嵌入数据单元的集合，而水印信息又是水印信息位的一个集合。因此，可以建立一个地质数据水印嵌入基本概念模型，如图 3 所示。

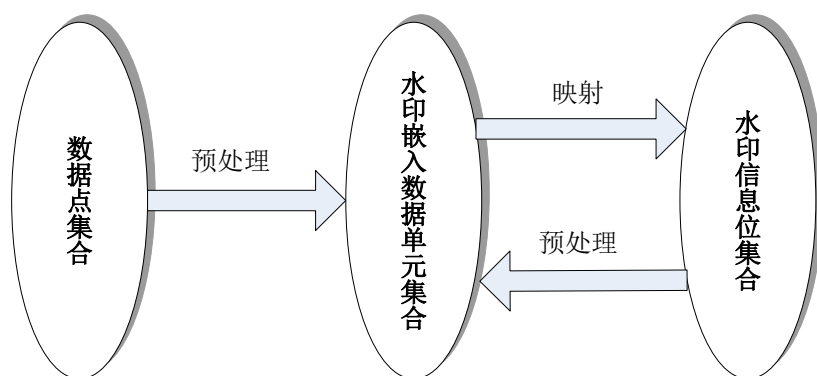


图 3 水印嵌入基本概念模型

从图可见，地质数据水印嵌入的过程是：首先，对原始地质数据进行预处理，得到一个水印嵌入数据单元集合；然后，把水印嵌入数据单元映射到水印信息位集合上；最后，将每一个水印信息位嵌入到与其对应的水印嵌入数据单元上。因此，水印嵌入的关键环节为预处理、映射和嵌入规则。

基于水印嵌入概念模型，结合地质数据处理方式特征，建立能抵抗多种水印攻击模式的地质数据水印嵌入方法。具体方法为：在地质数据的预处理过程中，采用小波变换、傅立叶变换、常函数等数学理论，建立能抵抗数据变化的具有稳定特性的水印嵌入单元生成方法，以抵抗相应的数据变化攻击；在水印嵌入数据单元到水印信息的映射过程中，结合水印嵌入基本单元与水印信息的特点，充分利用地质数据的空间定位特征，建立稳定的多对一的映射函数关系，以抵抗数据处理过程中的同步攻击和数据删减攻击；在地质数据水印嵌入方式的选择上，分析已有的水印嵌

入方式的优缺点，顾及地质数据的本质特征，以实现单个水印信息的盲提取为目标，建立新的水印嵌入方式。从而构建具有高鲁棒性的适合于地质数据的数字水印嵌入方法。

在影像和 PDF 数据可见水印技术研究中，分析影像和 PDF 数据特征，结合可见水印技术特点，对可见水印嵌入位置、嵌入方式、嵌入强度进行分析和研究，并通过剖析嵌入位置、嵌入方式、嵌入强度对影像和栅格地图可见水印视觉效果的影响，利用基于小波变换和人类视觉系统特性，进而建立适用于影像和栅格地图的可见水印方法。

结合地质数据水印嵌入方法，研究地质数据水印容量的定量表达方法，运用数理统计方法建立地质数据水印容量、水印嵌入次数与水印鲁棒性三者之间的相互关系，对同一份数据中嵌入的多个水印信息联系和影响进行研究，建立地质数据多级水印方法。

四、地质数据数字水印检测方法

对不同地质数据从数据结构、处理方式、精度要求、统计特性等方面分析数据的本质特征以及对水印检测的影响。从水印信息生成、嵌入、攻击等方面，分析不同地质数据水印检测特征。

对地质数据水印信息从高斯白噪声、伪随机序列、扩频、混沌、可视水印信息等方面研究其统计特性，从数据平移、旋转、缩放、裁剪、增加、删除、压缩、修改、拼接、数据格式转换等方面研究水印攻击引起的噪声的统计特性，对水印嵌入方式从加法法则、乘法法则、最低有效位法则等方面分析对水印检测的影响。进一步地，基于噪声的统计特性（方差、数学期望等），利用数理统计方法对噪声进行假设检验、参数估计、分布函数建立，进而构建地质数据水印检测噪声的数学模型。

然后，基于地质数据水印检测特征，利用建立的噪声数学模型，构建基于统计决策的地质数据水印检测数学模型。基于统计决策的地质数据水印检测数学模型的建立可分为噪声已知和噪声未知两种情况。

在噪声已知的情况下，其实现途径是：建立攻击的噪声数学模型；利用水印信息和攻击噪声的统计特性，计算待测水印信息的概率分布；结合待测水印信息概率分布，分别计算含有水印信息和不含水印信息时检测结果的概率分布；运用判别分析理论，基于 F 检验法、总体分布函数，建立水印检测模型。具体过程如图 4 所示。

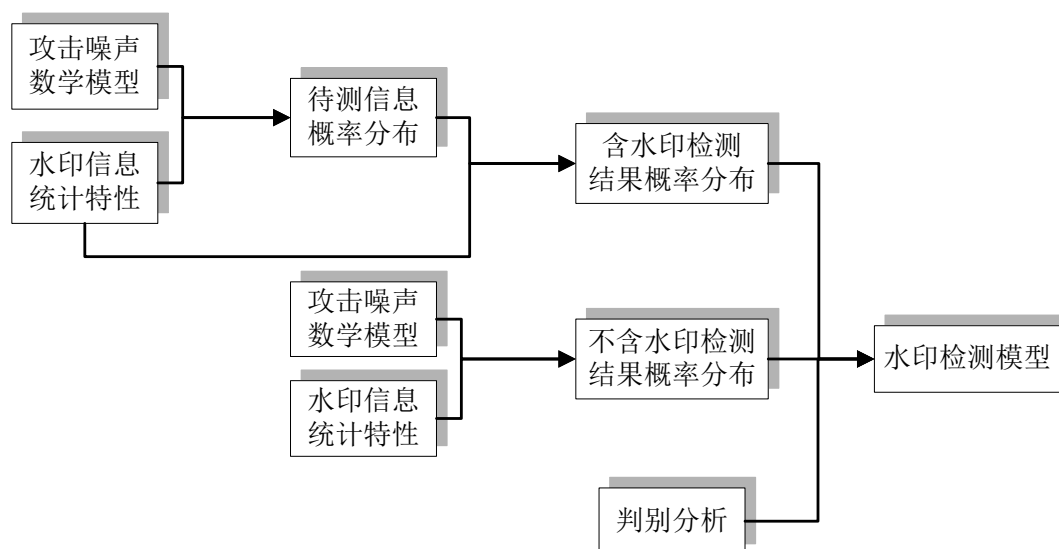


图 4 噪声已知的情况下水印检测模型建立

在噪声未知的情况下，其实现途径是：由于不含水印时水印提取结果相当于噪声，首先建立不含水印提取结果的噪声数学模型；然后，结合水印信息的统计特性，对提取结果的概率分布进行计算；进而，运用假设检验理论建立相应的水印检测模型。具体过程如图 5 所示。

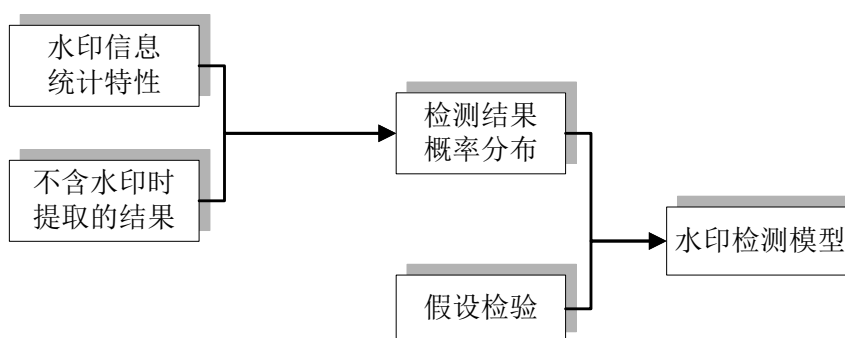


图 5 噪声未知的情况下水印检测模型建立

最后，利用所构建的基于统计决策的地质数据水印检测数学模型，建立水印检测器，确定检测阈值、虚警概率和漏检概率，进而对待测地质数据进行检测，判断其是否含有水印信息。检测阈值、虚警概率和漏检概率的确定是地质数据数字水印检测方法中的关键问题，其确定的途径是：首先，基于水印信息的统计特性，利用概率统计理论，分别在有、无水印的情况下建立检测结果的概率分布模型。然后，利用判别分析和假设检验确定水印检测阈值，计算虚警概率和漏检概率，并通过比

较检测值与检测阈值的大小判断水印信息有无。最后，基于相应的检测概率分布模型，运用判别分析的方法对检测结果的可靠性进行定量评价。

五、地质数据数字水印抗攻击性研究

地质数据数字水印抗攻击研究是评价、改进水印嵌入和检测方法的主要依据。一方面,地质数据数字水印抗攻击研究可以对所建立的水印嵌入方法进行定性评价,测试地质数据数字水印嵌入方法的性能,确定其可用性及适用范围。

另一方面,通过对地质数据数字水印抗攻击的研究,找出各种水印攻击模式下地质数据变化的特征,而后由此数据变化特征出发,寻找、改进地质数据数字水印嵌入方法、检测方法。地质数据数字水印抗攻击研究的内容如下图 6 所示。

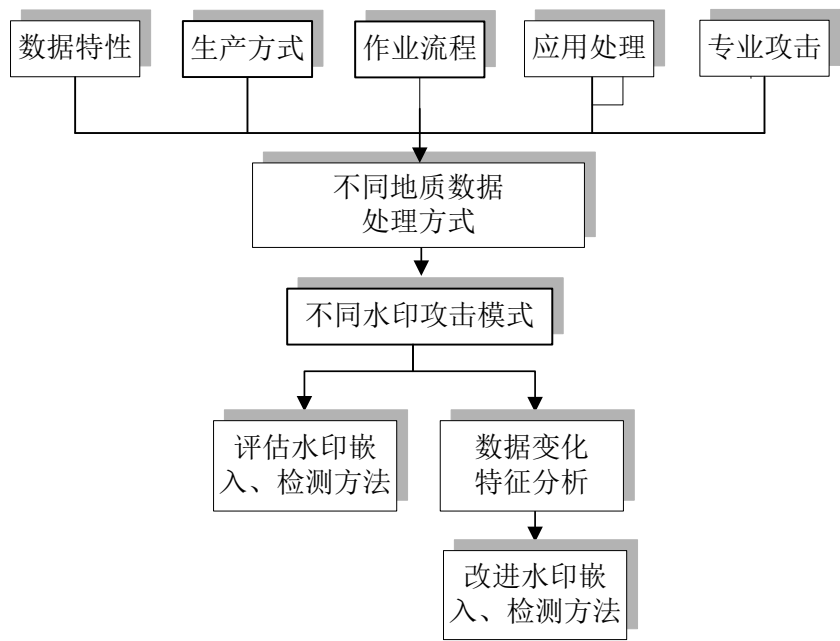


图 6 地质数据数字水印抗攻击性研究

从图 6 可以看出,先从不同地质数据的数据结构、生产方式、作业流程、应用处理等方面出发,结合地质数据的特征,分析不同地质数据生产、传输过程中主要数据处理方式,特别注重分析专业水印攻击手段对地质数据处理的影响,顾及不同地质数据的安全要求和精度需求,运用不确定性理论和数理统计,研究不同地质数据在生产流程和实际应用处理过程中数据变化的特性,探讨地质数据处理方式与水印攻击对数据影响的内在联系。在此基础上,对地质数据数字水印嵌入和检测方法进行大量的攻击试验和检测,深入剖析地质数据在不同水印攻击模式下的数据特征,归纳、总结地质数据水印攻击模式的共性,得到地质数据水印攻击模式的数据变化

特征和内在规律。并以此为切入点，结合所测试的地质数据数字水印嵌入和检测方法，通过试验、对比、分析和验证，不断改进、完善地质数据数字水印嵌入和检测方法，提高地质数据数字水印嵌入和检测方法的抗攻击能力。

六、水印地质数据精度评估方法

首先，从数字水印技术角度，剖析水印嵌入过程中关键技术环节，特别是水印信息的统计特性、水印嵌入强度及水印嵌入规则；然后，运用概率统计理论，研究水印嵌入对地质数据产生的误差分布规律，建立地质数据误差与水印嵌入强度、水印承载数据量之间的数学关系式，定量表达地质数据误差与水印嵌入之间的关系；进一步地，结合地质数据原有误差分布规律和具体精度要求，运用概率统计、不确定性理论、云模型等相关理论和方法，将水印嵌入所产生的误差与地质数据原有误差进行有机结合，研究水印嵌入所带来的累积误差对地质数据精度的影响，建立水印嵌入强度、水印承载数据量与地质数据原有误差分布规律、精度要求之间的数学关系式，从而建立水印地质数据精度评估方法，对水印地质数据精度进行定量评估。具体过程见图 7。

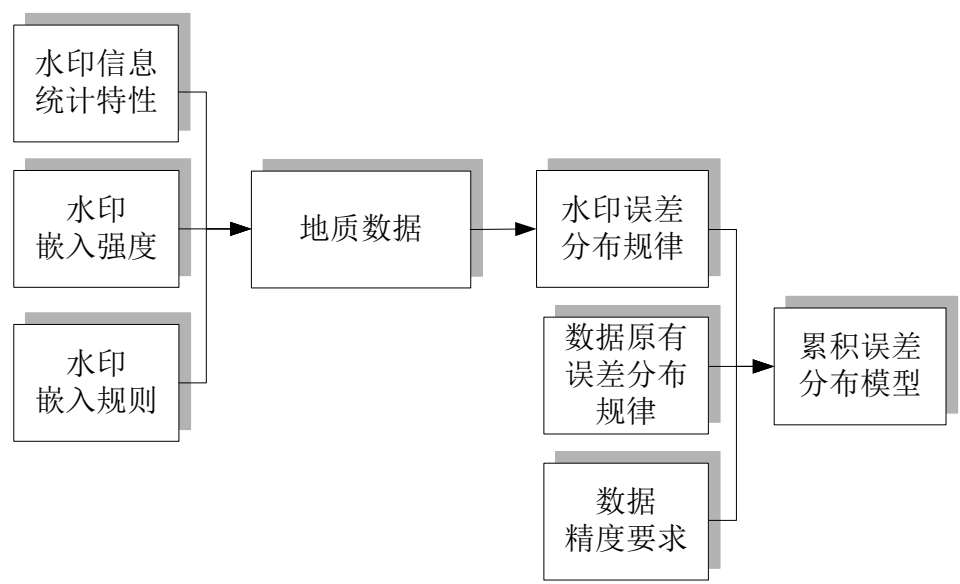


图 7 水印地质数据精度评估流程图

在嵌入水印后地质数据的可用性研究中：首先，根据不同地质数据特征，从实际应用需求出发，顾及水印嵌入位置、嵌入法则、嵌入强度等因素，研究水印嵌入对地质数据精度、几何形状、空间一致性（拓扑一致性、方位一致性）、视觉感受等方面的影响。然后，运用不确定理论和相关数学知识，对地质数据水印嵌入所产生

的误差分布规律进行系统的分析和归纳，研究水印嵌入对地质数据应用的影响，研究地质数据的可用性。具体流程见图 8 所示。

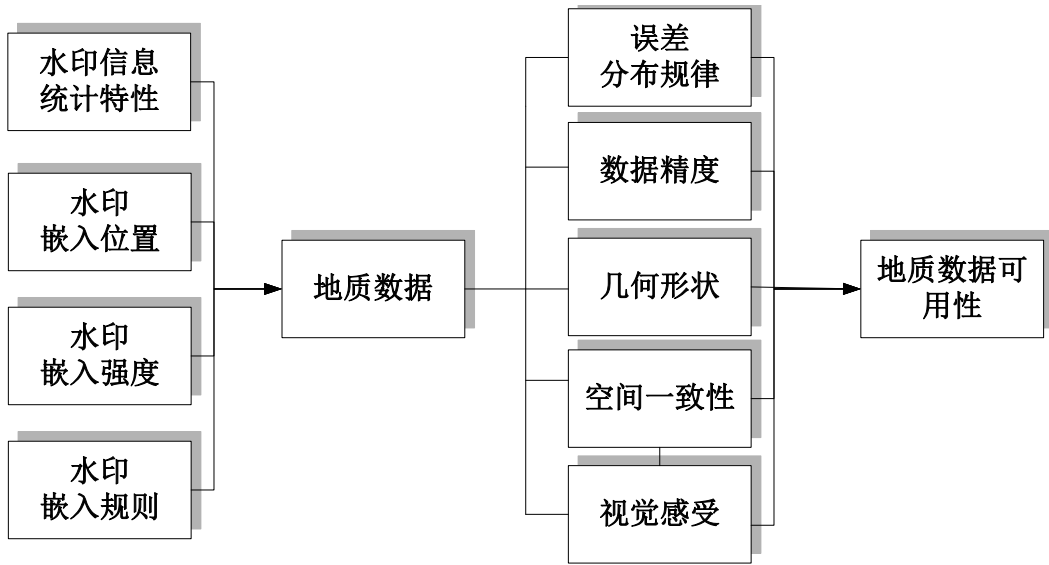


图 8 水印地质数据可用性研究流程图

七、地质数据数字水印系统设计

1) 系统整体设计策略

水印软件系统的整体设计策略如下：

(a) 集成性

将不同数据类型和数据格式进行了集成，不同水印模型进行集成，系统功能进行集成。

(b) 先进性与实用性相结合

根据应用需求，力求方案先进、灵活、高效。系统注重实用性。以用户需求为导向，功能全面，切合实际。

(c) 基于成熟、先进的理论和技术

基于最先进的地质数据水印理论和技术构建系统，在此基础上，有针对性的进行开发。

(d) 易于管理和操作

系统设计时，充分考虑主管部门的现状和习惯，使系统界面友好、易于理解、易于管理、易于操作。

(e) 开放性与可扩展性

采用开放的软件体系结构和面向对象的分析、设计技术，基于组件的开发技术，使系统具有良好的开放性与可扩展性。

(f) 可维护性

系统提供完善的技术手册，方便系统维护。

2) 系统总体结构图

系统遵循面向对象的原则，采取模块化的方法来进行设计，对各底层模块要求具有可移植性和易维护性，具有直观的操作界面、高效的计算分析功能和简洁的交互界面。

系统主要分为五大子系统：中央一级（国家地质档案馆）嵌入检测系统、中央一级检测系统、中央一级超级检测系统、二级嵌入检测系统和二级检测系统。

系统的总体结构图如图 9 所示。

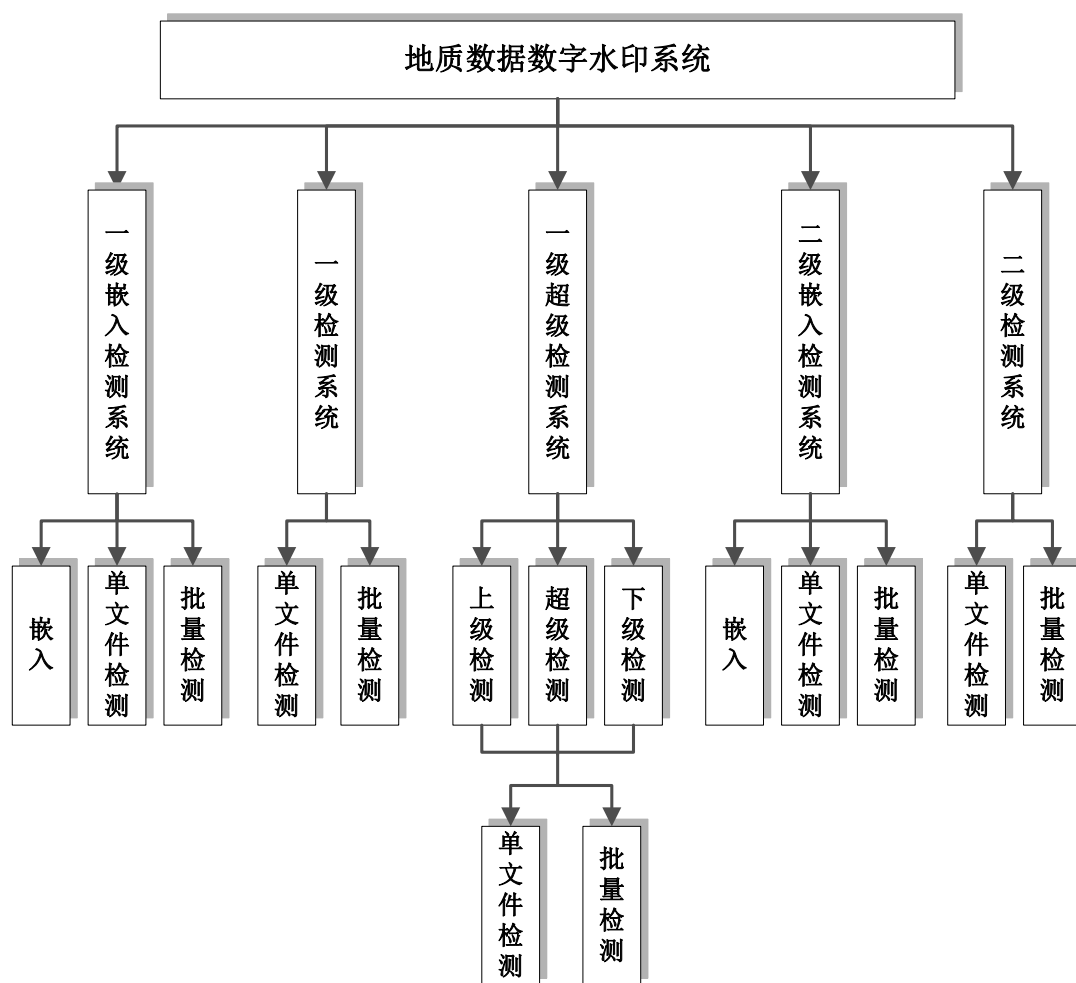


图 9 系统结构图

(a) 一级嵌入检测系统

主要用于中央部门的一级水印嵌入和检测功能。

(b) 一级检测系统

主要用于中央部门的一级水印检测。

(c) 一级超级检测系统

该系统可以利用不同的种子库检测一级及二级发放数据中的水印信息，可以不利用种子库直接对数据进行水印检测，从而可以较快的缩短数据所在二级部门范围，为进一步利用不同二级的水印系统检测水印信息提供了方便。

(d) 二级嵌入检测系统

主要用于不同二级部门的二级水印嵌入和检测功能。

(e) 二级检测系统

主要用于不同二级部门的二级水印检测功能。

3) 系统功能结构图

地质数据通过一级嵌入检测系统嵌入一级水印信息后，分发到个二级单位，二级单位通过水印嵌入检测系统嵌入二级水印信息后，将数据分发到各部门。此时，一级系统可以检测到分发到二级单位的一级水印信息和二级单位分发到各部门的一级水印信息，二级系统可以检测到分发到各部门的二级水印信息，二者不相冲突。一级超级检测系统具有一级检测系统和二级检测系统的所有功能，而且无需种子库进行超级检测，可以确定数据所属的部门范围，从而为缩短数据搜查范围提供方便。系统的功能结构图如 10 所示。

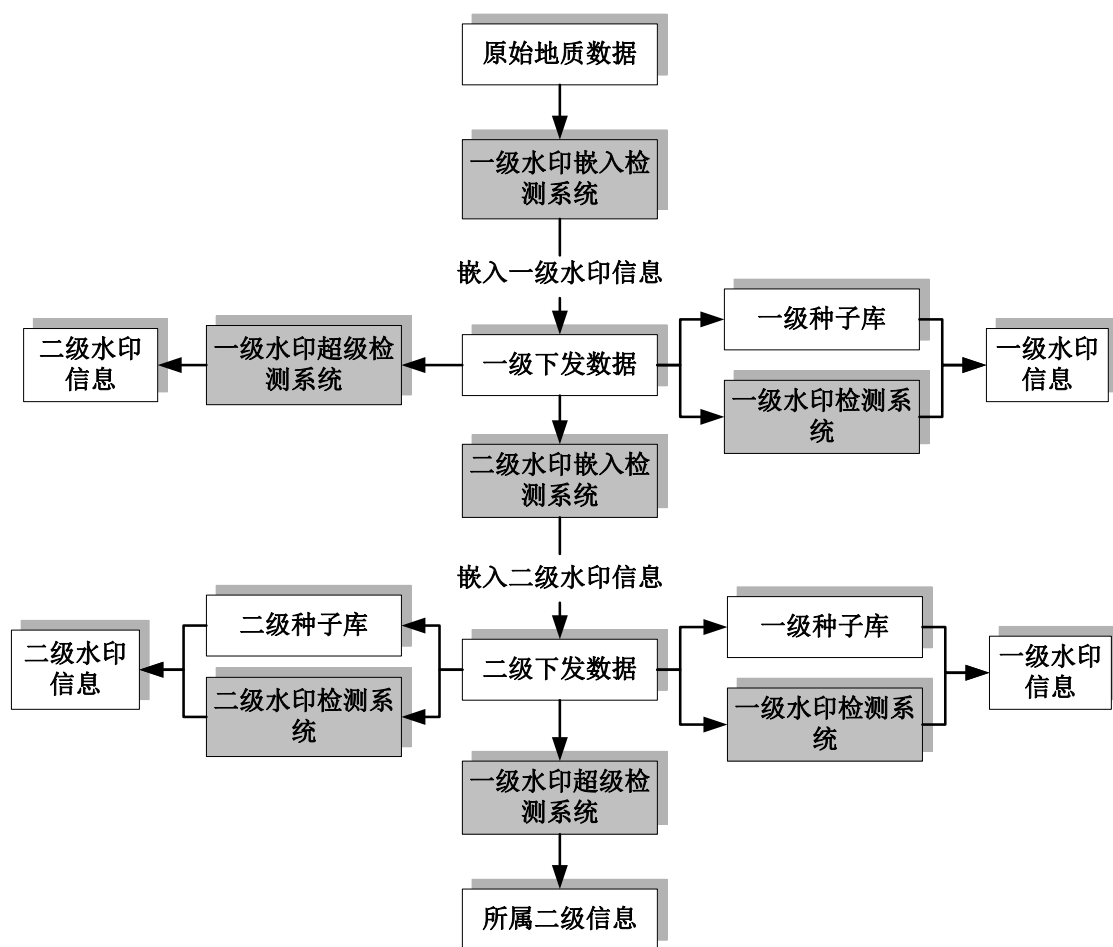


图 10 系统的功能结构图

4) 水印嵌入流程图

以地质行业常用的 MapGIS 平台支持的数据类型 WP、WT、WL 数据为例，介绍数据的水印嵌入流程，其基本方法是：首先对数据进行分块，并进行 DCT 变换；然后，采用量化的方法在每一块的 DCT 低频系数中嵌入水印信息；最后，通过精度约束，对嵌入水印信息后的数据进行误差控制。由于采用了量化的方法嵌入水印信息，其提取过程不需要原始影像的参与，实现了盲检测（水印检测为嵌入的逆过程）。

算法实现水印嵌入的具体流程如图 11 所示：

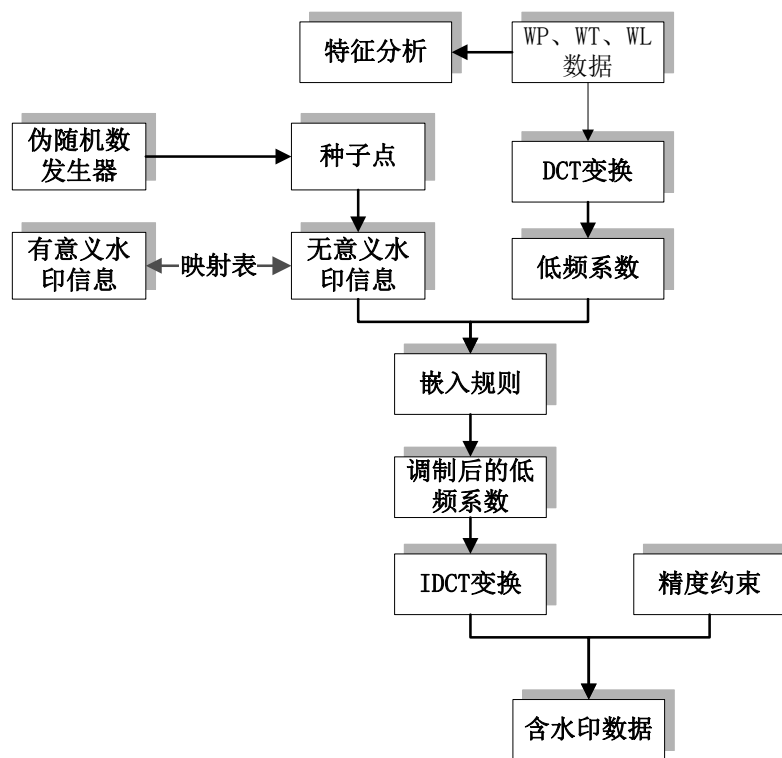


图 11 水印嵌入流程图

第四章 基于数字水印技术的地质数据成果知识产权管理模型

第一节 数字水印信息生成模型和算法

水印的形式和内容是多样的，可以是作者的个人信息，可以是公司图标等图像信息，可以由位随机信号发生器生成的伪随机序列，也可以是混沌序列。无论是什么形式与内容的水印，都要保证水印的唯一性、有效性、和遥感影像数据相关特性等基本属性。水印信息可以分成有意义水印信息和无意义水印信息。

（1）有意义水印信息生成模型

为了增强水印的鲁棒性，原始的有意义水印信息具有一定的相关性，可以使用随机序列排序的方法对原始的水印进行重排序，去掉数据的相关性，使得在删除等图像处理操作中能够比较好的恢复水印图像。对水印信息进行预处理，基本过程为：

1) 读取水印信息。

2) 采用随机数生成器生成 $K \times L$ 长度的序列 R ，使得 R 中的每个元素与 W_0 中的每个元素一一对应。

3) 将 R 中的元素按照升序排列，则 W_0 中的元素进行相应调整，并且 W_0 中的 0 变成 -1，得到 W' 。

4) 采用 Logistic 映射混沌序列系统对水印信息进行加密。

5) 将水印序列 W' 与二值混沌序列 C 进行调制，得到最终的水印信息。

f) 水印信息扩频处理。读取原始影像的大小将加密后的水印信息按照遥感影像的大小进行扩频处理，得到新的水印信息。

（2）无意义水印信息生成

无意义水印对应一段伪随机序列，所采用的无意义水印信息为具有均匀分布的 -1、1 二值序列。无意义水印信息具有长度固定、统计特性良好、自相关性强、能够与有意义水印信息建立关联和便于实现盲检测等特点。

在传统的水印信息生成过程中，版权信息的长度决定了水印信息的长度，版权信息越长水印信息也越长，由于水印容量问题，这常常导致由于版权信息过长而造成水印信息无法嵌入的问题。

基于数据水印容量研制以及水印检测的考虑,对水印信息生成算法进行了改进,把有意义的版权信息映射到无意义的水印信息上,实现了水印信息长度和版权信息长度的无关,如图 5 所示。

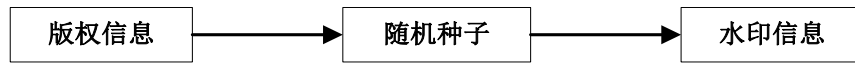


图 12 水印信息生成

无意义水印信息的生成过程为：

- 1) 采用伪随机数发生器生成一个具有唯一标识的水印种子数 $WMSeed$ ；
- 2) 采用线性同余随机序列发生器，将生成的水印种子 $WMSeed$ 作为密钥 Key 生成一个伪随机二值序列 $w = G(Key) = \{-1,1\}$ ，即无意义水印信息；
- 3) 建立有意义水印信息 W 和水印种子 $WMSeed$ 的参照表。

在传统的水印信息生成过程中，版权信息的长度决定了水印信息的长度，版权信息越长水印信息也越长，由于水印容量问题，这常常导致由于版权信息过长而造成水印信息无法嵌入的问题，特别是在数据量较小的情况下，过长的版权信息根本不能嵌入到数据中。

本研究基于数据水印容量以及水印检测的考虑，提出了基于映射机制的水印信息生成算法，把有意义的版权信息映射到无意义的水印信息上，实现了水印信息长度和版权信息长度的无关，如图 2 所示。



图 13 水印信息生成模型

水印检测过程为：通过算法提取出水印信息，通过相关检测找到相应的随机种子，然后通过种子找到对应的版权信息。

基于映射机制的水印信息生成算法，解决了水印容量的确定性和版权信息长度变化的矛盾，同时定长的水印信息便于水印检测算法的实现。另外，不同用户由于没有种子点，不能互相提取水印信息，能增加系统的安全性。基于映射机制的水印信息生成算法为水印系统的实用性奠定了坚实的基础。

第二节 矢量地质数据数字水印模型和算法

矢量地质数据与矢量地理数据有很多相通之处，因此研究中借助矢量地理数据水印算法的研究成果（通过对矢量地理数据水印算法的研究），结合矢量地质数据的自身特征，设计矢量地质数据水印算法。矢量地理数据水印算法已有许多研究，抵抗几何变换是矢量数据水印算法研究中最重要考虑因素之一。

常函数即是在数据几何变换攻击过程中某些函数的值是不会发生变化的函数。常函数的值对于某些几何变换攻击来说是一个不变量。因此，可以通过修改常函数对应的不变量的值进行水印嵌入，实现抗几何攻击的水印算法。

（1）常函数与数字水印

定义：对于定义域内的任意变量 $x_1, x_2, \dots, x_n$ ，如果函数 $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 对于变换函数 $t(x)$ 具有 $f(t(x_1), t(x_2), \dots, t(x_n)) = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ，则称 $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 对于变换函数 $t(x)$ 具有不可变性， $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 为函数 $t(x)$ 下的常函数。

从常函数的定义以及抗平移常函数的推证过程可以看出，在某些几何变换下存在一些常函数，这些常函数对应的值不会随着几何变换而发生变化，具有较好的稳定性。考虑到算法需要抵抗一定的几何攻击，可以寻找一种几何变换下的常函数，通过修改常函数对应的不变量来嵌入水印信息，使得数据在遭受到几何变换攻击后依然能有效的被提取和检测到水印信息。

（2）矢量地理数据平移、旋转和放缩变换下的常函数

平移、放缩、旋转是常见的数据几何变换攻击，对二维坐标 (x, y) 进行旋转、放缩、平移攻击，设攻击后的坐标为 (X, Y) ，则攻击可以表示为下式所示。

$$\begin{cases} X = (x * \cos \theta - y * \sin \theta)k + T_x \\ Y = (x * \sin \theta + y * \cos \theta)k + T_y \end{cases}$$

其中， θ 表示旋转的角度， k 表示放缩的比例 ($k > 0$)， T_x 表示 x 坐标方向上的平移量， T_y 表示 y 坐标方向上的平移量。

考虑到在数据进行平移、放缩和旋转的过程中，虽然坐标会发生变化，但是两点间距离的比值不会发生改变，现构造一函数

$$f(x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3) = \frac{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}{(x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2},$$

可以证明，该函数对于平移、旋转、放缩几何变换攻击为常函数，即函数 $\frac{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}{(x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2}$ 对应的值对旋转、放缩、平移攻击具有不变性。

经推证，函数 $\frac{(x_1 - x_2) * (x_3 - x_2) + (y_1 - y_2) * (y_3 - y_2)}{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} * \sqrt{(x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2}}$ 是平移、旋转、放缩下的常函数。该函数的抗平移、旋转和放缩变换的几何意义就是在平移、旋转和放缩过程中三点之间构成的夹角保持不变。

(3) 基于常函数的矢量地质数据水印算法

基于构造的常函数的特点，本节利用常函数来建立一种抗几何变换攻击的矢量地质数据水印算法，基本思想是通过修改几何变换攻击函数下常函数的值来嵌入水印信息。

水印算法中的水印信息生成算法采用无意义水印生成算法，不再详述，本节将着重考虑水印嵌入、提取/检测算法。

1) 水印嵌入

为了实现盲水印且使得算法具有一定的抗数据增减攻击能力，选择基于映射的水印嵌入模型来进行水印信息的嵌入。

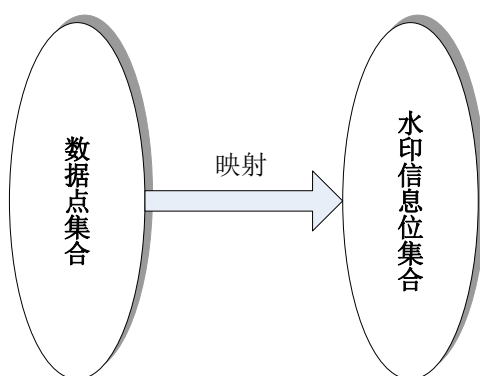


图 14 数据点集合到水印位集合的映射

图 14 所表达的是最简单的数据点集合到水印位集合的映射关系，这是最简单的映射方式。实际中，这种方法还不能满足应用的需求。这里提出一种新的映射策略：首先，对载体数据进行预处理，得到一个水印嵌入数据单元；然后，建立一个从水印嵌入单元到水印信息位的的多对一的映射关系；最后，按照一定的嵌入法则把水印信息嵌入到与其对应的水印嵌入数据单元中。

映射过程如图 15 所示。

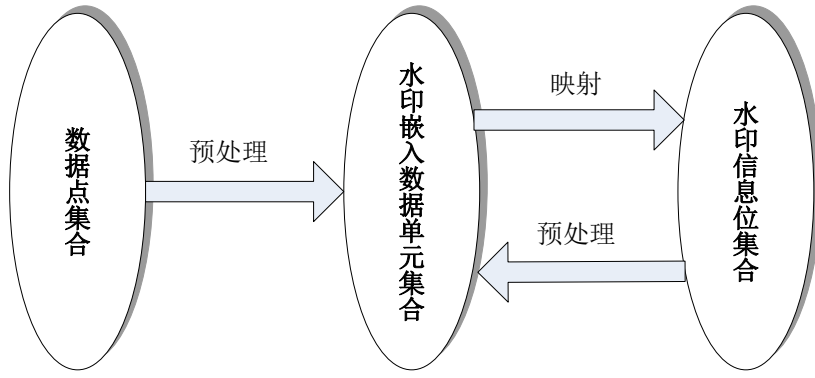


图 15 改进后的映射机制

具体嵌入过程为：

设进行数据预处理后的数据载体为 $D = \{d[i], 0 \leq i < N\}$ ，其长度为 N ，其中 $d[i]$ 为水印嵌入数据单元；水印为 $W = \{w[i], 0 \leq i < M\}$ ，其长度为 M ，水印嵌入可以表示为下式所示。

$$D \oplus W = \{d[i] \oplus (f_2(\text{attribute}(d[i])) * w[f_1(\text{attribute}(d[i]))])\}$$

其中， $0 \leq f_1(\text{attribute}(d[i])) < M$ ， $f_1(\text{attribute}(d[i]))$ 表示水印嵌入数据单元 $d[i]$ 处嵌入的水印位的索引， $f_2(\text{attribute}(d[i]))$ 表示 $d[i]$ 处水印信息嵌入的强度。

因此，水印嵌入框架式 (1) 表示的含义是：载体数据 $d[i]$ 以 $\oplus$ 的方式嵌入了强度为 $f_2(\text{attribute}(d[i]))$ 索引为 $f_1(\text{attribute}(d[i]))$ 水印信息。不仅表示了水印嵌入方式和水印嵌入强度，还表示了水印信息在数据中的嵌入位置，同时还表明，在水印嵌入强度的以及水印嵌入位置的选择过程中要充分考虑数据本身的特性。

目前，对于嵌入方式以及嵌入强度的研究相对较多，但对水印嵌入位置的研究还较少，即对于映射关系的研究相对较少。映射关系 $f_1(\cdot)$ 的确定是其中的核心部分。

$f_1(\cdot)$ 的确定需要满足以下两个基本原则：

- (1) $0 \leq f_1(\text{attribute}(d[i])) < M$ ；
- (2) 应该保证 $\{0, 1, \dots, M-1\}$ 上的每一个水印索引值都有相应的 $d[i]$ 与之对应。

$\text{attribute}(d[i])$ 指的是 $d[i]$ 的属性，这里的属性含义非常广泛，不是地理数据中相对于几何信息的“属性信息”，这里的属性可以包括坐标值、高程值或像素值等， $\text{attribute}(d[i])$ 可以理解为与 $d[i]$ 相关的一切值，包括坐标值、文件中的位置、索引值等。

在地理数据水印嵌入模型中水印嵌入强度与数据精度是一对矛盾。如果嵌入强度加大，则对数据精度影响也会变大，反之亦然。而地理数据对精度的要求是有严格标准的，所以在水印嵌入模型中，嵌入强度 $f_2(attribute(d[i]))$ 的确定亦是非常重要的部分。 $f_2(attribute(d[i]))$ 的确定需要满足以下两个基本原则：

(1) 应该保证水印信息在嵌入地理数据后，数据变化的误差在允许和可控范围内，以满足地理数据对精度的要求。根据各类数据类型对数据精度的要求，严格控制水印信息嵌入强度 $f_2(attribute(d[i]))$ ，使其在水印鲁棒性和数据精度要求方面得到较好的统一。

(2) 采用嵌入强度自适应调整策略。对不同地理数据点采用不同嵌入强度，对一般地理数据顾及其误差允许范围考虑水印嵌入强度，使得含水印数据满足其精度要求。而对精度要求较高的特征数据，可以考虑低强度或零强度嵌入水印信息，通过在嵌入过程中根据不同数据点特征，加入不同嵌入强度约束条件，从而到达地理数据精度控制的目的。

这样，把水印嵌入强度和地理数据精度这对矛盾统一起来考虑，在满足地理数据对精度要求的同时，选择最佳水印嵌入强度因子 $f_2(attribute(d[i]))$ 。

2) 水印提取和检测

在水印嵌入过程中，采用了一对多的映射的思想，水印信息位 $w[i]$ 可能被重复嵌入到了数据的多个地方，所以在提取的过程中可能提取到多个“ $w[i]$ ”。

水印信息的提取其实是水印嵌入的逆过程，水印提取方法如下式所示。

设待水印提取的数据载体为 $D' = \{d'[i], 0 \leq i < N\}$ ，其中 $d'[i]$ 表示水印嵌入数据基本单元，其长度为 N ；提取到的水印信息为 $W' = \{w'[i], 0 \leq i < M\}$ ，其长度为 M 。则对于待测数据载体中的任意水印嵌入数据基本单元 $d'[i]$ ，水印提取可以表示为：

$$w'[f_1(attribute(d'[i]))] = Dete(d'[i])$$

上式表示水印嵌入基本数据单元与水印位索引间的映射关系，对于 $f_1(\cdot)$ 的选择水印提取时要与水印嵌入时保持一致。

在水印嵌入过程中采用了多对一的映射函数，即多个水印嵌入基本数据单元嵌入了同一个水印信息位，因此，在水印提取过程中，对于同一个索引 i ，可能会提

取到多个水印信息位 $w'[i]$ 。现设提取到 m 个 $w'[i]$ ，记做 $w'_k[i]$ ， $w'_k[i] \in \{1, -1\}$ ，

$b = \sum_{k=0}^{m-1} w'_k[i]$ ，则水印信息 $w'[i]$ 的值可以根据下得到。

$$\begin{cases} w'[i] = 1 & \text{if } b \geq 0 \\ w'[i] = -1 & \text{if } b < 0 \end{cases}$$

当然，还有一种情况，就是对于某一索引 i 可能提取不到任何的水印信息位，即在待测数据中没有水印嵌入基本数据单元映射到该索引上，造成该索引上的数据提取不到任何水印信息。在这种情况下，可以随机的令 $w'[i]$ 等于 1 或者 -1，表示该索引对应的水印信息受到了删除攻击。

在提取出水印信息后，由于是无意义水印信息，需要与原始的水印信息进行相关检测，根据相关系数的大小判断待测数据中是否含有水印信息。当检测到待测数据含有水印信息时，基于水印种子和版权信息的水印信息映射表，提取出有意义的版权信息。

第三节 栅格地质数据数字水印模型和算法

栅格地质数据包括遥感影像数据、航空像片、数字高程模型数据、扫描文档等，它们的共同点是都是以点阵方式存贮的。

在影像水印的嵌入算法中，若按照影像中灰度值或变换域系数在影像文件中的相对位置依次嵌入水印信息，则当含水印影像遭受裁剪、平移或旋转等操作后，影像的大小和相对位置发生了改变，这将直接破坏水印信息的同步性，从而就不能提取出水印信息，水印算法的鲁棒性大为降低。然而，像素值在裁剪或平移操作后，其像素值的坐标位置发生改变，然而像素值并未发生改变；在旋转、扭曲等操作后，其像素值的坐标位置发生改变，但像素值的变化较小。几何变换后的像素值的不变或微变这一特性为水印算法实现盲检测提供了可能。基于以上考虑，为了解决水印信息不同步的问题，提出了一种映射机制用于影像水印信息的嵌入与提取。

映射函数是根据影像数据 I 定位水印序列 W 的函数，即 $f(I) = W$ 。基于映射函数的水印算法的基本思想是：建立影像数据与水印序列的多对一映射关系，通过建立的映射关系来确定水印的嵌入位置。映射函数特有的多对一性质，使得该算法能够抵抗实际攻击中的裁剪、旋转、缩放等几何攻击。

设生成的水印序列为 W ，水印长度为 N 。采用映射机制建立的函数是将影像数据 I 映射至水印序列 W ，则平均每 d ($d = 256/N$) 个像元值映射至一位水印位，从而建立了影像数据 I 与水印序列 W 的映射关系。

映射至某一水印位的像元个数称为映射水印容差（记为 L ），水印容差越大，算法的鲁棒性越好。实验表明，为了获得更好的鲁棒性， L 至少应该取 3。

在进行数据分发过程中的遥感影像主要有 8bit 灰度影像和三通道的真彩色影像。真彩色影像具有多通道特性，每一个像素的颜色由存储在相应位置的红、绿、蓝颜色分量共同决定。

NTSC 彩色制式在美国用于电视系统。这种形式的一个主要优势是灰度信息和彩色信息是分离的，所以同一个信号既可以用于彩色电视机，也可以用于黑白电视机。在 NTSC 制式中，图像数据是由三部分组成的：亮度（Y）、色调（I）和饱和度（Q）。亮度分量描述灰度信息，其他两个分量携带的是彩色信息。YIQ 三个分量可以利用 RGB 三个分量转换得到，公式如下：

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.274 & -0.322 \\ 0.211 & -0.523 & 0.312 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

根据上述公式可以看出，灰度信息用等式表示为：

$$Y = 0.299 \times R + 0.587 \times G + 0.114 \times B$$

通过以上公式可以看出，蓝色通道的改变对影像亮度的影响最小，因此，基于 HVS 的考虑将水印信息嵌入到人类视觉的不敏感区域中，而将红色和绿色通道作为映射参数与水印信息建立映射函数，这样建立了映射函数 $f(R, G) = W$ ，其中， R 和 G 分别代表真彩色的红色和绿色通道的像素值，这样影像数据 I 像元取值范围为 $[0, 255] \times [0, 255]$ 。

映射函数的建立是实现强鲁棒性盲检测的关键。设水印长度为 N ，按照影像的灰度值及其窗口均值参数形成的载体数据均匀映射到 $[0, N-1]$ 上。令映射函数为 $f(x, y)$ ，水印信息为 $w = \{w(i)\}, (0 \leq i \leq N-1)$ ，则映射函数满足 $0 \leq f(x, y) \leq N-1$ 。为提高算法的鲁棒性，建立映射函数的应尽量满足：

- (1) $f(x, y)$ 能尽量均匀的映射到 $[0, N-1]$ 上；
- (2) x 和 y 尽量去相关；

在嵌入过程中，同一个水印位将可能被嵌入到多个像元中。表明，每 d 个点记录一个 i 的值。基于算法鲁棒性的考虑，水印容差应该至少设置为 3。水印容差越大，算法的鲁棒性越高。假设水印长度为 400，则水印容差为 163，如此高的水印容差足以提高算法的鲁棒性，这使得算法的具有抗裁剪(裁减)、旋转、平移、拉伸等的能

(1) 基于映射机制的遥感影像水印嵌入算法

基于建立的映射函数确定水印的嵌入位置，该算法的具体嵌入流程图如下：

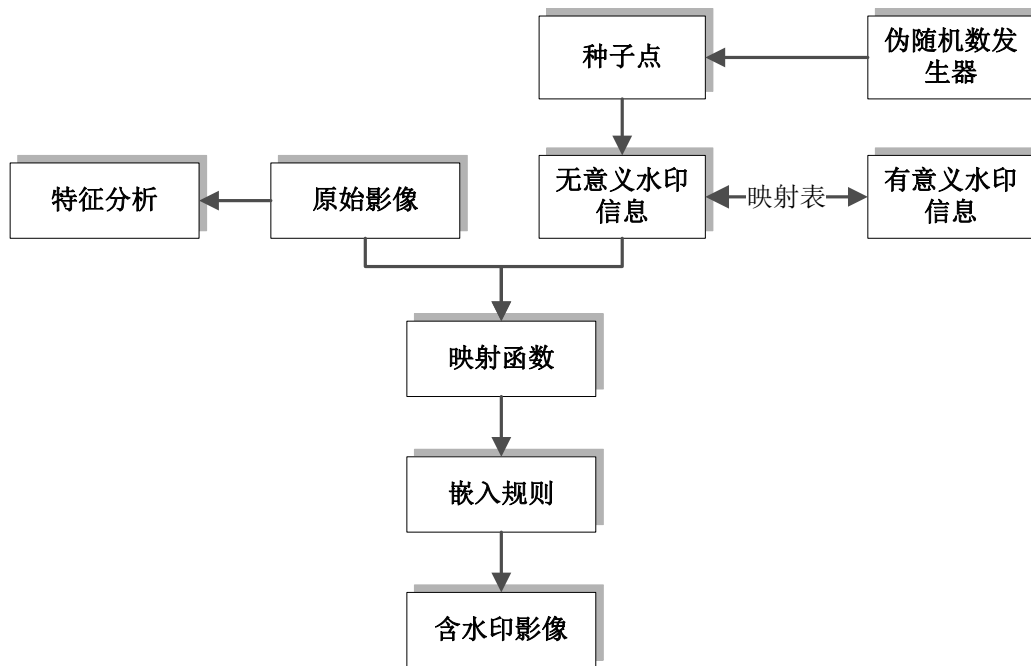


图 16 水印嵌入流程图

在确定了水印信息嵌入位置后，此时再进行水印信息的嵌入操作。考虑到算法的抗攻击能力，本节采用了基于位平面的水印嵌入方法。水印嵌入规则为：

$$I_m = \begin{cases} 1, & W_i = 1 \\ 0, & W_i = -1 \end{cases}$$

其中， I_m 表示像素值的第 m 位平面的值， $I_m = \{0, 1\}$ ， $m = 0, 1, 2, \dots, 7$ 。

(2) 基于映射机制的遥感影像水印检测算法

水印的检测过程实际是水印嵌入的逆过程。通过建立的映射函数计算出水印位，即 $[0, N-1]$ 中的确定位置，然后，利用水印检测规则提取出水印信息。具体的水印检测流程如下图所示。

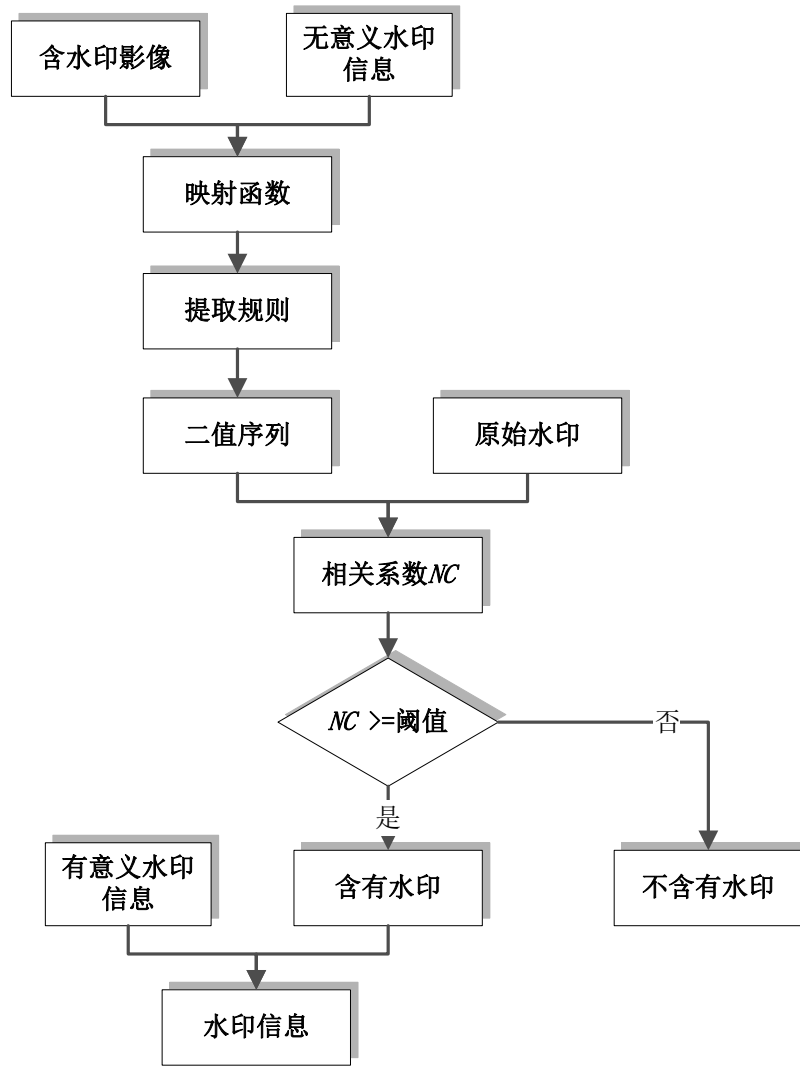


图 17 水印检测流程图

水印信息的检测规则为：

$$w = \begin{cases} 1, & I_m = 1 \\ -1, & I_m = 0 \end{cases}$$

其中， w 为提取的水印信息。每一位的水印信息可能会被检测出多次，因此，采用多数原则来确定水印信息。即根据这些水印信息值为-1 和 1 的多数来决定提取出的水印 W'_i ，若这些值一半以上为 1，则 W'_i 取值为 1；否则， W'_i 取值为-1。

提取出无意义水印信息 W' 后，需要进行相关检测，为客观评价原始水印与提取水印的相似性，本节采用计算二者的相关系数 NC 进行判断是否含有水印信息。

如果水印的相关系数 NC 大于预先设定的阈值，则表明含有水印信息，基于水印信息的参照表，提取出有意义水印信息。

第四节 数字栅格地图可见水印嵌入模型

一、可见水印特征分析

数字栅格地图可以看作一类图像，但数字栅格地图这一人工制图产物又有其自身特性。数字栅格地图和一般自然图像相比，其色彩具有较高的亮度和较小的饱和度，栅格地图有固定的着色机制，且限于几种特定的颜色，同时地图中空域像素值变化比较大，所以在数字栅格地图中嵌入同等强度的可见水印信息，会导致数字栅格地图细节信息的严重失真，且通过分析图像像素便很容易检测并去除，不能到达版权的目的。可见水印在数字栅格地图中的嵌入既要保证水印的鲁棒性和原地图的质量，同时又要考虑到可见水印的可见性，嵌入到数字栅格地图中的可见水印应具有以下重要特性：1、无论在彩色或灰度栅格地图上，可见水印均应覆盖大部分区域，且以半透明形式呈现在所覆盖区域，不能破坏地图细节；2、水印嵌入应该省时省力，不需要太多人工干预，且嵌入水印鲁棒性要强。这就要求嵌入到原地图的水印信息强度即不能太小又不能太大，且可见水印嵌入时不是一个固定的强度，应根据具体的数据特性来确定嵌入规则，所以有必要根据数字栅格地图的数据特性来设计合适的可见水印嵌入算法。

小波分析是近年来信号处理领域的新工具，由于它克服了傅里叶变换固定分辨率的弱点，具有可变的时间和频率分辨率，既可分析信号概貌，又可分析信号的细节。因此在信号处理、图像处理、语音分析等领域得到了广泛的应用。小波变换已应用于新一代图像压缩标准 JPEG2000，且图像经小波变换后具有金字塔式层次结构，可根据不同层次的数据特性进行可见水印信息的嵌入，这些为算法的鲁棒性提供了基石；同时小波变换的多尺度分析特点充分考虑了人类视觉特性，这样为可见水印嵌入后的视觉保持提供了保障。因此下文以小波变换为数学工具，在充分考虑数字栅格地图数据特性基础上，对可见水印嵌入位置、嵌入方式、嵌入强度进行了分析和研究。

二、可见水印嵌入位置的选择

一般来说，可见水印会比原地图要小，因此有必要在水印嵌入前对水印信息做预处理以保证其能覆盖地图的大部分区域，同时可见水印在原地图的嵌入位置也应仔细选择，使可见水印信息即能分布在地图重要视觉区域，又能保证不降低原地图

的质量和可见水印细节部分的可见性。在数字栅格地图中，其背景区域要比地图要素区域明显多，背景区域像素灰度值偏高，而地图要素区域像素值偏低，同时相邻像素间像素值变化较大。为此，可以从数字栅格地图的数据特征出发，结合人类视觉系统特性，对嵌入位置进行分析与确定。

首先，假设原地图大小是 $M \times N$ ，可见水印 W 大小是 $m \times n$ ，一般来说，可见水印大小不会超过原栅格地图，即满足 $m \leq M, n \leq N$ 。对可见水印做扩展以保证其能覆盖原地图的大部分区域，扩展幅度为 $\min\{M/m, N/n\}$ ，扩展后可见水印为 W' ，大小为 $m' \times n'$ 。然后，以 $m' \times n'$ 为滑块尺寸，以 h 为滑差，按照一定顺序对整个数字地图进行遍历，目的是为找出数字栅格地图视觉重要区域。设遍历开始时滑块所覆盖的区域为 $Reg(1,1)$ ，则依次设滑块在遍历途中所覆盖的区域为 $Reg(i, j)$ ，其中 $i=1, 2, \dots, [(M-m')/h], j=1, 2, \dots, [(N-n')/h]$ ， $[]$ 表示对数取整。分别利用下式求出这些地图块的重要性等级指数 I 。

$$I_{(i,j)} = \sum_{x=i}^{i+m'} \sum_{y=j}^{j+n'} W(x,y) \cdot F(x,y)$$

其中 $I(i, j)$ 表示遍历中第 $Reg(i, j)$ 地图块的重要性等级指标， $F(x, y)$ 表示原地图中 (x, y) 处的地物特征值，主要由 (x, y) 处亮度值决定， $W(x, y)$ 表示原地图中 (x, y) 处的权重，由 (x, y) 处离地图中心距离、与附近点相关性、是否为地物边缘等因素决定。这样对数字栅格地图进行遍历后，计算出一组地图块的重要性等级指数，在所有的 $I_{(i,j)}$ 中找到最大值，此最大值所对应的区域就是所寻找的可见水印最佳嵌入位置。

三、基于小波变换的数字栅格地图可见水印算法

可见水印的嵌入必须对原地图和水印图像同时进行数据拉伸，这是因为可见水印的嵌入不仅会影响到原地图的整体亮度，而且会影响到其细节特征。常见的水印一般性嵌入准则有线性加法、乘法和量化索引调制。考虑到数字栅格地图可见水印的特性，算法采用线性加法嵌入准则，公式可描述为：

$$C'_{ij}(n) = \alpha(i, j) \cdot C_{i,j}(n) + \beta(i, j) \cdot W_{i,j}(n)$$

式中 $\alpha(i, j)$ 和 $\beta(i, j)$ 分别是原地图的尺度因子和可见水印的嵌入因子， $C_{i,j}(n)$ 和 $W_{i,j}(n)$ 分别表示原地图和可见水印经小波变换后的低(高)频系数， $C'_{ij}(n)$ 表示可

见水印嵌入后地图的小波低(高)频系数, $\alpha(i, j)$ 和 $\beta(i, j)$ 由数字栅格地图数据特征和小波系数来确定, 且低频子带和高频子带的拉伸系数确定规则不一样。

(1) 低频子带的拉伸系数

数字栅格地图小波分解的低频子带是对地图的近似表示, 集中了地图的主要信息。人类视觉系统的掩蔽特性主要体现在三方面: 亮度特性, 频率特性和纹理特性。低频子带纹理较少, 在视觉掩蔽特性中所起的作用可以忽略不计, 因此在低频子带中, 其拉伸系数主要由亮度信息确定。人类视觉对不同亮度具有不同的敏感性, 一般来说, 对中等亮度最为敏感, 向低亮度和高亮度两个方向具有非线性下降的特性, 由此本文采用下式来定义低频子带拉伸系数:

$$\alpha(i, j) = w_{ij} \cdot \left(\frac{D_{ij} - D_{ave}}{D_{max}} \right)^2$$

$$\beta(i, j) = 1 - \alpha(i, j)$$

式中 D_{max} 表示低频子带的系数最大值, D_{ave} 表示低频子带的系数平均值, D_{ij} 表示低频子带的系数, w_{ij} 表示量化权重因子, 其作用是即能尽量保持原地图视觉真实度, 同时使水印具有良好的可见性。考虑到地图中空域像素值变化比较大, 地物边缘信息比较多, 而地物边缘区域是地图中最重要的视觉信息和地理信息, 人眼对地物边缘的改变很敏感, 为了保持地图的完整, 就必须保持地物边缘的完整。所以在确定尺度因子 $\alpha(i, j)$ 和嵌入因子 $\beta(i, j)$ 的时候, 地物边缘区域应特殊考虑, 使得地物边缘区域改变最小, 因此只能将可见水印信息

低强度嵌入到原地图的边缘块中, 也就是说在地图非边缘块中可以用上式定义尺度因子和嵌

入因子, 而在地图边缘块中则需做相应调整, 此处的尺度因子 $\alpha(i, j)$ 可适当加大, 而嵌入因子 $\beta(i, j)$ 应适当减小。而在地图背景区域, 不包含有意义地图信息, 人眼对其亦不敏感, 因此可以适当降低尺度因子 $\alpha(i, j)$, 提高嵌入因子 $\beta(i, j)$, 在保证可见水印视觉一致性的基础上, 突出可见水印信息。这样, 通过调整尺度因子和嵌入因子, 既能较好的保持原地图视觉质量, 同时也使水印具有好的可见性。

(2) 高频子带的拉伸系数

数字栅格地图小波分解的高频子带反映了地图的细节特征。地图经小波变换后的细节分量近似服从 *Laplace* 分布, 其大部分系数接近 0, 只有小部分对应于地图边

缘和纹理区域的系数具有较大的峰值，高频系数从小到大分别对应了空域上的平滑区域、纹理区域及边缘区域，系数非零个数及变化情况代表该块的纹理信息，非零系数越多，系数变化越大，该块纹理就越复杂。一般来讲，在原地图的平坦区域应尽可能多的表现可见水印纹理信息，即在地图平坦区域，如果相应可见水印区域有丰富的纹理信息，则以可见水印纹理信息为主，这样可突出显示可见水印信息，而如果可见水印区域也是平坦区域，则以地图区域信息为主显示。同时，人类视觉系统对高纹理区域地图像素的改变不敏感，同一邻域内的纹理数越多，对噪声的掩蔽性就越大，视觉失真性就越小，为显示可见水印细节信息就必须加大可见水印高频系数嵌入因子。因此，在一个富有纹理信息的地图区域中，信息均匀分布于各高频系数中，这就意味着此区域的方差 $\sigma_{(i,j)}$ 较小，为显示需要可以加入较多的水印信息。在此区域中地图尺度因子 $\alpha(i, j)$ 和可见水印嵌入因子 $\beta(i, j)$ 可以定义为

$$\alpha(i, j) = \sigma'_{(i,j)} \cdot w_{(i,j)}$$

$$\beta(i, j) = 1 - \alpha(i, j)$$

式中 $\sigma'_{(i,j)} = \sigma_{(i,j)} / \sigma_{\max}$ ， $\sigma_{(i,j)}$ 表示地图块的高频方差， $\sigma_{\max}$ 表示地图块高频方差最大值， $w_{(i,j)}$ 表示权重因子。

可见水印的嵌入流程图如图 18 所示：

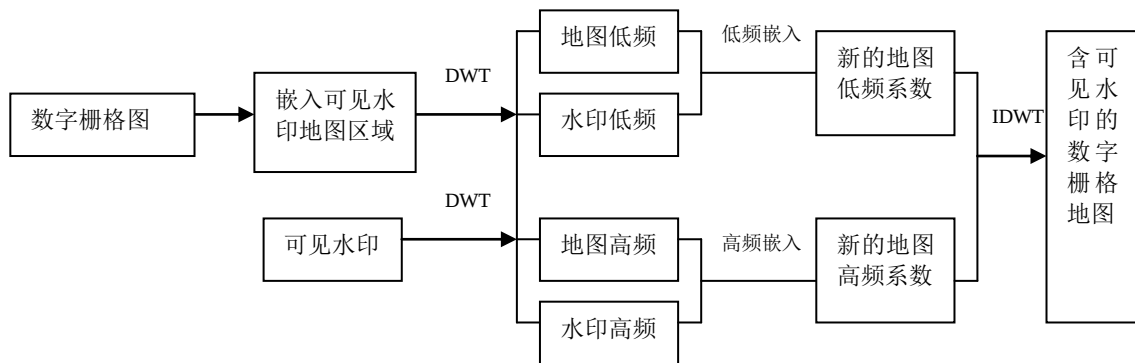


图 18 可见水印信息嵌入流程图

第五章 取得成果与建议

第一节 地质数据数字水印应用模式

地质数据成果数字水印应用模式立足于地质数据成果知识产权管理和使用跟踪的实际需求，充分利用了数字水印技术，建立了完善的地质数据成果知识产权管理技术应用模式，为地质数据安全、保护、共享和应用提供了可靠的技术支撑。

根据地质系统部门在数据管理、汇交和分发过程中的需要，设计了两级分发应用模式的水印系统，基本应用模式应该体现在中央和地方两级，即中央向地方及其它政府部门汇交、分发数据，地方部门向相关下一级部门再进行分发，在分发过程中嵌入版权、用户等水印信息。

具体的实施过程为：地质数据通过一级嵌入检测系统嵌入一级水印信息后，分发到个二级单位，二级单位通过水印嵌入检测系统嵌入二级水印信息后，将数据分发到各部门。此时，一级系统可以检测到分发到二级单位的一级水印信息和二级单位分发到各部门的一级水印信息，二级系统可以检测到分发到各部门的二级水印信息，二者不相冲突。一级超级检测系统具有一级检测系统和二级检测系统的所有功能，而且无需种子库进行超级检测，可以确定数据所属的部门范围，从而为缩短数据搜查范围提供方便。

第二节 “吉印”地质数据安全管理平台

针对地质数据基于数字水印的版权保护软件系统包括如下方面。

一、数据类型和格式

针对地质数据应用的软件系统、数据类型和格式。主要包括矢量数据、栅格数据（遥感影像、航空影像、扫描数据）、Pdf 文档数据等类型以及相关的。具体数据格式包括：Shapefile、E00、Geodatabase、WP、WT、WL、BMP、TIF、JPEG、PNG、IMG、PDF 等格式地质数据。

二、水印类型

（1）可见水印

嵌入的水印信息是文字信息和图片信息。

（2）不可见水印

嵌入的水印信息是文字信息。可以嵌入版权信息、用户信息等。

三、系统主要功能

(1) 水印嵌入。

将水印信息嵌入到数据中。支持批量文件检测，支持可见水印和不可见水印两种嵌入方式。可见水印信息可以是文字或图片信息。不可见水印信息可以嵌入文字信息，如版权信息、用户信息、分发者、发单编号和备注等，水印信息可根据用户需要进行定制。

(2) 水印检测。

从嵌入水印信息的数据中检测出水印信息。对嵌入水印的数据进行水印信息检测，包括单文件检测和批量检测。

(3) 超级检测

从嵌入下级水印信息的数据中检测出下级单位信息。对嵌入下级水印的数据进行超级检测，包括单文件检测和批量检测。

(4) 水印信息管理。

采用种子库方式管理水印信息，实现水印信息的安全性和不可检测性。

(5) 误差分析。

利用日志文件方式对原始数据与嵌入水印数据的误差进行计算，并记录误差统计结果。

四、系统对外接口和调用方式

系统提供可视化的操作方式，用户只需要使用鼠标、键盘进行操作。

用户接口集中在界面层，主要通过窗体、对话框等可视化元素进行交互。

(1) 外部接口

软件对数据处理时，需要借助 AE、GDAL、MAPGIS 进行数据读写，一般不需要与其它软件进行通信，直接对数据进行处理，也不需要特殊接口。

(2) 内部接口

本系统各个子系统可以独立运行，并不需要互相通信。

(3) 调用方式

系统开发平台采用 VC 6.0，可提供算法的 DLL，能够被其他程序调用。系统也可以提供 exe，作为一个独立的软件系统。

五、系统技术指标

所提供的组件或软件系统需要达到以下的技术指标：

- (1) 可见水印嵌入水印信息时，可以调整嵌入水印信息的可见程度（分为 5 个以上可见层次）、重复排列的行数及列数、位置、旋转角度。
- (2) 不可见水印具有好的不可察觉性，不易被用户发现或删除。
- (3) 系统能有效地抵抗数据的压缩、锐化、剪切、噪声、旋转、滤波、拼接攻击方式。
- (4) 上下级水印信息嵌入和检测互不影响。
- (5) 上级系统可以进行超级检测，即直接定位到下级单位。
- (6) 多文件批量处理。
- (7) 算法效率能满足应用需求。

六、系统特色

- (1) 针对多种数据格式

系统能应用于 Shapefile、E00、Geodatabase、WP、WT、WL、BMP、TIF、JPEG、PNG、IMG、PDF、DWG 等格式地质数据。

- (2) 系统简捷方便高效

充分考虑用户需求，系统界面简捷，应用方便，运行高效。

- (3) 信息容量无穷

利用映射机制，可嵌入任意容量的水印信息和任意字符。

- (4) 盲水印检测

水印检测不依赖于原始数据的，仅需要少量的种子信息。超级检测不需要任何的信息。

- (5) 综合嵌入和检测算法

基于小波分析、Fourier 分析、统计学、信息学等理论，根据 MapGis 矢量地质数据特点，设计有效综合的水印嵌入和检测算法，算法具有好的精度和抗攻击性。

- (6) 控制水印数据精度

基于空间数据不确定性理论，采用有效的精度控制策略，对嵌入水印的矢量地质数据精度进行控制。

- (7) 鲁棒性好

系统能有效地抵抗矢量地质数据格式转换、增加、删除、噪声、裁剪、压缩、合并、平移、平滑攻击等攻击。

（8）实用性好

系统通过大数据量的应用验证和多个单位的应用检验，具有好的实用性。

七、平台界面说明

（1）登陆界面

点击水印系统应用程序图标，应用程序启动后，在登陆对话框中输入用户名和密码，点击“登录”按钮，即可登陆水印系统。登陆界面如下：



图 19 系统登录界面

（2）系统主界面

输入用户名和密码后（测试版，用户名和密码为空，直接点击“登录”即可），进入到系统的主界面，如下图所示：



图 20 平台主界面

系统分为以下部分：ArcGIS 数据水印系统、MapGIS 数据水印系统、可见水印系统和 PDF 可见水印系统、CAD 数据水印系统，用户可根据需求选择使用不同的系统功能。

第三节 “吉印”地质数据安全平台各子系统说明

一、基于 MapGis 的地质数据数字水印系统

(1) 系统界面

系统界面见图 21。其包含了控件的基本功能。

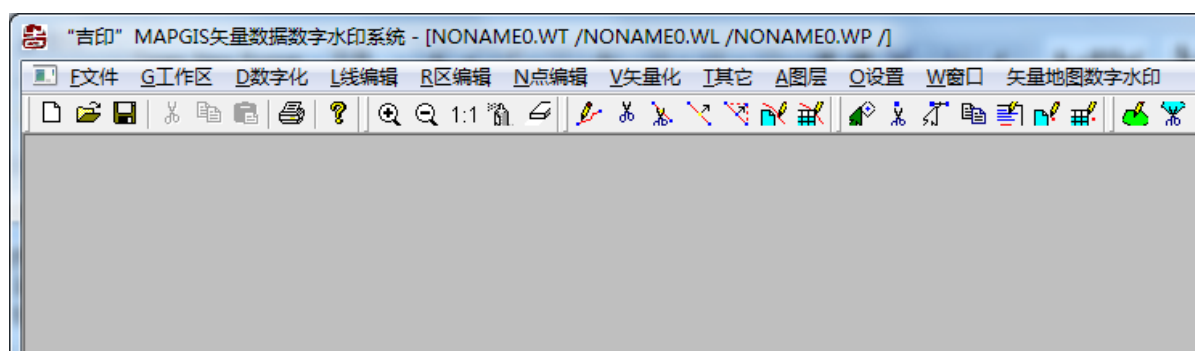


图 21 MapGIS 系统界面

(2) 菜单介绍

1) 水印嵌入

水印嵌入界面见图 22。

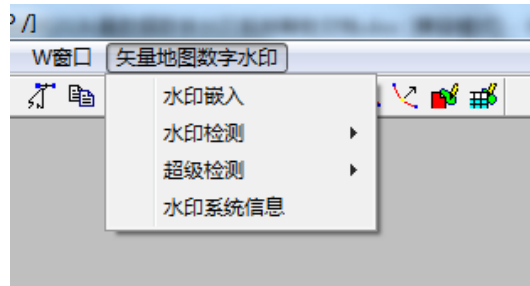


图 22 水印嵌入菜单

添加水印信息、选择精度控制。水印嵌入设置对话框见图 23。



图 23 水印嵌入设置对话框

2) 水印检测

a. 单个文件水印的提取和检测

选择待测数据，见图 24。单个水印检测结果见图 25。

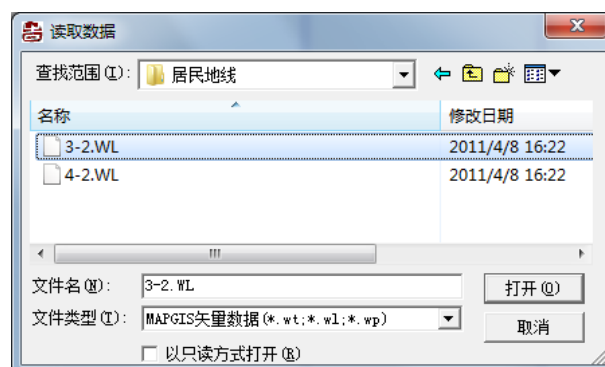


图 24 选择单个文件对话框

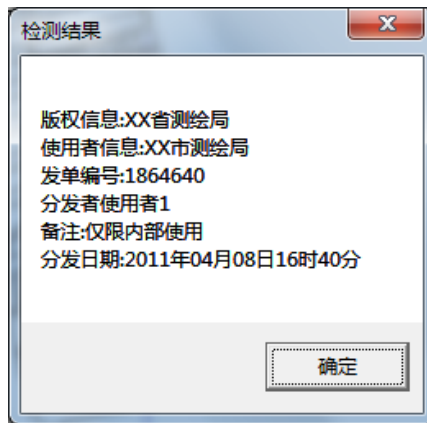


图 25 单个水印检测结果对话框

b. 批量文件水印的提取和检测

选择待测数据所在的文件夹，见图 26。批量水印检测结果见图 27。

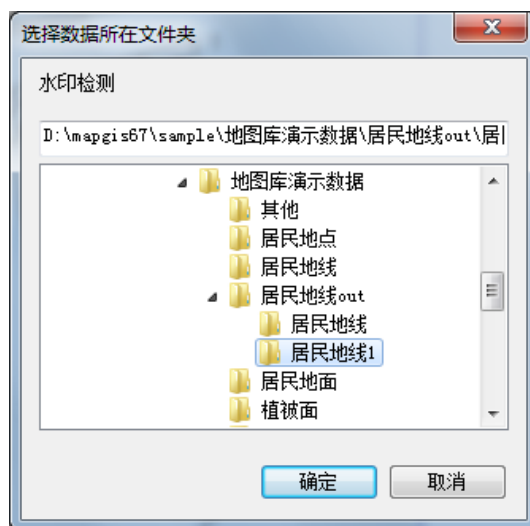


图 26 水印检测文件夹选择对话框

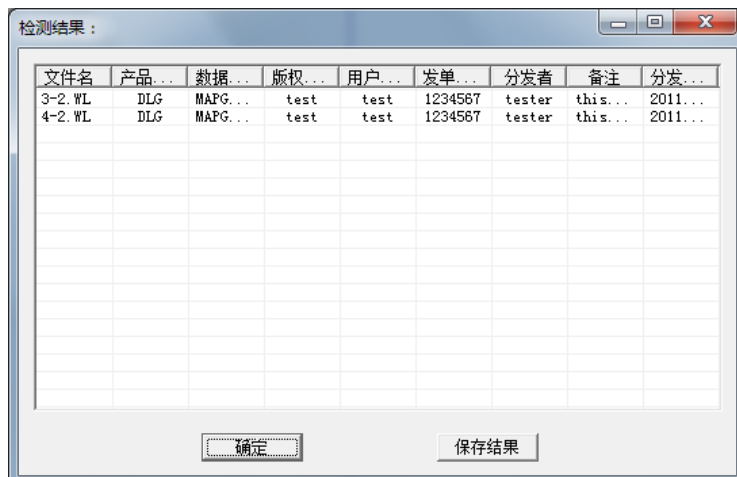


图 27 批量水印检测结果对话框

保存检测结果，见图 28。

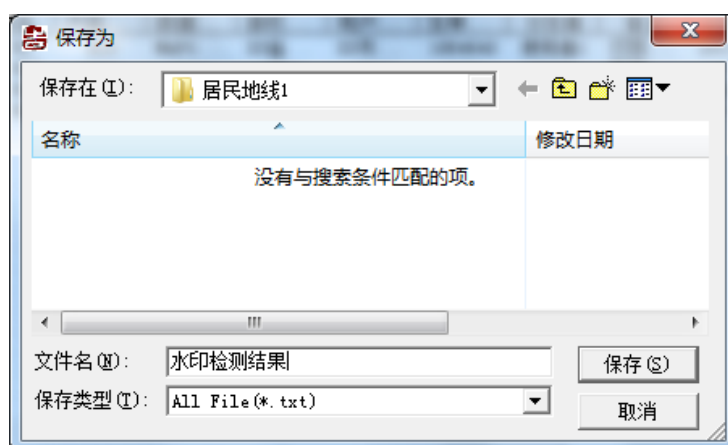


图 28 保存检测结果对话框

c. 误差统计

在系统安装目录下，生成了一个 EmbedLog.txt 文本文件，见图 29。该文件是嵌入水印的误差统计的历史记录， 文件内容见图 30。

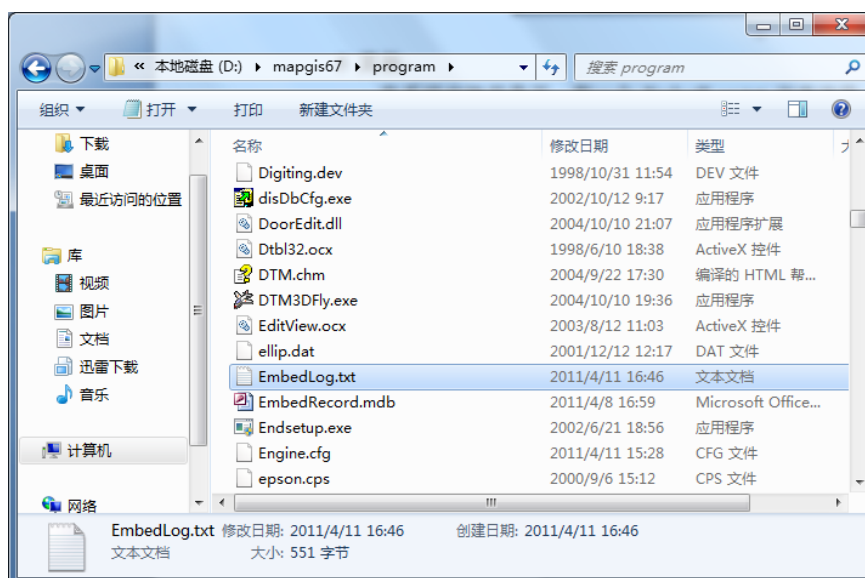


图 29 EmbedRecord.mdb 文件位置

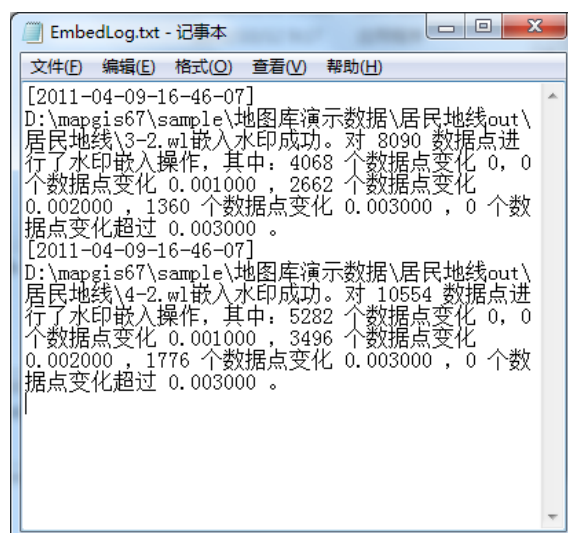


图 30 EmbedLog.txt 文件内容

3) 超级检测

a. 单个文件水印的超级检测、

选择待测数据，见图 31。单个文件的超级检测结果见图 32。

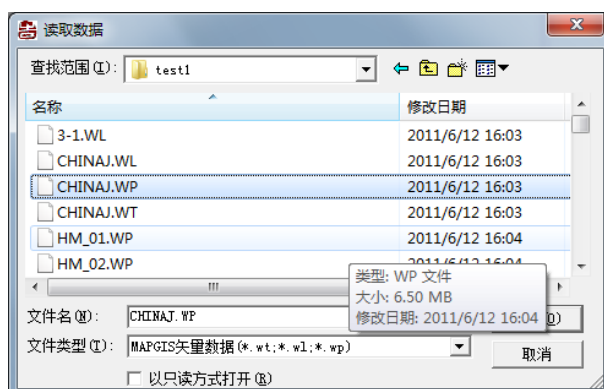


图 31 选择单个文件对话框

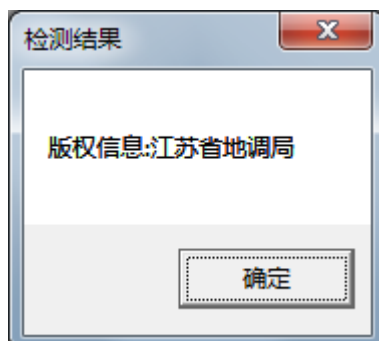


图 32 单个文件的超级水印检测结果对话框

b. 批量文件水印的超级检测

选择待测数据所在的文件夹，见图 33。批量文件的超级检测结果见图 34。

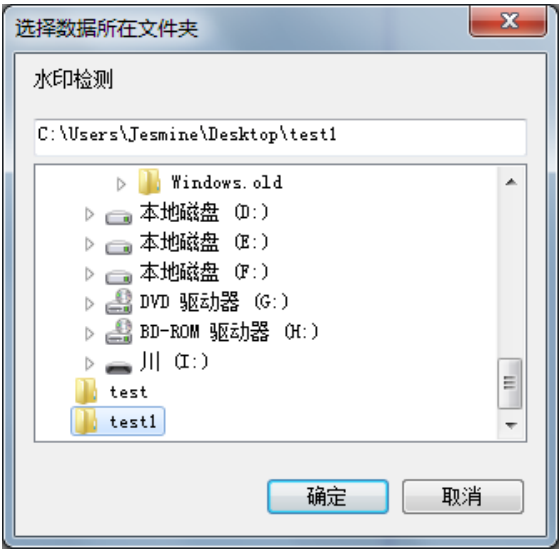


图 33 超级检测文件夹选择对话框



图 34 批量文件的超级检测结果对话框

保存检测结果，见图 35。

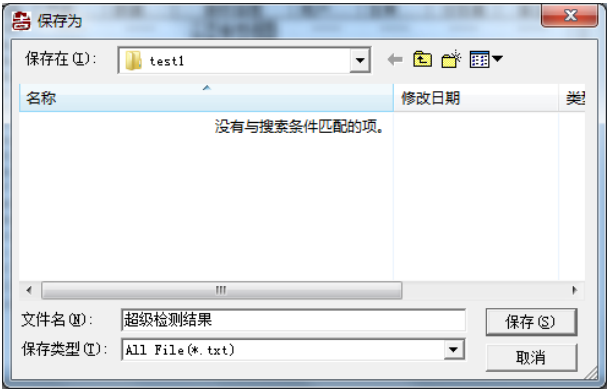


图 35 保存检测结果对话框

二、基于 ArcGis 的地质数据数字水印子系统

(1) 系统界面

系统界面见图 36。



图 36 系统界面

(2) 菜单介绍

1) 水印嵌入

本系统可以对 DLG、DOM 和 DRG 这三种数据类型进行水印信息的嵌入和提取。主要支持的数据格式分别为：SHP、E00、MDB、GDB、BMP、TIF、JPEG、PNG、IMG。其中 DOM 和 DRG 支持的数据类型相同。

水印嵌入界面见图 37。



图 37 水印嵌入界面

在该界面中，用户需要填写：分发单位、领取单位、任务单号、操作人员和备注信息，并选择嵌入水印数据的数据格式，如. shp，通过“浏览”按钮选择需要嵌入水印的文件夹和嵌入水印后数据的路径。

点击“确定”，水印嵌入时，系统界面中会显示嵌入的总文件个数、目前完成的文件数、进度和嵌入标志。嵌入时的界面如图 38。

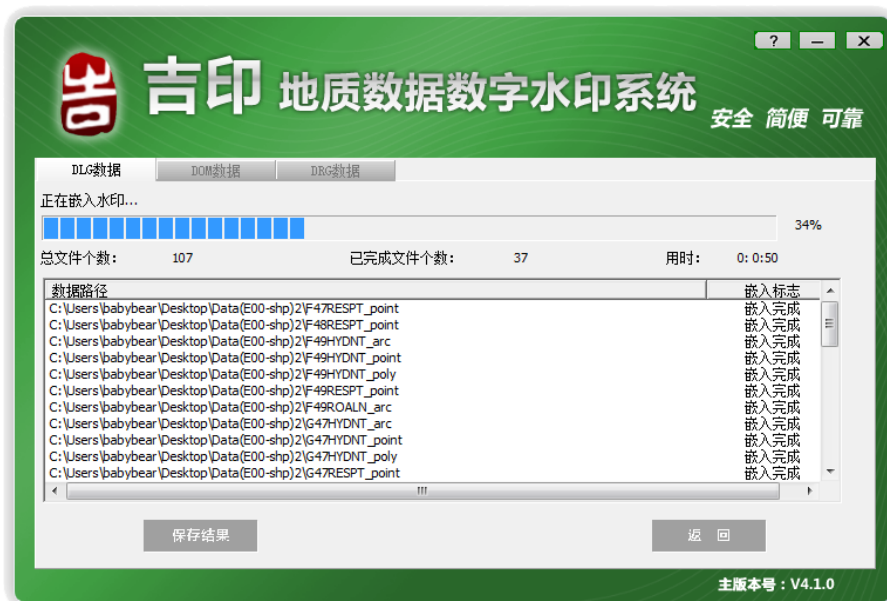


图 38 嵌入水印时的系统界面

图 39 为嵌入完成对话框。



图 39 嵌入完成对话框

嵌入完成后点击“保存结果”可以保存嵌入的结果。点击“返回”，即返回上一级界面。如图 40 示。



图 40 保存前嵌入结果对话框

2) 水印检测

a. 单个文件水印的提取和检测

选择待测数据，见图 41。单个水印检测结果见图 42。

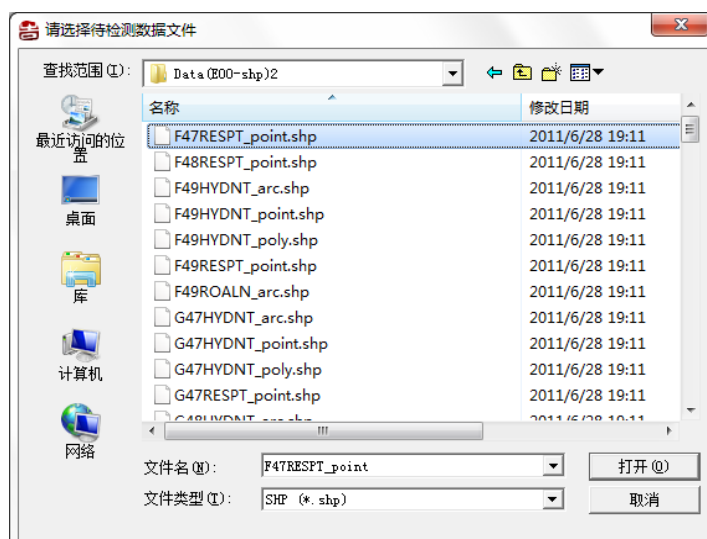


图 41 选择单个文件对话框



图 42 单个水印检测结果对话框

b. 批量文件水印的提取和检测

选择待测数据所在的文件夹，见图 43。批量水印检测结果见图 44。

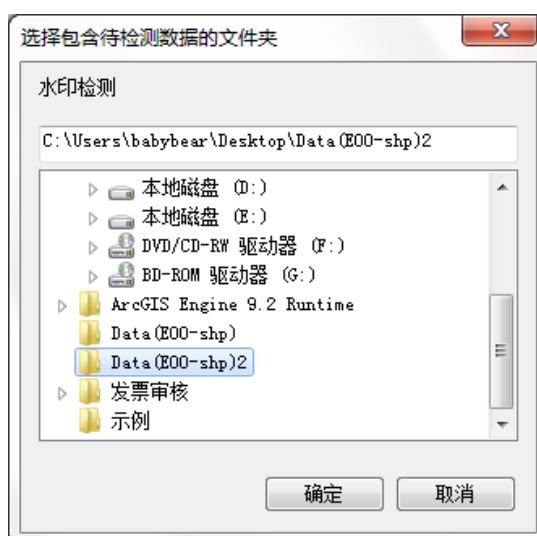


图 43 水印检测文件夹选择对话框



图 44 批量水印检测结果对话框

保存检测结果，见图 45。



图 45 保存检测结果对话框

3) 单个文件的超级检测

超级检测界面如图 46。



图 46 超级检测界面

a. 上级种子点

选择相对应的上级种子数据库（位于安装路径下），见图 47。

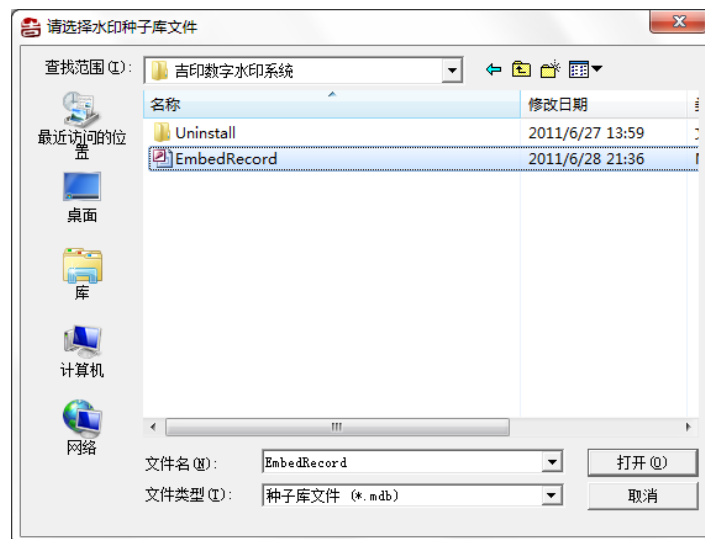


图 47 种子库选择对话框

点击“单文件检测”，选择待检测的数据，见图 48。

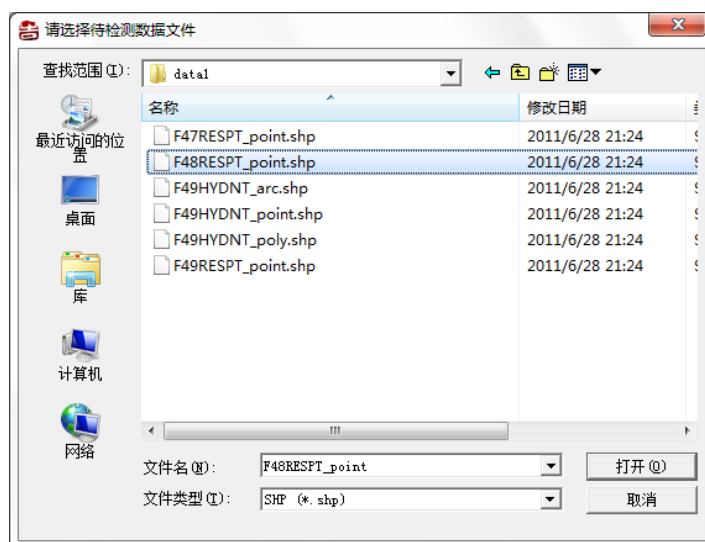


图 48 待测数据选择对话框

单个文件的超级检测结果见图 49。



图 49 上级超级检测结果对话框

b. 超级

选择“超级”项，点击“单文件检测”，选择待检测的数据，见图 50。

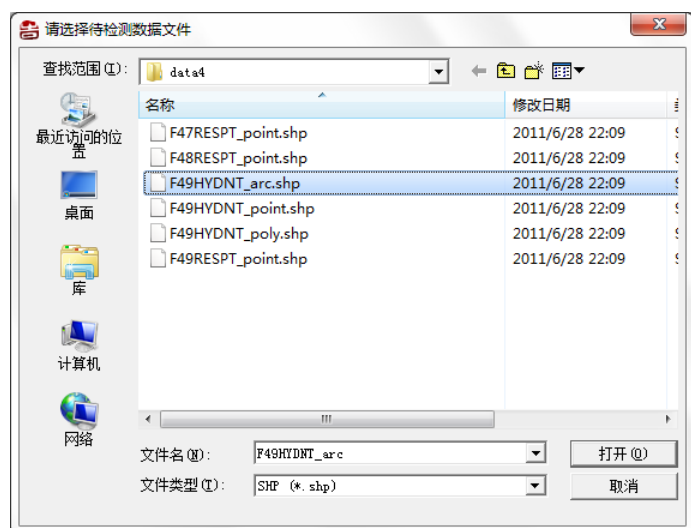


图 50 待测文件选择对话框

点击打开数据，开始检测，检测结果见图 51。



图 51 超级检测结果对话框

c. 下级种子点

选择相对应的下级种子数据库（位于安装路径下），见图 52。

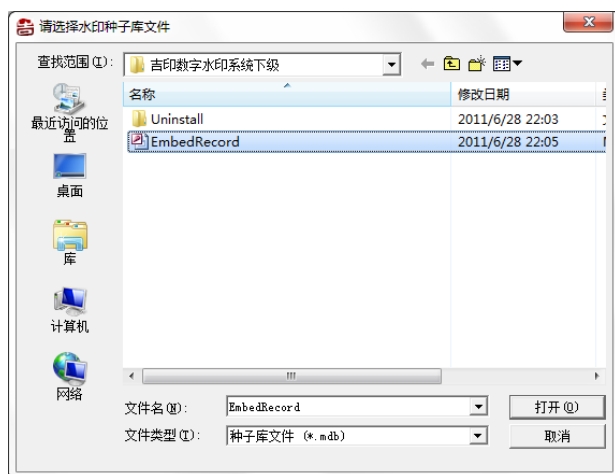


图 52 种子库选择对话框

点击“单文件检测”，选择待检测的数据，见图 53。

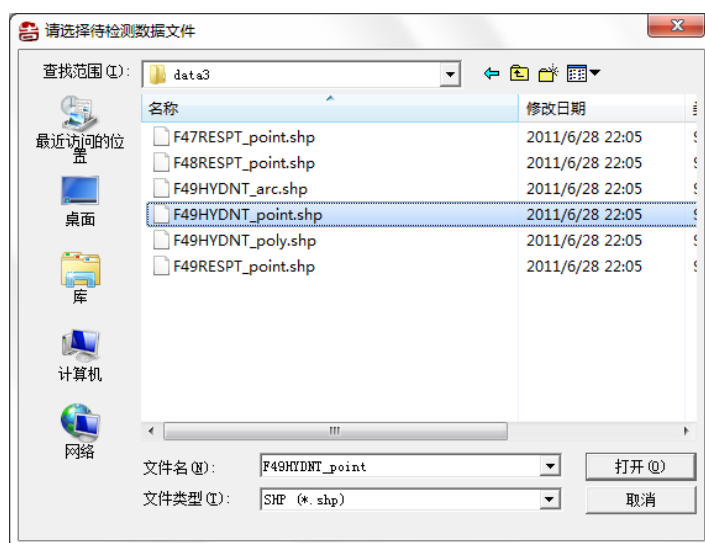


图 53 待测文件选择对话框

单个文件的超级检测结果见图 54。



图 54 下级超级检测结果对话框

4) 批量文件的超级检测

a. 上级种子点

选择相对应的上级种子数据库（位于安装路径下），见图 55。

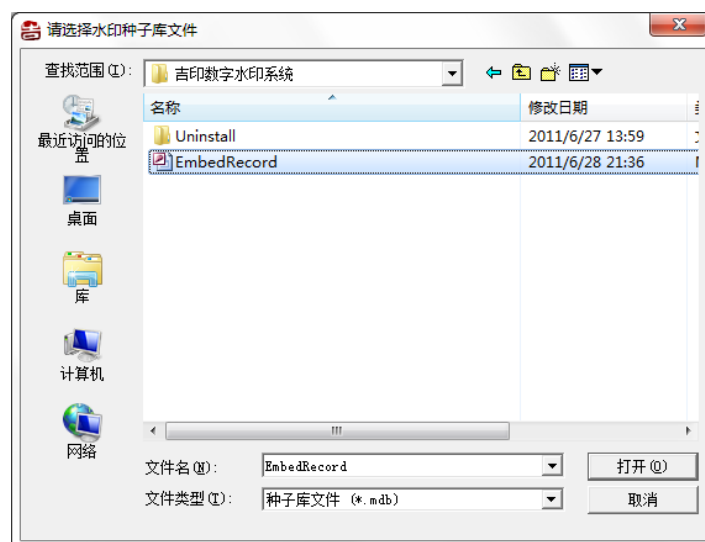


图 55 子库选择对话框

点击“批量检测”，选择待检测的数据，见图 56

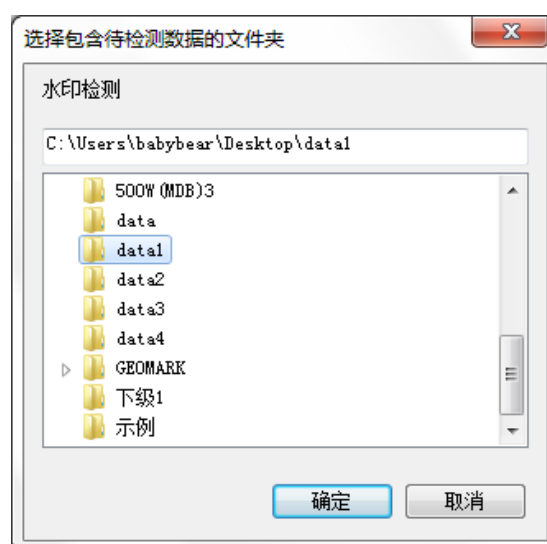


图 56 待测数据所在文件夹选择对话框

批量文件的超级检测结果见图 57。



图 57 上级超级检测结果对话框

b. 超级

选择“超级”项，点击“批量检测”，选择待检测的数据所在的文件夹，见图 58。

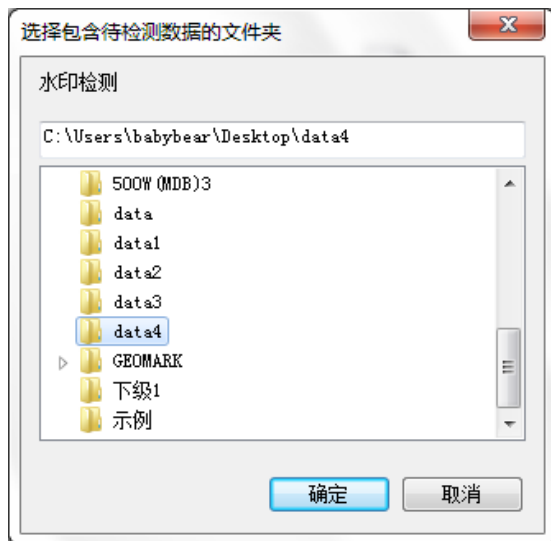


图 58 待测数据所在文件夹选择对话框

点击打开数据，开始检测，检测结果见图 59。



图 59 超级检测结果对话框

c. 下级种子点

选择相对应的下级种子数据库（位于安装路径下），见图 60。

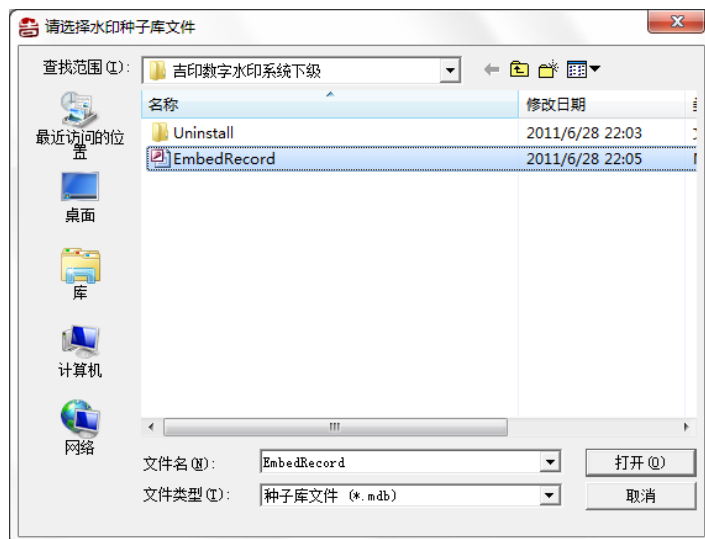


图 60 种子库选择对话框

点击“批量检测”，选择待检测的数据所在的文件夹，见图 61。

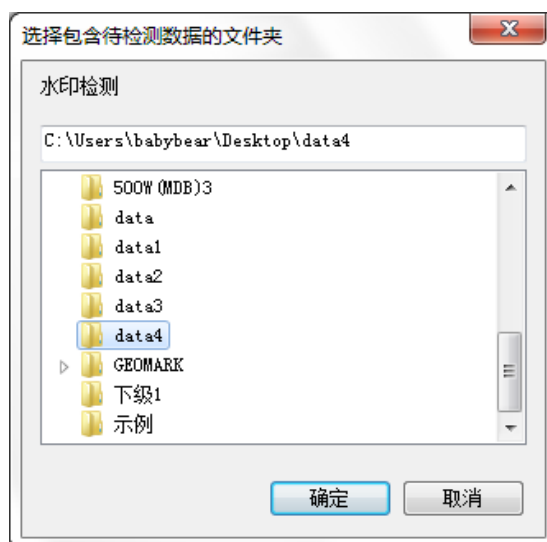


图 61 待测数据所在文件夹选择对话框

批量文件的超级检测结果见图 62。



图 62 下级超级检测结果对话框

三、基于 AutoCAD 平台的地质数据数字水印系统

(1) 系统界面

系统界面见图 63。



图 63 系统界面

(2) 菜单介绍

1) 水印嵌入

本系统可以对 DWG 数据进行水印信息的嵌入和提取。水印嵌入界面见图 64。

图 64 水印嵌入界面

在该界面中，用户需要填写：分发单位、领取单位、任务单号、操作人员和备注信息，并选择嵌入水印数据的数据格式，如.dwg，通过“浏览”按钮选择需要嵌入水印的文件夹和嵌入水印后数据的路径。

点击“确定”，水印嵌入时，系统界面中会显示嵌入的总文件个数、目前完成的文件数、进度和嵌入标志。嵌入时的界面如图 65。



图 65 嵌入水印时的系统界面

图 66 为嵌入完成对话框。



图 66 嵌入完成对话框

嵌入完成后点击“保存结果”可以保存嵌入的结果。点击“返回”，即返回上一级界面。如图 67 示。



图 67 保存前嵌入结果对话框

2) 水印检测

a. 单个文件水印的提取和检测

选择待测数据，见图 68。单个水印检测结果见图 69。



图 68 选择单个文件对话框



图 69 单个水印检测结果对话框

b. 批量文件水印的提取和检测

选择待测数据所在的文件夹，见图 70。批量水印检测结果见图 71。



图 70 水印检测文件夹选择对话框



图 71 批量水印检测结果对话框

保存检测结果，见图 72。



图 72 保存检测结果对话框

3) 单个文件的超级检测

超级检测界面如图 73。



图 73 超级检测界面

a. 上级种子点

选择相对应的上级种子数据库（位于安装路径下），见图 74。



图 74 种子库选择对话框

点击“单文件检测”，选择待检测的数据，见图 75。



图 75 待测数据选择对话框

单个文件的超级检测结果见图 76。



图 76 上级超级检测结果对话框

b. 超级

选择“超级”项，点击“单文件检测”，选择待检测的数据，见图 77。

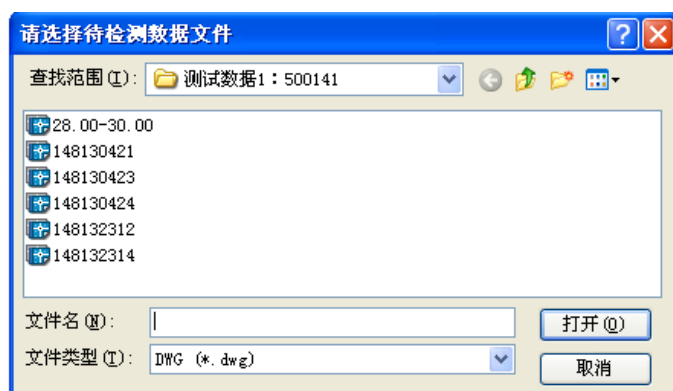


图 77 待测文件选择对话框

点击打开数据，开始检测，检测结果见图 78。



图 78 超级检测结果对话框

c. 下级种子点

选择相对应的下级种子数据库（位于安装路径下），见图 79。



图 79 种子库选择对话框

点击“单文件检测”，选择待检测的数据，见图 80。



图 80 待测文件选择对话框

单个文件的超级检测结果见图 81。



图 81 下级超级检测结果对话框

4) 批量文件的超级检测

超级检测界面如图 82。



图 82 超级检测界面

a. 上级种子点

选择相对应的上级种子数据库（位于安装路径下），见图 83。



图 83 子库选择对话框

点击“批量检测”，选择待检测的数据，见图 84。



图 84 待测数据所在文件夹选择对话框

批量文件的超级检测结果见图 85。



图 85 上级超级检测结果对话框

b. 超级

选择“超级”项，点击“批量检测”，选择待检测的数据所在的文件夹，见图 86。



图 86 待测数据所在文件夹选择对话框

点击打开数据，开始检测，检测结果见图 87。



图 87 超级检测结果对话框

c. 下级种子点

选择相对应的下级种子数据库（位于安装路径下），见图 88。



图 88 种子库选择对话框

点击“批量检测”，选择待检测的数据所在的文件夹，见图 89。



图 89 待测数据所在文件夹选择对话框

批量文件的超级检测结果见图 90。



图 90 下级超级检测结果对话框

四、基于 PDF 的地质数据数字水印子系统

(1) 系统界面

本系统可实现对 PDF 单文件以及批量文件的可见水印嵌入。系统界面见图 91。



图 91 系统界面

（2）菜单介绍

1) 单文件嵌入

“单文件文字水印参数设置”对话框见图 92。



The dialog box titled "单文件文字水印参数设置" (Single File Text Watermark Parameter Settings) contains the following sections:

- 可见水印信息** (Visible Watermark Information): Includes a text field with "吉印数字水印" (Ji Yin Digital Watermark) and buttons for "颜色" (Color) and "字体" (Font).
- 嵌入位置及角度设置** (Embed Position and Angle Settings): Includes radio buttons for "单次" (Single) and "重复" (Repeat). The "Single" option is selected. Fields for "X方向位置" (X-direction position) and "Y方向位置" (Y-direction position) are both set to 300. Fields for "水平间隔" (Horizontal interval) and "垂直间隔" (Vertical interval) are both set to 300. A field for "旋转角度" (Rotation angle) is set to 30.
- 输入路径** (Input Path): Includes a text field and a "浏览..." (Browse...) button.
- 输出路径** (Output Path): Includes a text field and a "浏览..." (Browse...) button.
- Buttons at the bottom: "确定" (OK) and "取消" (Cancel).

图 92 水印嵌入设置对话框

嵌入完成对话框如图 93。



The dialog box titled "嵌入结果" (Embed Result) displays the following information:

- A green checkmark icon and the text "嵌入完成" (Embed Completion).
- Text indicating "共嵌入文件数：1个" (Total number of files embedded: 1).
- Text indicating "嵌入所用时间：00:00:02" (Embedding time used: 00:00:02).
- A "确定" (OK) button at the bottom.

图 93 水印嵌入设置对话框

2) 批量文件嵌入

“批量文字水印参数设置”对话框见图 94。



图 94 水印嵌入设置对话框

进度条对话框，如图 95。

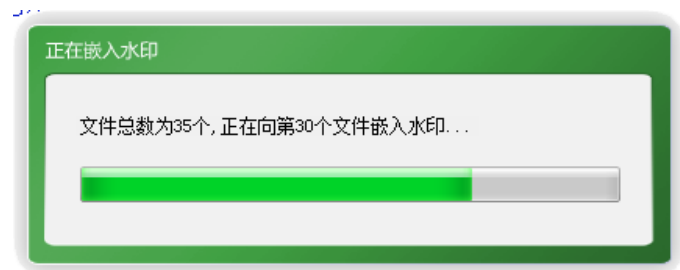


图 95 进度条对话框

嵌入完成对话框如图 96。



图 96 水印完成对话框

五、地质数据可见数字水印子系统

此软件针对地质栅格数据进行可见水印信息的嵌入应用，以达到可见版权保护目的。软件适用范围是 TIFF、JPEG、bmp、img 格式的栅格数据(img 数据只能在批量处理功能中使用，不支持单文件操作)。

(1) 系统界面

系统界面见图 97。

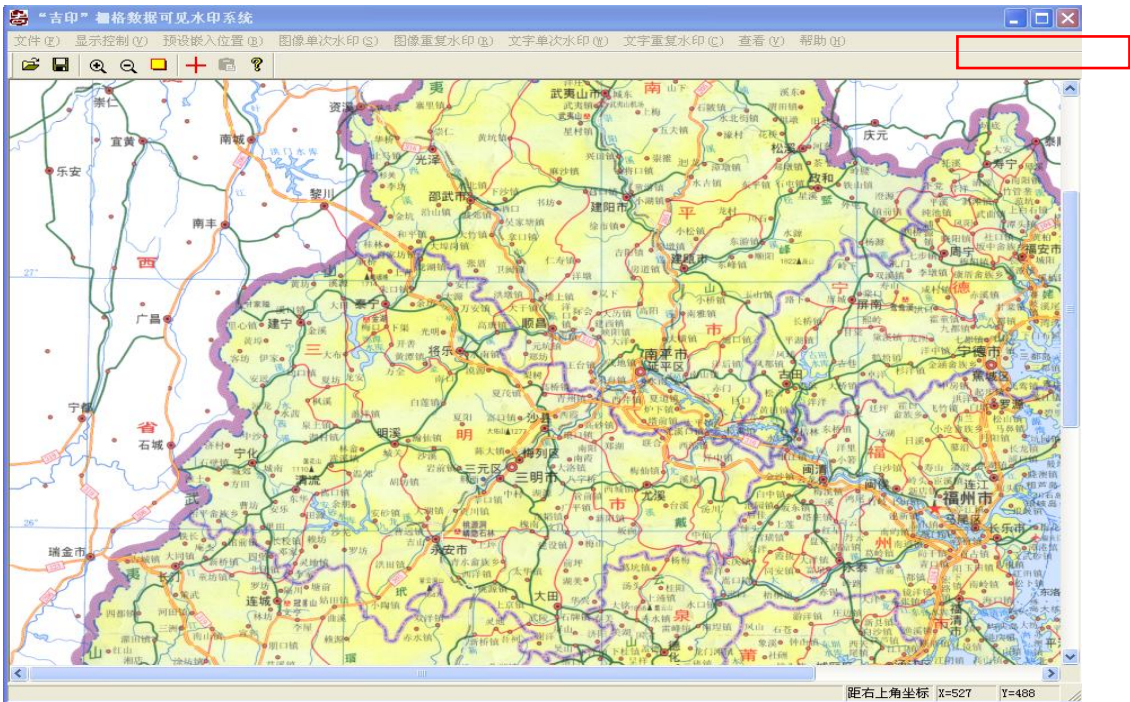


图 97 系统界面

(2) 菜单介绍

1) 打开模块

a. 单幅数据的“打开”并显示。

点击菜单栏中“文件”项，或工具栏中“”项，选择所需要的文件打开并显示，打开对话框栏的下部可以自由选择格式，供选择的格式有 jpeg、tiff、bmp(img 不支持单幅数据的操作)。在单幅影像的可见水印嵌入中，必须用此功能打开单幅影像数据，才能进行嵌入操作。而在批量多文件影像数据的可见水印嵌入过程中不需要打开单幅影像数据。

b. 系统的“退出”功能。

2) 数据显示操作模块

放大、缩小、全图显示（左键点击工具栏“”中任意一个既可进行操作，如不需要进行显示操作，单击右键释放即取消操作）。

3) 预设嵌入位置

通过在原图鼠标操作选定嵌入位置作为可见水印嵌入坐标。（嵌入位置的选择可以单击工具栏“”的红色十字按键，在地图中出现红色背景的“吉印”矩形框，如，用鼠标左键选中矩形框内不放，进行拖拉，到水印嵌入位置后，释放鼠标左键即完成操作，在此中系统右下角实时显示鼠标距离地图右上角的水平、垂直距离。水印嵌入位置以“吉印”矩形框右上角为原点对应于可见水印右上角，向左向下延伸嵌入，请根据水印内容预留嵌入位置。也可以在选中模块的对话框中输入嵌入。此操作仅对可见水印的单次嵌入有效，对于重复嵌入不采用此操作。）

4) 图像重复水印模块

图像重复水印嵌入模块分为图像单幅嵌入和图像批量嵌入，见图 98。

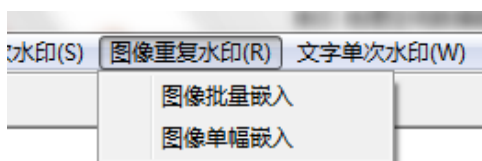


图 98 图像重复水印嵌入模块

“图像重复嵌入”项参数设置对话框如图 99。



图 99 “图像重复嵌入”参数设置对话框

嵌入完成后，弹出对话框，见图 100。

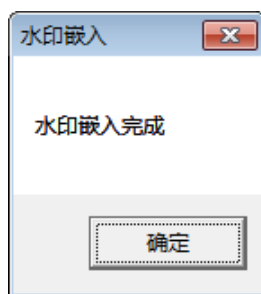


图 100 水印嵌入完成对话框

5) 图像单次水印模块

图像单次水印嵌入模块分为图像单幅嵌入和图像批量嵌入，见图 101。

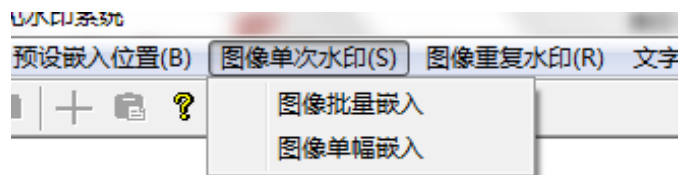


图 101 图像单次水印嵌入模块

“图像单次嵌入”项参数设置对话框如图 102。



图 102 “图像单次嵌入”参数设置对话框

嵌入完成后，弹出对话框，见图 103。

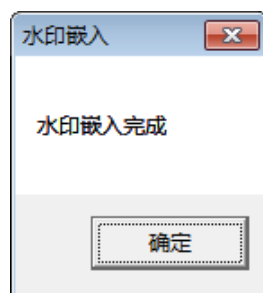


图 103 水印嵌入完成对话框

6) 文字重复水印模块

文字重复水印嵌入模块分为文字单幅嵌入和文字批量嵌入，见图 104。

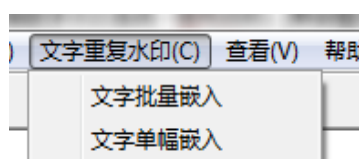


图 104 文字水印嵌入模块

“文字重复嵌入”项参数设置对话框如图 105。



图 105 “文字重复嵌入”参数设置对话框

嵌入完成后，弹出对话框，见图 106。

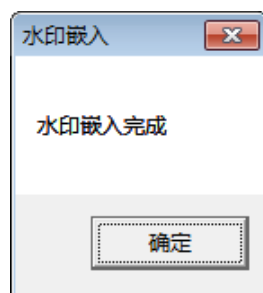


图 106 嵌入完成对话框

7) 文字单次水印模块

文字单次水印嵌入模块分为文字单幅嵌入和文字批量嵌入，见图 107。

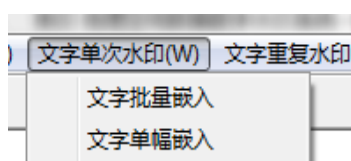


图 107 文字单次水印嵌入对话框

“文字单次嵌入”项参数设置对话框如图 108。



图 108 “文字单次嵌入”参数设置对话框

嵌入完成后，弹出对话框，见图 109。

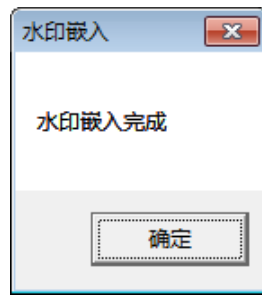


图 109 嵌入完成对话框

第四节 问题与建议

本项目研发的地质数据数字水印系统已具备实用性，相关软件已在国家和军队多个部门得到成功应用。该系统能够适用于地质数据的版权保护和使用跟踪，建议尽快应用