

摘 要

地震是造成人员伤亡、经济损失和社会动荡最严重的灾害之一。尽管破坏性地震发生的频率很小,可一旦发生,其破坏力是巨大的。活断层突发性快速错动导致的地震是城市地震灾害的主要原因,建立活断层探测信息数据管理系统可帮助相关部门有效地分析活断层的位置,划定活断层的灾害避让带,降低地震灾害损失,保护生命和财产资源安全。地理信息系统是一门涉及测绘、环境、计算机技术等方面的综合学科,是推动社会信息化的重要手段之一。鉴于活断层探测信息的重要性和地理信息系统的逐步普及,建立全国范围内的活断层地理信息系统成为了一项势在必行的任务。

本文以“活断层地理信息系统”项目为背景,介绍了系统设计与开发流程,针对系统中使用的地形数据,研究了对其进行有效压缩的方法。本文的工作主要分为两部分,第一部分讨论了地理信息系统原理及组件式地理信息系统开发方式,介绍了“活断层地理信息系统”的架构、功能设计以及典型的功能模块实例。论文的第二部分讨论了地形图像的压缩方法。地形图像数据量庞大,并且富含轮廓及纹理信息,本文使用一种基于嵌入零块编码的图像压缩方法,将图像小波分解后的系数采用集合分裂嵌入块编码(SPECK)算法进行量化编码,充分利用了图像小波分解后子带内系数的相关性,提高了地形图像编码性能,同时降低了编码复杂度。实验表明,在低比特压缩率条件下,SPECK算法对地形图像的细节信息处理要好于分级树集合分裂(SPIHT)算法,是一种有效的地形图像压缩算法。

关键词: 地理信息系统; 地形图像压缩; 小波提升方法; 集合分裂嵌入块编码

The Design of Active Fault Geographic Information System and Research of Related Problems

Abstract

Earthquake is one of the most serious disasters, which causes casualties, economic damage and social turbulence. Though the frequency of destructive earthquake is low, once an earthquake happens, the damage is huge. The earthquake which is induced by active fault with rapid, sudden move is the main cause of city earthquake damage. So it is an efficient way to help related department analyze the location of active fault, study on active fault forbidden region, reduce the loss caused by earthquake, secure lives and properties by establishing active fault information management system. Geographic Information System is a comprehensive subject which involves surveying and mapping, environment, computer technology and other aspects. It is one of the most important means to promote the development of the information society. Whereas the importance of the active fault information and gradual popularity of Geographic Information System, to establish a nationwide active fault Geographic Information System has become an imperative task.

This paper takes the "Active Fault Geographic Information System" project as the background, introduces the design and development process of the system. In view of the terrain data used in the system, an effective image compression method is also studied in the paper. This paper is divided into two parts. Part one discusses the principle of Geographic Information System, Components Geographic Information System development, introduces the structure, function design and typical modules of "Active Fault Geographic Information System". Part two of this paper dicusses the methods of the terrain image compression. Generally terrain image which contains great outline and texture information takes up much space in computer disk. In this paper, an embedded zero-block based image compression algorithm is used to solve the problem. It uses set partitioned embedded block(SPECK)coder algorithm, which exploits the hierarchical structure and energy clustering in frequency of an image after wavelet transformation. By this approach, the performance of the embedded wavelet image coder is increased and a low complexity is obtained. The results show that, at a low bit rate, compared with the reconstructed terrain image by SPIHT algorithm, the outline and texture information is obtained better in the reconstructed terrain image by SPECK algorithm. As a result, SPECK is an efficient terrain image compression method.

Key Words: GIS; Terrain Image Compresison; Lift Scheme of Wavelet Transform; SPECK

独创性说明

作者郑重声明：本硕士学位论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得大连理工大学或者其他单位的学位或证书所使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的贡献均已在论文中做了明确的说明并表示了谢意。

作者签名： 刘鑫 日期： 2007.12.24

大连理工大学学位论文版权使用授权书

本学位论文作者及指导教师完全了解“大连理工大学硕士、博士学位论文版权使用规定”，同意大连理工大学保留并向国家有关部门或机构送交学位论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权大连理工大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，也可采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编学位论文。

作者签名： 刘鑫

导师签名： 孙永红

2007年12月24日

1 绪论

1.1 地理信息系统概述、发展和应用

1.1.1 地理信息系统概述

地理信息系统 (Geographic Information System, GIS) 是集地球科学、信息科学与计算机技术为一体的高新技术。它是随着计算机技术的迅速发展, 在原有学科交叉处派生出来的一门新兴边缘学科。地理信息系统是复杂的技术系统, 包括数据的获取、存储、管理、传输、分析和利用等诸多方面^[1]。其研究核心内容包括地理信息获取、地理数据模型、数字高程模型、空间关系和空间分析、地理数据多尺度显示与可视化等。

地理信息系统与其他信息系统的最大区别在于, 它不仅能够存储、分析和表达现实世界中的各个对象的属性信息, 而且能够处理其空间特征, 能够将空间信息和属性信息有机的结合起来, 从空间和属性两个方面对现实世界的各个对象进行查询、检索和分析, 并将结果直观、形象地表达出来。

1.1.2 地理信息系统发展

自二十世纪六十年代起, 地理信息系统大体上经历了四个发展阶段^[2]。

第一阶段 (20 世纪 60 年代): 地理信息系统的开拓期, 也称模拟地理信息系统阶段, 注重于空间数据的地学处理。自 19 世纪以来就得到广泛应用的地图 (包括地形图和专题图) 构成了地理信息系统的基本概念模型。但是, 这种模拟式的、基于纸张的信息系统, 存在着空间相关数据的存储、管理的不规范, 量算与分析不方便的缺点。随着计算机科学的兴起, 数字地理信息的使用成为必然。这个时期的地理信息系统的工作主要限于政府及大学的范畴, 国际交往甚少。1956 年, 奥地利测绘部门首先利用电子计算机建立了地籍数据库, 随后这一技术被各国广泛应用于土地测绘与地籍管理。1963 年, 加拿大测量学家首先提出地理信息系统这一术语, 并建立了世界上第一个地理信息系统——加拿大地理信息系统 (CGIS), 用于资源与环境的管理和规划。随后, 北美和西欧成立了许多与 GIS 有关的组织与机构, 如美国城市与区域信息系统协会 (URISA), 国际地理联合会 (IGU), 地理数据收集和处理委员会 (CGDPS) 等等。这些组织促进了地理信息系统知识与技术的传播和推广。

第二阶段 (20 世纪 70 年代): 地理信息系统的巩固发展期, 也称学术探索阶段。由于电子技术的发展及其在测量与制图学中的应用, 人们开始用电子计算机来收集、存贮和处理各种与空间和地理分布有关的图形和属性数据。这一时期地理信息系统在资源管

理和环境保护等方面得到了应用,一些发达国家先后建立了许多专业性的土地信息系统和资源与环境信息系统,但这些系统的数据分析能力仍然很弱。

第三阶段(20 世纪 80 年代):地理信息系统技术发展时期,也称飞速发展和推广应用阶段, GIS 的空间决策分析功能受到了重视。由于计算机技术的工业化、标准化与实用化,以及大型商用数据库系统的建立与使用,地理信息系统对地理空间数据的处理速度与能力取得突破性进展。到 1989 年,国际市场上有报价的 GIS 软件达 70 多个,并出现了一些有代表性的公司和产品,如美国环境系统研究所的 ARC/INFO, Integrgraph 公司的 MGE, 及 Genasys 公司的 Genamap 等。各种通用和专用的地理空间分析模型得到深入研究和广泛使用, GIS 的空间分析能力显著增强。

第四阶段(20 世纪 90 年代以来):地理信息系统的用户时代,一方面地理信息系统已成为众多机构、行业必备的工作系统,另一方面社会对地理信息系统的认识普遍提高,需求大幅增加,从而促进了地理信息系统应用的扩大和深化。自 20 世纪 90 年代以来,随着互联网的发展及国民经济信息化的推进,地理信息系统作为大的地理信息中心,进入日常办公室和千家万户之中,成为信息社会的重要技术基础。

地理信息系统技术依托的主要工具和平台是计算机及其相关设备,计算机技术的发展势必会对地理信息系统的发展产生影响。地理信息系统的发展趋于集成化、产业化、和社会化,具体体现在以下几个方面:

网络地理信息系统(WebGIS)——利用 Interent 技术在网络上发布空间信息供用户浏览和使用。WebGIS 是地理信息系统走向社会化和大众化的有效途径,是当前地理信息系统的一个重要发展方向。网络地理信息系统可实现网上发布、浏览、下载,实现基于网络的地理信息系统查询和分析。尽管目前已有多家国内外公司推出 WebGIS,总的来说, WebGIS 还处在试验研究阶段。WebGIS 最终目标是实现地理信息系统与网络技术的有机结合,地理信息系统通过网络为大众提供便利的服务。

三维/四维地理信息系统(3D/4D GIS)。许多行业例如矿山、海洋、空间规划、景观分析等对三维地理信息系统的需求很迫切,目前三维地理信息系统主要存在着拓扑关系模型的建立不成熟,数据量巨大等问题,如何解决这些问题便成为地理信息系统的一个研究热点。另外,在研究环境时,常用到多时态信息对环境进行综合评价。因此,研究地理信息系统的时态问题(即 4D GIS)也成为当今地理信息系统领域的一个重要方向。

面向对象和组件技术的地理信息系统(ComGIS)是把地理信息系统的功能模块划分为多个组件,每个组件完成不同的功能,通过可视化的软件开发工具集成起来,形成最终地理信息系统应用。

虚拟地理信息系统(VGIS)就是将地理信息系统与虚拟现实技术(Virtual Reality)相结合,使地理信息系统用户在计算机上就能感受到三维的客观世界,在虚拟环境中更有效地管理,分析空间实体数据。目前虚拟地理信息系统的研究主要集中在虚拟城市的开发上。

3S 技术是全球定位系统(GPS)、遥感技术(RS)和地理信息系统(GIS)的统称。3S 技术整体结合所构成的系统是具有高度自动化、实时性的地理信息系统。这种系统不仅具有自动、实时采集、处理和更新数据的功能,而且能够分析和运用数据,为各种应用提供科学的决策咨询,并回答用户可能提出的各种复杂问题。

除上述提到的技术之外,开放式地理信息系统、智能化地理信息系统、多媒体地理信息系统等也都是地理信息系统发展的热点。

1.1.3 地理信息系统应用

地理信息系统的应用领域非常广泛,国内外大量研究表明,85%—90%的政府机关部门都需要应用 GIS 技术。地理信息系统应用的重点是区域分析管理,即通过对人文经济、自然资源及环境资源等各种地理空间数据和信息的分析,为管理者、规划者做出区域性决策提供可靠依据。目前,地理信息系统已经成功应用到资源管理、自动制图、设施管理、城市和区域规划、人口和商业管理、交通运输、石油和天然气、教育、军事等一百多个领域。归纳起来,地理信息系统的应用主要有以下五个方面^[1]:

① 空间数据管理的应用

目前常用的地理数据输入方法是数字化和扫描,同时 GIS 还借助非地图形式(遥感图像处理系统)和图象处理技术来采集和编译地理信息。传统的数据库管理系统对地理信息的管理存在两个明显的不足:一是缺乏空间实体定义能力,二是缺乏空间关系分析能力。地理信息系统可以通过有效的数据组织,进行数据库管理、更新、维护,以及进行空间信息的快速查询、检索,并以多种方式输出决策所需的地理空间信息。

② 综合分析评价及模拟预测的应用

地理信息系统可通过地理空间数据的编码、存储和提取,进行现实世界模拟,采用建立知识库、方法库和模型库的方法将现实世界各个侧面的思维评价结果放到一起进行综合分析。把自然发展过程、倾向和结果以命令、函数的方式作用于空间数据上,进行过程发生发展的模拟,对未来的结果做出定量或趋势性预测,从而得到预知过程的结果;通过对比不同决策方案的效果以及特殊倾向可能产生的结果,做出最优决策,为避免和预防不良后果的发生提供依据。

③ 空间信息查询和空间分析的应用

地理信息系统对空间信息的查询和分析是非常重要的。为了便于管理和应用地理信息,在建库过程中要根据数据的性质分类,将性质相同或相近的数据归并为一个数据层,这样可对单幅或多幅图件及其属性数据进行分析 and 指标量算。以原始图为输入,将查询和分析结果用分析产生的新图件来显示输出,输入输出在空间定位上一致。常用的空间分析操作包括:叠加分析、缓冲区分析、拓扑空间查询、集合分析(逻辑交运算、逻辑并运算、逻辑差运算)等。

④ 地图制作方面的应用

地理信息系统的发展是从地图制图开始的,因而地图制作也是地理信息系统重要的功能之一。与传统手工制图方式相比,利用 GIS 建立地图数据库,具有建库周期短、数据更新快的优势,可以灵活的设定输出全要素地图、单要素地图或跟据用户需要输出各种专题图。

⑤ 与其它技术相结合

地理信息系统作为现今重要的一种辅助信息技术,可被应用于几乎所有的领域,同时也兼容于各种专业技术。例如与遥感技术的结合,在地理信息系统中嵌入遥感图像处理功能。

此外,在地理信息系统中进行地形数据的可视化与分析也具有广泛的应用。现代地形数据采集技术提供了精确的地形图像,它通常是由卫星对地面拍摄的航片,图像尺寸和数据量都非常大,所以如何有效地对其进行压缩编码,降低数据量,以利于存储和传输成为地形图像数据处理中的一个关键问题。对于地形图像的压缩,国内外研究者通常采用基于离散余弦变换(DCT)的 JPEG 方法。但由于地形图像具有富含细节、边缘及纹理的特点,对光学图像有较好压缩效果的 JPEG 方法在压缩地形图像时,压缩比不高,压缩图像恢复效果也不尽如人意。近 10 多年来,随着小波变换在图像压缩领域中的广泛应用,基于小波变换的地形图像压缩算法越来越多的被研究和使用的。

1.2 本文的主要工作

“中国数字地震观测网络”建设工程是“十五”国家重点项目,是我国建国以来规模最大的防震减灾基础设施和基本能力建设工程。“活断层数据管理与分析”属于“中国数字地震观测网络”中“中国地震活断层探测技术系统”的分项部分,用于对活断层探测数据、地震危险性与危害性评价成果进行存储、显示、管理与分析。

本文以“活断层数据管理与分析”项目为背景,研究工作分为两个部分:一部分介绍了系统的实施过程,重点讨论了系统的架构、功能设计和典型模块的实例。另一部分

针对地理信息系统存储和传输的瓶颈——地形图像的压缩技术进行了研究,讨论了基于提升小波变换的 SPECK 算法对于地形数据的压缩性能。

论文内容安排如下:

第 1 章为绪论,简述地理信息系统的发展和研究应用现状,并介绍本文研究的问题。

第 2 章介绍地理信息系统的基础知识,包括空间数据模型和对空间数据的处理分析,这些是地理信息系统应用开发的理论基础。

第 3 章介绍“活断层地理信息系统”实施过程中系统架构和功能的设计。重点对系统中较有特色的综合查询、断层描绘两个模块的设计和实例进行说明。

第 4 章首先给出小波变换基本原理和离散小波的快速算法。在此基础上,介绍了图像嵌入式编码、零树编码和零块编码思想,重点对小波变换系数编码 SPIHT 算法和 SPECK 算法进行说明。

第 5 章详细讨论基于小波变换的地形数据的压缩方法。首先说明小波基的选取和图像压缩质量的评价方法,然后通过实验对 SPECK 算法与 SPIHT 算法进行比较,最后给出测试图像和地形图像的实验结果并对结果进行分析。

最后,对本文的主要工作进行总结,并对进一步的研究方向进行展望。

2 地理信息系统基础

地理信息系统(GIS)从诞生以来一直是信息科学中研究与发展最活跃的部分,它在空间信息的采集、建模、数据组织、可视化表示和分析等方面取得了大量的研究成果,其中空间信息的数据组织和管理是GIS研究的核心问题。空间数据类型繁多、异常复杂,组织的好坏和检索的效率是衡量一种空间数据应用系统成败的关键,对空间数据的处理及空间数据模型的研究是GIS区别于其他系统的特点之一^[4]。本章首先介绍GIS中的数据模型,然后介绍对空间数据的处理和操作。

2.1 空间数据模型

2.1.1 栅格数据模型

栅格数据模型是最简单、最直观的一种空间数据模型,它将地面划分为均匀的网格,每个网格单元由它的行列号来确定它的位置,网格的数值表示实体属性的类型或编码值。在地理信息系统中,扫描数字化数据、遥感数据和数字地面高程数据(DTM)等都属于栅格数据。由于栅格结构中的行列阵的形式很容易用于计算机的存储、操作和显示,因此,使用栅格数据模型可以方便的进行地理空间数据处理。栅格数据是二维表面地理数据的离散量化值,每一个像元大小与它所代表的实地地块大小之比就是栅格数据的比例尺。

栅格数据模型的优点是数据结构比较简单,便于面状数据的处理,可以快速获取大量的数据,数学模拟方便,多层数据叠置分析方便,进行空间分析比较容易,特别适合于FORTRAN、BASIC等高级语言进行文件和矩阵处理,这也是栅格结构易被多数地理信息系统接受的原因之一。它的缺点是数据存储量大、空间位置的精度低、难于建立网络连接关系、绘图比较粗糙。

2.1.2 矢量数据模型

矢量模型是用构成现实世界空间目标的边界来表达空间实体,可以划分为点、线、面三种类型。空间位置用采样点的空间坐标表达,空间实体的集合属性,如线的长度、区域间的距离等,均通过点的空间坐标来计算。根据空间坐标数据的组织与存储方式的不同,可以划分为拓扑数据模型和非拓扑数据模型。

拓扑模型是将实体间的某些拓扑关系和点、线、多边形直接存储在表中,没有数据冗余。通过这些表,可以方便地判断线状实体的连通关系和面状实体的邻接关系。该模

型在空间数据的组织、拓扑空间关系的表达、数据模型的拓扑一致性检验及图形恢复等方面具有较强的能力,因此被广泛应用于 GIS 软件,如 ArcInfo 等。拓扑数据模型的缺点在于它面向整个空间区域,强调的是各几何要素之间的连接关系,对具有完整、独立意义的地理实体作为个体存在的事实没有足够的重视,因此增加、删除、修改某一地理实体时,将会牵涉到一系列文件和关系数据库表格,这样不仅使程序管理工作变得复杂,而且会降低系统的执行效率。

在非拓扑数据模型中,地物用一系列坐标串表示,这种表示记录了空间实体的形状信息,但没有考虑空间实体间的邻域关系,相邻多边形的公共边被重复存储,其拓扑关系信息必须在数据文件中通过搜索所有实体的信息,并经过大量计算才能得出,因此难以有效地进行空间分析。非拓扑数据模型比较适用于制图系统。

矢量模型的优点是能完全显示和表达点、线、面的空间位置及它们之间的拓扑结构,空间位置和输出图形的精度高、数据存储量小,能方便地实行坐标变换、距离计算等。缺点是缺乏与遥感及数字地面模型(DTM)直接结合的能力,数据结构比较复杂,难以对多层数据进行叠置分析操作。

2.1.3 矢量栅格混合数据模型

从几何意义上说,空间目标通常有三种表达方式:①基本参数表达。一个集合目标可由一组固定参数表示,如长方形由长和宽两个参数描述;②元件空间填充表达。一个几何目标可以认为是由各种不同形状和大小的简单元件组合而成,例如一栋房子可以由一个长方体和一个四面体表示的房顶组成;③边界表达。一个目标由三种基本的边界元素,即点、线、面组成。

在基于矢量的 GIS 系统中,使用的是边界表达方法,这种矢量结构用一组取样点坐标表达一条弧线段或一个多边形;在基于栅格的 GIS 系统中,使用元件空间填充来表示面状地物。如果将矢量和栅格的概念统一起来,形成矢量栅格一体化模型,可以综合两者的优点。例如在对一个线状目标数字化采样时,恰好在所经过的栅格内部获得了取样点,这样的取样数据具有矢量栅格双重性质。一方面,它保留了矢量数据的全部特性,一个目标跟随了所有的位置信息并能建立拓扑关系;另一方面,它建立了路径栅格与地物的关系,即路径上的任意一点都与目标直接建立了联系。这样,每个线性目标除记录原始取样点外,还记录所通过的栅格;每个面状地物除记录它的多边形周边以外,还包括中间的面状栅格。这种数据结构就是矢量栅格一体化的数据结构。

2.1.4 面向对象的数据模型

面向对象 (Object Oriented) 的方法起源于面向对象的编程语言 (Object Oriented Programming Language)。它以对象为最基本的元素来分析问题、解决问题。客观世界是由许多具体的事物、抽象的概念、规则等组成的, 可以将任何感兴趣的事物、概念都统称为“对象”, 面向对象方法的基本出发点就是尽可能按照人们认识世界的方法和思维方式来分析和解决问题。计算机实现的对象与真实世界具有一一对应的关系, 不需作任何转换, 更易于为人们所理解、接受和掌握。所以, 面向对象方法有着广泛的应用前景。

面向对象的定义是指无论怎样复杂的事例都可以准确地由一个对象表示, 这个对象是一个包含了数据集和操作集的实体。除数据与操作的封装性以外, 面向对象数据模型还涉及到四个抽象概念: 分类 (Classification)、概括 (Generalization)、聚集 (Aggregation)、关联 (Association) 以及继承 (Inheritance) 和传播 (Propagation) 两个语义模型工具。利用面向对象的技术, 可以把 GIS 要处理的地理目标, 抽象为不同的对象, 建立各类对象的联系图, 并将各类对象的属性与操作封装在一起。一般地, 将地理空间目标抽象为结点、弧段上的内点、弧段、点状地物、线状地物、面状地物、复杂地物、无拓扑关系的面状地物、地物类、专题层、工作区、工程等一系列对象。利用面向对象的数据模型可完成三维空间数据模型、时态空间数据模型等的初步定义和实现基于 Internet 结构的分布式空间数据模型。

面向对象的技术是当今信息技术领域流行的模型和系统构造方法, 也是当前 GIS 研究领域的热点问题, 很多 GIS 软件正努力发展自己的面向对象数据模型。其中, ESRI 公司推出的 Geodatabase 模型, 朝着空间数据模型面向对象化发展迈出了坚实的一步。

Geodatabase 是 ArcInfo8 引入的一个全新的空间数据模型, 它实际上是建立在数据库管理系统之上的统一的、智能化的空间数据库^[5]。它采用面向对象技术将现实空间世界抽象为由若干对象类组成的数据模型, 每个对象类有其属性、行为和规则, 对象类之间又有一定的联系。用户可以在已有的空间数据模型之上, 建立符合应用需求的扩展模型。因此, 它不仅接近于人类对地理空间世界的认识, 而且还具有较好的客户化能力和可扩展能力。

2.2 空间数据的处理与分析

2.2.1 空间数据的输入与编辑

空间数据的来源多种多样,不同的数据源往往采用不同的输入方式。不管采用什么输入方式,通常都需要对输入数据进行编辑,也就是说空间数据的输入与编辑是不可分割的。

地理信息系统数据源种类繁多,随着应用领域的不同,会有不同的侧重点。常用的数据输入类型和方法如图 2.1 所示^[6]。

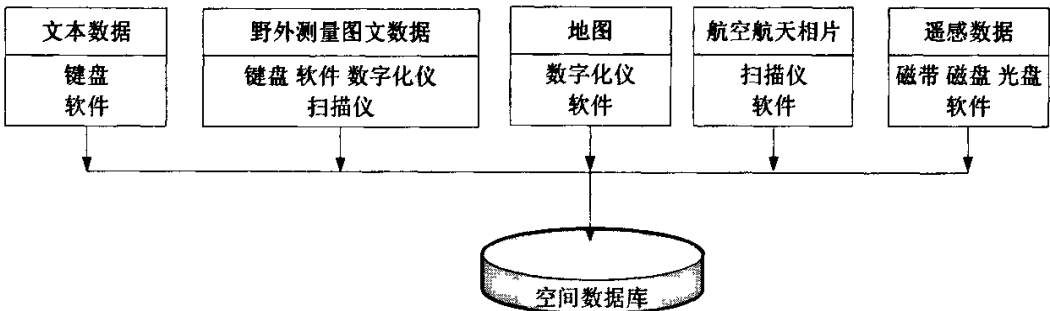


图 2.1 数据输入类型和方式

Fig. 2.1 Type and Manner of Data Input

地理信息系统中空间数据的编辑主要用来对输入的图形数据和属性数据进行检查、改错、更新及加工,以便得到净化的输入数据,并在此基础上生成拓扑关系,作为实现系统功能的基础。编辑过程是一个交互式的处理过程。用户根据所输入数据中存在的问题,向系统发出交互式命令,如删除一条线、插入一条线等,根据组成的交互任务实现对目标的编辑。

通常属性数据的编辑同数据库管理结合在一起,典型的功能包括删除数据、插入数据、添加数据、修改数据、移动数据、合并分割数据及复制数据等。图形数据的编辑分图形参数编辑及图形几何数据编辑,如图 2.2 所示,通常使用可视化的方法进行编辑修正。图形参数主要包括线型、线宽、线色、符号尺寸、符号颜色、面域图案及颜色等。图形几何数据的编辑内容较多,其中包括点的编辑、线的编辑、面的编辑。点的编辑包括点的删除、移动、追加、拷贝等;线的编辑包括线的删除、移动、追加、拷贝、分割等;面域的编辑包括面的删除、面形状的变化、面的插入等。

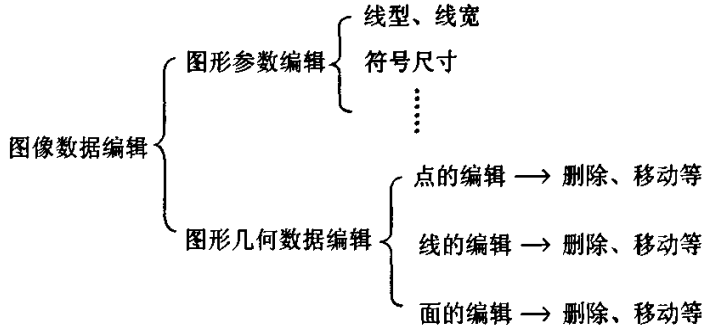


图 2.2 图形数据的编辑

Fig. 2.2 Graphical Data Edit

总之，空间数据的编辑实质是空间数据的预处理，包含着图像数据的编辑和属性数据的编辑，它是地理信息系统中不可缺少的功能之一。

2.2.2 空间数据的查询与检索

空间数据检索是地理信息系统中最基本的分析功能，通过它，用户可以进一步获取更多的派生空间数据。空间数据的查询检索实质上是按一定条件对空间目标的位置和属性信息进行查询，以形成一个新的数据子集。空间数据查询主要分为下面几种：

(1) 定位查询。用于实现图形数据和属性数据的双向查询。即将光标指向屏幕上图形的某一部分时，可以得到相应的属性数据；将光标指向属性数据中的某一项数据时，在屏幕上显示该数据项相关联的图形。定位查询是最基本的查询功能。

(2) 分层查询。地理数据抽象为点、线、面，并按照不同层次存放。分层查询可以只查询某一层存放的图形和属性数据。

(3) 区域查询。用于在屏幕上开一窗口或指定一任意多边形区域，并查询该区域内所有图形数据及相关的属性数据。此外，也可检索点、线、面在一定范围内的图形数据及相关的属性数据。

(4) 条件查询。根据数据项与运算符组成的条件表达式来查询图形数据和属性数据。这里所说的运算符包括算术运算符、关系运算符和逻辑运算符。

(5) 空间关系查询。空间关系查询又称拓扑查询。空间目标之间的拓扑关系分为两类：一类是几何元素之间的结构关系，用来描述和表达几何元素间的拓扑数据结构。如点、弧段、面之间的关联关系。另一类是空间目标之间的位置关系，用来描述所表达几

何元素之间的分布特征。如邻接关系、包含关系、重叠关系、方向关系等。空间关系的目的是检索出满足指定条件的空间目标。

2.2.3 缓冲区分析

缓冲区分析是 GIS 空间分析最基本的功能,所谓缓冲区分析是根据地理信息数据库中的点、线、面地理实体或规划目标,自动建立其周围一定宽度范围的缓冲区多边形,即邻近度(Proximity)问题。交通沿线或河流沿线的地物有其独特的重要性,公共设施(商场,邮局,银行,医院,车站,学校等)的服务半径,大型水库建设引起的搬迁,铁路、公路以及航运河道对其所穿过区域经济发展的重要性等,均是一个邻近度问题。缓冲区分析是解决邻近度问题的空间分析工具之一。

从数学的角度看,缓冲区分析的基本思想是给定一个空间对象或集合,确定它们的邻域,邻域的大小由邻域半径 R 决定。因此对象 O_i 的缓冲区定义为:

$$B_i = \{x: d(x, O_i) \leq R\} \quad (2.1)$$

式(2.1)中 B_i 表示距 O_i 的距离为 d 且小于 R 的全部点的集合。 d 一般是最小欧氏距离,也可以是其他定义的距离。

缓冲区分析常用的算法主要包括基于矢量的缓冲区分析算法和基于栅格的缓冲区分析算法两种^[7]。

(1) 基于矢量的缓冲区分析算法

该算法的基本思想是平行线法。对于点状目标,其缓冲区为以该点为圆心,以缓冲距为半径的圆;对于线状目标,在其轴线两侧生成距离为 R 的两条平行线,在轴线两端生成两个半圆弧。在所有缓冲区的所有边界线段间进行两两求交运算,根据求交结果生成所有可能的多边形。对于面状目标而言,可以看做是线状目标的特例。

(2) 基于栅格的缓冲区分析算法

该算法的基本思想是扩散法。对于点状目标,其缓冲区为以该点为圆心,以缓冲距为半径的圆;对于线状目标,开辟一块存入栅格数据的数组,将其所有成员赋值为零,按照缓冲距生成缓冲区后,将缓冲区内的每个栅格值赋为 1,最后对填充后的缓冲区边界进行提取,生成缓冲区边界。对于面状目标而言,可以看做是线状目标的特例。

考虑到矢量数据能够方便的描述拓扑关系,我们在系统中使用的是基于矢量的缓冲区分析算法。

2.2.4 空间数据的插值

随着 GIS 和计算机技术的不断发展,以及人们在研究工作中对空间高质量数据的要求,空间数据插值应用越来越广,受到人们高度重视。空间数据插值是从一组已知空间数据(可以是离散点的形式,也可以是分区数据的形式)中找到一个函数关系式,使该关系式最好地逼近已知的空间数据,并能根据该函数关系式推测出区域范围内其它任意点或任意分区的值^[8]。

空间位置上越靠近的点,越可能具有相似的特征值;而距离越远的点,其特征值相似的可能性越小,这是空间插值技术最基本的理论假设,在此基础上形成了各种各样的插值方法。一般的,以下情况会用到空间插值^[9]:①现有离散曲面的分辨率,像元大小或方向与所要求的不符。②现有连续曲面的数据模型与所需的数据模型不符。如将一个连续的曲面从不规则三角网(TIN)格式转换到栅格格式或从栅格格式转换到 TIN 格式等。③现有的数据不能完全覆盖所要求的区域范围。如将离散的采样点数据内插为连续的数据表面。

进行空间插值时,一般包括以下过程^[10]:①空间插值数据源的获取。②对数据进行分析,找出源数据的分布特性、统计特性,便于选择最恰当的插值方法。③选择插值方法并进行插值计算。④评价插值结果。可以使用多种插值方法进行计算,对各种方法的插值结果进行比较、分析并选择最佳的插值方法。

下面介绍几种常用的插值方法。

(1) 反距离加权法

反距离加权法是以插值点与样本点之间的距离为权重进行插值的方法。插值点距离样本点越近,被赋予的权重越大,即权重贡献与距离成反比。反距离加权法的数学表述如式(2.2)所示。

$$\tilde{Z} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(D_i)^p} Z_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(D_i)^p}} \quad (2.2)$$

其中 \tilde{Z} 是插值点估计值, $Z_i, i=1 \cdots n$ 是实测样本值, n 为参与计算的实测样本数, D_i 为插值点与第 i 个站点间的距离, p 是距离的幂指数,它显著影响内插的结果,它的选择标准是最小平均绝对误差。当取 $p=2$ 时,称作反距离平方加权法。

(2) 样条函数

样条函数是一个分段函数,在进行一次拟合是只对少数点拟合,同时保证曲线段连接处连续。这就意味着样条函数可以修改少数数据点配准而不必重新计算整条曲线。样条函数的种类很多,最常用的有 B 样条、张力样条和薄盘样条等。使用样条函数插值能够得到在视觉上令人满意的结果。但在实际应用中这种方法存在着缺点:首先,样条内插的误差不能直接估算;另外,在实践中要解决如何定义样条块以及如何在三维空间中将这些“块”拼成复杂曲面,又不引入原始曲面中所没有的异常现象等问题。

(3) 克里格(Kriging)插值法

克里格法由南非地质学家克里格(D.G.Krige)于 1951 年提出,1962 年法国学者马特隆(G.Matheron)引入区域化变量概念,进一步推广和完善了克里格法^[1]。

① 区域化变量

当一个变量呈空间分布时,就称之为区域化变量。这种变量反映了空间某种属性的分布特征。矿产、地质、海洋、土壤、气象、水文、生态、温度、浓度等领域都具有某种空间属性。区域化变量具有双重性,在观测前区域化变量 $Z(X)$ 是一个随机场,观测后是一个随机场的实现(确定的空间点函数值)。

区域化变量具有两个重要的特征。一是区域化变量 $Z(X)$ 是一个随机函数,它具有局部的、随机的、异向的特征;其次是区域化变量具有一般的或平均的结构性质,即变量在点 X 与偏离空间距离为 h 的点 $X+h$ 处的随机量 $Z(X)$ 与 $Z(X+h)$ 具有某种程度的自相关,而且这种自相关性依赖于两点间的距离 h 与变量特征。在某种意义上说这就是区域化变量的结构性特征。

② 变异函数

把区域化变量 $Z(X)$ 在 x 和 $x+h$ (h 为与 x 具有相同维数的距离向量)两点处的值之差的方差之半定义为 $Z(X)$ 在 x 方向上的变异函数,记为 $\gamma(h)$,即

$$\begin{aligned} r(x, h) &= \frac{1}{2} \text{Var}[Z(x) - Z(x+h)] \\ &= \frac{1}{2} E[Z(x) - Z(x+h)]^2 - \frac{1}{2} \{E[Z(x)] - E[Z(x+h)]\}^2 \end{aligned} \quad (2.3)$$

假设 $Z(X)$ 二阶平稳,则对任意的 h 有, $E[Z(x+h)] = E[Z(x)]$ 。因此上式可以改写为:

$$r(x, h) = \frac{1}{2} E[Z(x) - Z(x+h)]^2 \quad (2.4)$$

从上式可知,变异函数依赖于两个自变量 x 和 h ,当变异函数 $r(x, h)$ 仅仅依赖于距离 h 而与位置 x 无关时,可改写成 $r(h)$,即

$$r(h) = \frac{1}{2} E[Z(x) - Z(x+h)]^2 \quad (2.5)$$

设 $Z(X)$ 是系统某属性 Z 在空间位置 x 处的值, $Z(X)$ 为一区域化随机变量, 并满足二阶平稳假设, h 为两样本点空间分隔距离, $Z(x_i)$ 和 $Z(x_i+h)$ 分别是区域化变量在空间位置 x_i 和 x_i+h 处的实测值 [$i=1, 2, \dots, N(h)$], 那么根据上式的定义, 变异函数 $\gamma(h)$ 的离散公式为:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2 \quad (2.6)$$

变异函数揭示了在整个尺度上的空间变异格局。

③ 克里格插值算法

假设 x 是所研究区域内任一点, $Z(X)$ 是该点的测量值, 在所研究的区域内总共有 n 个实测点, 即 x_1, x_2, \dots, x_n , 那么, 对于任意待估点或待估块段 V 的实测值 $Z_V(x)$, 其估计值 $Z_V^*(x)$ 是通过该待估点或待估块段影响范围内的 n 个有效样本值 $Z_V^*(x_i) (i=1, 2, \dots, n)$ 的线性组合来表示, 即:

$$Z_V^*(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (2.7)$$

其中, λ_i 为权重系数, 是各已知样本 $Z(x_i)$ 在估计 $Z_V^*(x)$ 时影响大小的系数, 而估计 $Z_V^*(x)$ 的好坏主要取决于怎样计算或选择权重系数 λ_i 。克里格算法的原则, 就是在保证这个估计量是无偏的, 且估计方差最小的前提下, 求出 n 个权重系数。

在求取权重系数时要满足的两个前提可如下表述:

● 无偏性:

要使 $Z_V^*(x)$ 成为 $Z_V(x)$ 的无偏估计量, 即 $E[Z_V^*] = E[Z_V]$, 当 $E[Z_V^*] = m$ 时, 也就是当

$$E\left[\sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)\right] = \sum_{i=1}^n \lambda_i E[Z(x_i)] = m \text{ 时, 则有无偏性条件: } \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

● 最优性:

在满足无偏性条件下, 估计方差 δ_E^2 为:

$$\delta_E^2 = E[Z_V - Z_V^*]^2 = E\left[Z_V - \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)\right]^2 \quad (2.8)$$

由方差估计可知,

$$\delta_E^2 = \bar{c}(V, V) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \bar{c}(v_i, v_j) - 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i \bar{c}(v_i, V) \quad (2.9)$$

为使估计方差 δ_E^2 最小, 根据拉格朗日乘数原理, 令估计方差的公式为:

$$F = \delta_E^2 - 2\mu \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i - 1 \right) \quad (2.10)$$

式(2.10)对 $\lambda_i (i=1, 2, \dots, n)$ 和 μ 求偏导数, 并令其为 0, 得克里格方程组:

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial \lambda_i} = 2 \sum_{j=1}^n \lambda_j \bar{c}(v_i, v_j) - 2 \bar{c}(v_i, V) - 2\mu = 0 \\ \frac{\partial F}{\partial \mu} = -2 \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i - 1 \right) = 0 \end{cases} \quad (2.11)$$

整理后得:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j \bar{c}(v_i, v_j) - \mu = \bar{c}(v_i, V) \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \end{cases} \quad (2.12)$$

解上述 $n+1$ 阶线性方程组, 求出权重系数 λ_i 和拉格朗日乘数 μ , 并代入公式, 经过计算可得克里格估计方差 δ_E^2 , 即:

$$\delta_E^2 = \bar{c}(V, V) - \sum_{i=1}^n \lambda_i \bar{c}(v_i, V) + \mu \quad (2.13)$$

以上三个公式就是用协方差函数表示的克里格方程组和克里格方差。

克里格算法的特点为: 它在数据网格化的过程中考虑了描述对象的空间相关性质, 即距离较近的采样点比距离远的采样点更相似, 且相似的程度是通过点对的平均方差度量。点对差异的方差大小只与采样点间的距离有关, 而与它们的绝对位置无关。同时克里格算法能给出估计误差 (即克里格方差), 使估值的可靠程度一目了然。

总结上面的插值方法可以看出, 反距离加权法只考虑空间距离相关, 计算简单; 克里格法利用变异函数来度量两点间的空间相关性, 权重随样点的空间位置不同而变化。当要素空间分布呈各向异性时, 克里格法优于反距离加权方法。此外, 克里格法能给出

估计误差(即克里格方差),使估计的可靠程度一目了然。综上所述,在活断层地理信息系统中我们使用了反距离加权法和克里格法进行空间数据的插值。

2.3 本章小结

本章对地理信息系统的空间数据模型和空间数据处理与分析的常用方法进行了介绍。这些知识既是地理信息系统的原理,也为系统的功能设计提供理论上的指导。

3 活断层地理信息系统的结构和设计

本章首先介绍组件式地理信息系统开发的基本知识, 然后讨论“活断层地理信息系统”的实施过程, 包括系统体系架构和系统功能设计, 最后给出系统两个典型模块实例。

3.1 地理信息系统开发技术

3.1.1 组件技术

组件对象模型(Component Object Model, COM)是由 Micorsoft 公司提出的组件标准, 是一种以组件为发布单元的对象模型^[12]。COM 组件规范是建立在二进制级的基础之上, 所以不依赖于任何特定的语言环境。COM 组件最重要的方面之一是它独立于语言, 可用任何支持 COM 组件标准的语言编写, 并能被另一种语言无缝调用。组件的基本目标就是通过组装现成的组件来创建应用程序, 这种应用程序被称为组件软件。

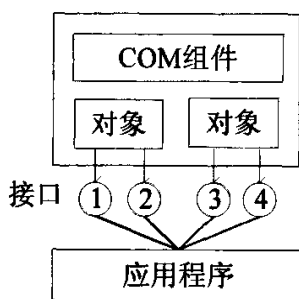


图 3.1 COM 组件运行机理

Fig. 3.1 Mechanism of COM

组件对象模型中, 基本的概念有组件、对象、接口, 三者的关系如图 3.1 所示。COM 组件是对一组对象和接口的封装。一个组件可以包含多个 COM 对象, 并且每个 COM 对象可以实现多个接口。在物理上, 一个 COM 组件是一个动态链接库(Dynamic Linking Library, DLL)文件, 或者是一个可执行文件(.EXE)。当另外的组件或应用程序(组件的客户程序)调用组件的功能时, 首先创建一个 COM 对象或者通过其他途径获得 COM 对象, 然后通过该对象所实现的 COM 接口调用它所提供的服务。

在 COM 规范中, 并没有对 COM 对象进行严格的定义, 但 COM 本身是一种面向对象的组件模型, COM 对象必然是某一个类(Class)的实例。类是一组相关数据和功能的组合。但是类不能直接应用到应用程序中, 必须通过类的实例(即对象)来表达和使用类中定义的方法和属性。COM 组件提供给客户程序的是以对象形式封装起来的实体。

客户程序并不关心组件模块的名称和位置(即位置透明性),但必须知道自己在与哪个 COM 对象进行交互。

接口是一组语义相关的方法(或函数)的集合。COM 组件规范的核心内容是关于接口的定义。接口具有唯一的标识符 GUID,它是一个 128 位的全局唯一标识符,可以在概率意义上保证接口在全球范围内的唯一性。接口的最大的特点是接口的定义和接口的实现是分开的。接口的定义一般要使用专用的接口定义语言 (Interface Definition Language, IDL),而接口中的各个函数功能的实现要在对象(其实是对象的类)中完成。一个对象实现了一个接口,是指它实现了该接口的所有函数。这一特性保证了接口的相对独立性。单个对象可同时支持多个接口,对于所使用的接口只能增加不能删除,以保证组件升级后客户程序的可用性。对组件的升级有两种方法:一是增加新的接口,在新的接口中实现新增加的功能;二是只改动对象(类)中具体功能的实现,而不改动其实现的接口。这两种情况下,组件中原有的接口都没有变化,所以能与依赖于该组件对象的应用程序保持完全的二进制兼容,客户程序无需进行任何改动,仍然可以正常运行。

COM 分为进程内组件和进程外组件。进程内组件是以动态链接库方式实现的。当客户程序调用组件功能时,首先要装载动态链接库,此时客户程序和组件运行在同一个进程空间中。进程外组件以可执行文件(ME)形式实现,这种组件在调用时有其自己的进程空间。

3.1.2 组件式地理信息系统

组件式地理信息系统(ComGIS)是指基于组件对象平台,以一组具有标准通信接口的、允许跨语言应用的组件提供主要功能的地理信息系统,这些组件称为 GIS 组件^[13]。组件式地理信息系统在开发设计时完全采用面向对象的编程技术和组件式软件开发技术。它的基本思想是把系统的各大功能模块划分为若干个 GIS 组件,每个组件完成不同的功能。各个 GIS 组件之间,以及 GIS 组件与其它非 GIS 组件之间,可以方便地通过可视化的软件开发工具集成起来,形成最终的 GIS 基础平台以及应用系统。组件式地理信息系统具有小巧灵活、集成高效、开发便捷、功能强大等特点^[14]。GIS 组件分为三个层次:

(1) 基础组件:处于平台最底层,是整个系统的基础,主要面向空间数据管理,提供基本的交互过程,以灵活的方式与数据系统连接。

(2) 高级通用组件: 由基础组件构造而成。它们面向通用功能, 简化用户开发过程, 如显示工具组件、选择工具组件、编辑工具组件、属性浏览器组件等。它们之间的协同控制消息都被封装起来。这些组件经过封装后, 使二次开发更为简单。

(3) 行业性组件: 抽象出行业应用的特定算法, 固化到组件中, 进一步加速开发过程。组件式地理信息系统的设计开发是组件式软件设计开发的一种, 它具有组件式软件开发的很多特点^[13]:

① 编程语言和开发环境的独立性: 组件式地理信息系统保留和发展了组件对象模型这一特性。任何支持 COM 标准的编程平台均可作为 GIS 组件的容器, 在通用的软件开发平台上, 调用现有的 GIS 组件构建起自己的应用系统。开发者可以根据应用系统的侧重点、应用范围和对编程平台的喜好, 采用 VB, VC, FOXPRO 等语言。

② 组件位置的透明性: 应用程序所用的 GIS 组件之间可以通过 COM 定义的接口实现互访, 并且可以实现跨计算机组件间的相互通信。应用程序不需要考虑组件所在位置。

③ 组件进程透明性: 开发者可根据需要选择进程内组件或进程外组件。

④ 可扩充性: 组件式地理信息系统将 GIS 的基本功能按类型进行划分, 并交于不同的组件管理, 各个组件之间相对独立, 并能按照 COM 组件定义的接口有机地整合。这种模式的管理, 为各种非 GIS 组件与 GIS 组件的无缝集成提供了技术实现的手段, 从而弥补了 GIS 在专业功能方面的缺陷; 反之, GIS 组件也可以直接嵌入到其它非 GIS 系统中去, 从而在非 GIS 系统中实现空间数据分析管理功能。

⑤ 可扩展性: 可以基于 GIS 组件库中的底层组件开发出功能更强大的新组件, 这为组件式地理信息系统平台的功能扩充和快速升级提供了捷径。

ArcObjects 是由 ESRI 公司开发的一套完全符合 COM 标准的大型软件构架。ArcObjects 的推出是 GIS 技术融入 IT 主流技术的标志。ArcObjects 就其本身而言, 不是一个独立的商业软件, 它包含在 ArcGIS 产品中。要使用 ArcObjects 必须首先获得 ArcGIS 软件。基于 ArcObjects 的二次开发软件也必须要有 ArcGIS 的授权许可才能运行。

ArcObjects 是一个集成的软件组件库, 它的组件是以完整有序的组件对象集合形式发布的。ArcObjects 按功能分类可划分成 10 个子系统^[13]: ArcCatalog、ArcMap、Framework、Display、Editor、Geodatabase、Geometry、Output、Raster、Spatial Reference。

3.1.3 基于 ArcObjects 的地理信息系统的开发

地理信息系统的开发一般有两种方案: 一种是利用通用的编程开发工具从底层做起, 开发出整个系统。这种方案开发难度大, 对编程技巧要求高。另一种方案是基于已

有的地理信息系统平台进行二次开发。这种方法避免了进行底层开发,能够利用已有的组件快速建立起应用系统。目前,地理信息系统一般都采用这种方式进行开发。ArcObjects 是 ESRI 公司提供的一套基于 COM 技术的组件库,在调用 ArcObjects 开发独立的 GIS 应用系统时,需要考虑如下几个方面的问题。

① 开发语言的选择

ArcObjects 符合 COM 组件规范,与应用程序能够达到二进制水平的兼容。凡是能够支持 COM 协议,即能够在开发环境中调用 COM 组件的语言都能够用于 ArcObjects 的开发。常用的语言环境有 VB, VC 和 Delphi,其中最常使用的是 VB。VC 和 Delphi 也是很好的语言,很多方面都强于 VB。但对 ArcObjects 的开发来说,由于 VB 与 VBA 的语法基本上相同,许多功能代码在嵌入到独立开发的应用程序之前,可以先在 VBA 环境下调试,编制好的代码一般只要少许改动就可以移植到 VB 环境下,这给开发者带来很多便利。更为重要的是 ArcObjects 的开发帮助主要是以 VB 语言来讲解的,提供的实例代码绝大部分都是 VB 编写,因此选择 VB 进行二次开发是相当方便的。

② 界面布局

地图一般具有幅面大、图元小的特点,而地图的无级放大又是地图显示的基本要求。程序界面中尽可能多的面积要用来显示地图,鹰眼窗口也可以作为主显示区的一个补充。通常在分析处理时需要多幅地图的叠加和复和,这种情况下图层控制是必不可少的。可以借鉴 ArcGIS 软件,采用树形列表实现。这种方式非常简洁,占用空间小,而由它展示出来的地图与各个图层之间的关系非常明确,使人一目了然。

③ 应用系统的结构设计

系统的结构设计对系统的开发、调试和维护具有非常大的影响,目前普遍采用模块化的系统结构。整个应用系统具有金字塔形的层次结构。其中,有的模块独立性较强,而有的模块则与其他模块存在着错综复杂的逻辑关系。在系统的结构设计中一定要综合考虑各种因素,根据所应用的专业方向,以功能为中心,进行模块分割,力争使各个功能模块之间的相关度最小。

3.2 活断层地理信息系统的结构

3.2.1 系统体系架构

系统体系架构如图 3.2 所示,在局域网内采用客户机/服务器(C/S)模式架构,在这种模式下,服务器只集中管理数据,而计算任务分散在客户机上,客户机和服务器之间通过网络协议来进行通讯。GIS 的空间数据信息管理部分放在服务器端,GIS 应用程序

在各个客户端运行，真正达到信息共享。客户机向服务器发出数据请求，服务器将数据传送给客户机进行计算，计算完毕，计算结果可返回给服务器。这种模式充分利用了客户机的性能，使计算能力大大提高。另外，由于客户机和服务器之间的通讯是通过网络协议进行的，是一种逻辑的联系，因此物理上在客户机和服务器两端是易于扩充的。

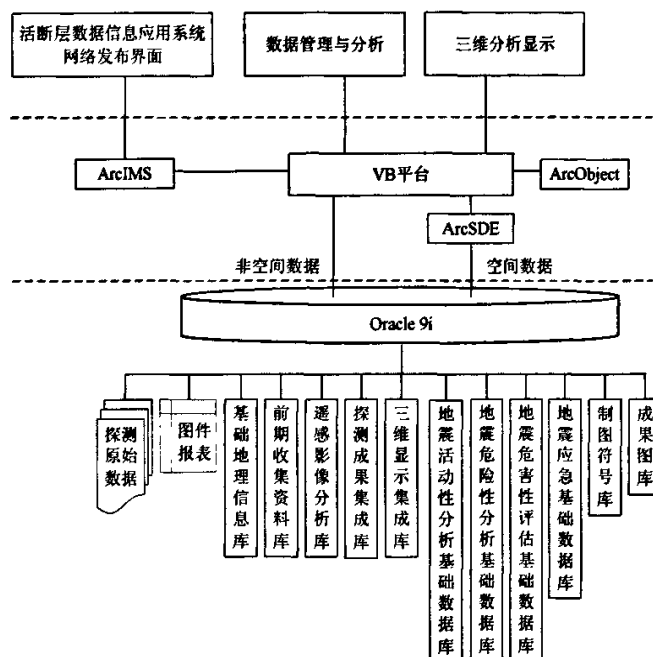


图 3.2 系统体系架构

Fig. 3.2 System Architecture

系统部署的硬件环境如图 3.3 所示，由于采用了 C/S 模式，客户端数目可根据需要随时增减，满足用户在不同情况对系统伸缩性的需求。

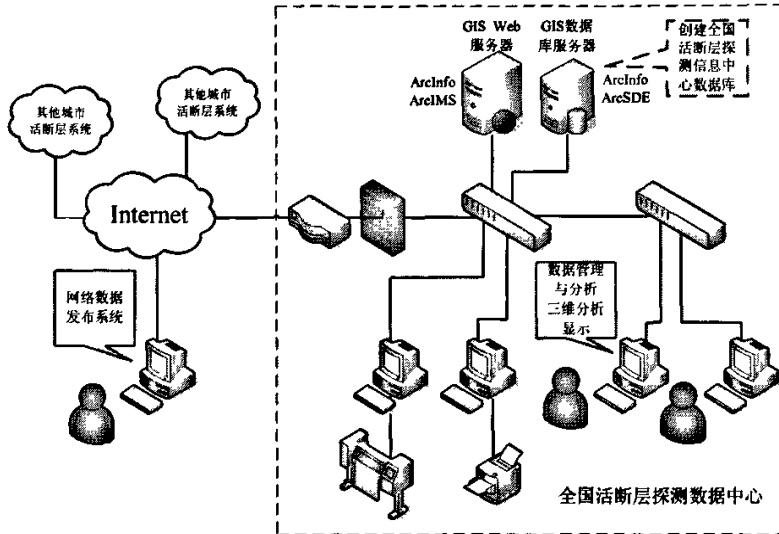


图 3.3 系统部署硬件环境

Fig. 3.3 System runnable Enviroment

系统的功能结构如图 3.4 所示。将系统分为若干个功能模块，每个模块做成独立的可执行文件(.EXE)。在主界面中通过 Windows API 中 Shell 函数对这些可执行文件进行调用。一般情况下，只有一个模块在运行，因而系统资源占用较小，且便于维护。另外，将功能模块化的好处还体现在对于地震活动性分析、地震危险性分析、地震危害性分析等专业分析系统提供类似的调用的方式，方便了系统功能的扩展。

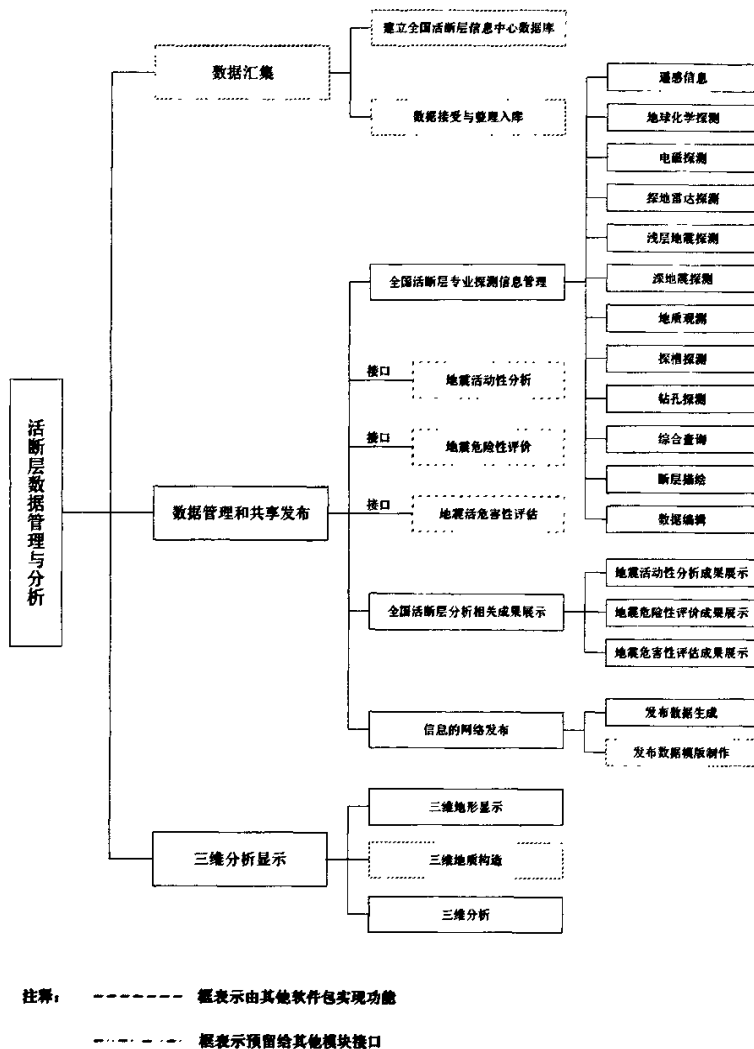


图 3.4 系统功能结构
 Fig. 3.4 System Function List

3.2.2 系统技术特点

我们从用户需求出发，开发专业的活断层地理信息系统，在以下方面体现了系统的技术特点：

- 系统选用了 VB 调用 ArcObjects 组件库建立独立应用程序的集成二次开发方式。ArcGIS 是目前世界上技术最先进的大型地理信息平台，系统在 ArcGIS 的最新版本 ArcGIS9 平台上进行开发，确保了系统技术上的先进性。

- 系统使用大型商用数据库 Oracle9i, 存储探测得到的全国各大城市的探测空间数据与结果图片、文档等非空间数据, 能够对海量数据提供方便而灵活的备份和恢复, 全面保障了数据的安全。
- 系统的各模块均为图形界面, 界面友好。采用了多窗口视图浏览技术, 在主显示区之外, 又开辟了鹰眼窗口, 较好的表达地图整体与局部的关系。
- 系统操作方便易用。大部分功能操作都能通过点击鼠标完成, 系统中无复杂的文字输入或命令输入。对于复杂的操作, 有相应的对话框引导用户操作。在执行时间较长的功能中, 给用户提示等待信息。系统中各个模块还提供了查看使用说明的功能, 用户在使用过程中可以随时查看程序的具体操作方法。
- 系统具有错误控制机制, 屏蔽了用户操作和用户输入中有可能产生的错误, 最大限度的保证了系统的正常执行。
- 系统具有良好的可扩充性, 能够对各大城市分期、分批开展的活断层探测工作进行统一的管理。
- 系统可对用户可进行授权管理, 对用户操作进行日志管理, 从而确保了系统的可靠性。
- 系统的兼容性。提供了地震活动性分析、地震危险性分析、地震危害性分析接口, 并可保证同其他各类软件同时运行时不发生冲突。

3.3 活断层地理信息系统的功能设计

3.3.1 系统功能设计

活断层地理信息系统管理的是全国 20 个城市的活断层探测、分析数据, 这就要求系统既要有宏观的对全国探测工作的总体统计查询功能, 又能够进入某一个城市具体查看一个城市的工作情况。为此, 我们把系统分为全国界面和城市界面两部分, 这两部分相对的功能侧重有所不同: 全国界面用于对探测数据的统计管理, 城市界面用于对具体城市的查询分析。对于城市界面, 我们将每个城市需要的功能进行抽象, 使得进入不同城市界面风格保持统一, 初始化时只载入相应的数据。同时我们设计了城市特色工作查看功能, 用于对某城市特有的探测工作进行查询。这样的设计保证了系统的一致性, 并降低了系统开发的工作量。

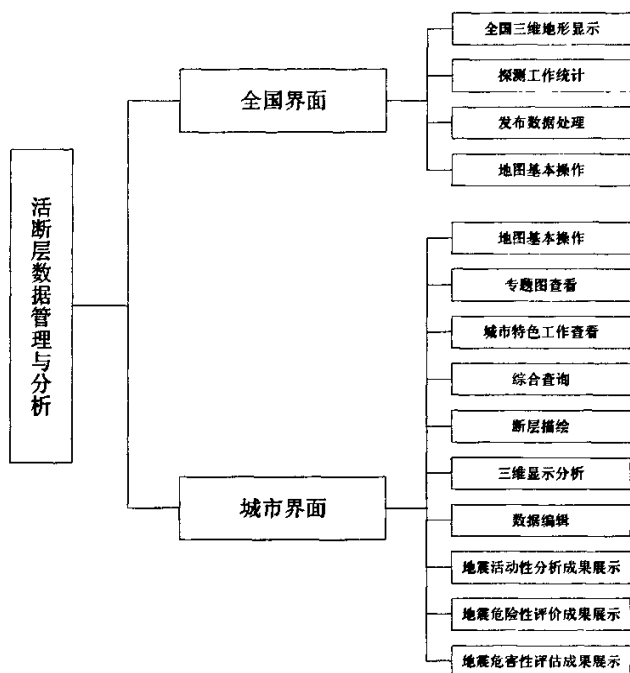


图 3.5 系统功能模块划分

Fig. 3.5 System Function Modules

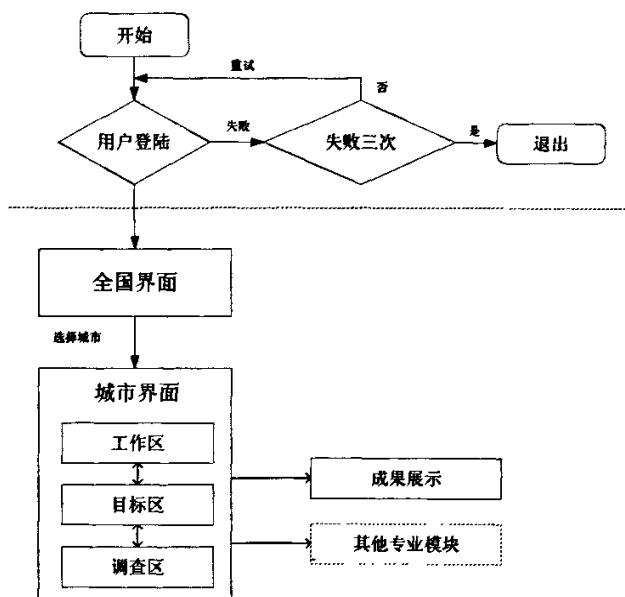


图 3.6 系统运行流程

Fig. 3.6 System Flow Chart

3.3.2 系统典型功能模块介绍

(1) 综合查询

目前已有的活断层地理信息系统的查询功能大多是对各种探测方法进行单一的查询,无法明显地体现出查询结果中各类探测方法的相互关系及其在断层探测工作中的价值和作用。为此,我们采用空间拓扑关联和属性关联相结合的方式,以用户所关心的活断层为中心,对探测数据进行综合查询,并能够对查询结果进行分析比较,丰富了查询的内容,提高了工作效率。该模块的功能结构如图 3.7 所示。

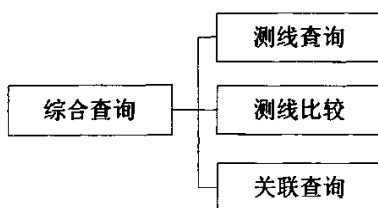


图 3.7 综合查询模块功能结构

Fig. 3.7 Function List of Query Module

● 测线查询

测线查询功能首先通过断层位置或断层名称查询到某条断层，然后以该断层为中心，可以查询针对其所开展的所有探测方法，并能够将结果按照地球化学探测、地球物理探测和地质调查填图三项进行归类，方便统计与查看。查询结果如图 3.8 所示。



图 3.8 测线查询结果

Fig. 3.8 Results of SurveyLine Query

● 测线比较

测线比较功能展示了同类专业探测方法之间的联系与区别。在操作的过程中，用户可以自由的选择需要比较的探测方法及其相关属性。在比较时可以根据某一属性值对列表中的要素进行排序，并将排序后的报表打印出来，如图 3.9 所示。

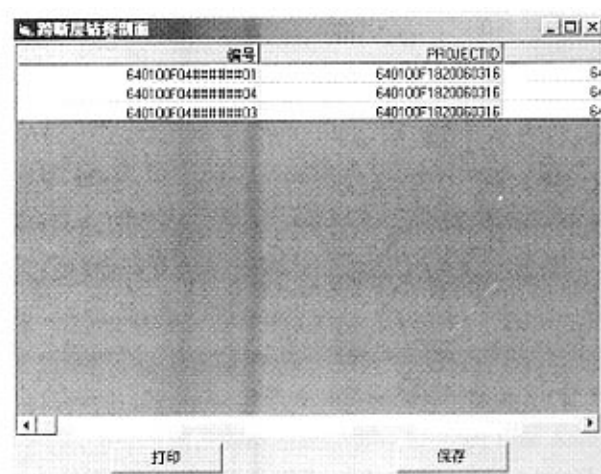


图 3.9 测线比较结果

Fig. 3.9 Result of SurveyLine Comparision

● 关联查询

关联查询功能可以通过空间拓扑关系或属性关系查看某一专业探测方法的要素和其他探测方法要素之间的区别与联系，其相关属性也会同时显示出来，如图 3.10 所示。



图 3.10 关联查询向导

Fig. 3.10 Guide of Related Query

(2) 断层描绘

断层描绘模块旨在利用空间分析中的直线距离分析和密度分析,对活断层探测过程中所获得的地球化学探测异常区段数据、地球物理勘探断点数据以及地震点数据进行综合分析,预测断层可能的展布范围,并能够进一步绘制断层位置。该模块的功能结构如图3.11所示。

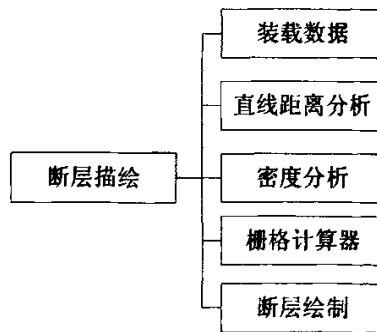


图 3.11 断层描绘功能结构

Fig. 3.11 Function List of Fault Discribe Module

● 直线距离分析^[6]

直线距离功能计算了每个栅格与最近源之间的欧氏距离,并按距离远近分级。考虑到有断层的地方常常会出现地球化学探测异常区段,根据地球化学探测异常区段的位置,可以推测断层的位置,即距离探测异常区段越近,断层存在的可能性就越大。这样,异常区段和断层通过距离建立起了联系。同样的分析可以应用于探测断点数据中(如浅层地震探测断点)。

直线距离模型可以很好的表述上述关系,对各类探测得到的探测数据可以使用直线距离进行分析。以银川数据为例,对气汞异常区段进行分析,分析结果如图3.12所示。图中深色的区域表明距离气汞异常区段近的位置,即断层存在的可能性大。

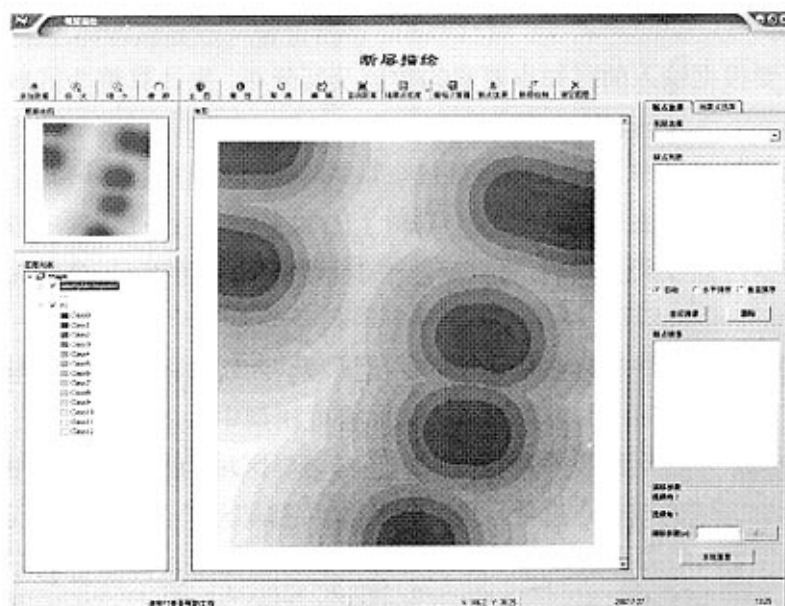


图 3.12 气汞异常区段直线距离分析结果

Fig. 3.12 Result of Atmosphere Hg by Straight Line Analysis

分析得到的结果为栅格数据，因此很方便进行叠加分析。调出系统提供的栅格计算器(如图3.13所示)，对各种探测数据分析结果进行加权叠加，可以分析出他们对断层位置的影响大小。



图 3.13 栅格计算器

Fig. 3.13 Raster Calculator

● 密度分析^[16]

密度分析主要根据输入的已知点要素的数值及其分布,来计算整个区域的数据分布状况,从而产生一个连续的表面。它主要是基于点数据生成的,以每个待计算格网点为中心,进行环形区域的搜寻,进而来计算每个格网点的密度值。利用密度模型可以通过密度表面显示点的聚集情形。密度模型从本质上讲,是一个通过离散采样点进行表面内插的过程,根据内插原理的不同,可以分为核函数密度模型(Kernel)和简单密度模型(Simple)。

我们对地震点数据进行密度分析,以期找出地震同断层之间的关系。考虑到地震发生具有随机性,我们使用简单密度模型。在简单密度模型中,以栅格数据的单元格为中心,按照一定的搜索半径对地震点进行搜索,落在搜寻区域内的地震点有相同的权重。首先计算落入搜索区域的地震点总数,然后用其除以搜索区域的大小,从而得到栅格单元的密度值。如图3.14所示为银川地区地震数据密度分析结果,深颜色表示密度值大的区域。

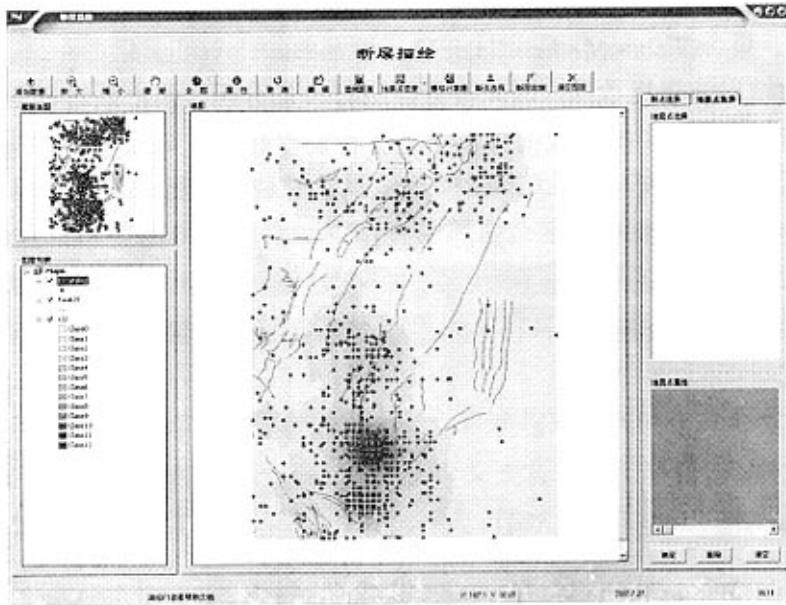


图 3.14 全幅面地震点密度分析结果

Fig. 3.14 Result of Full extend seismic point by Density Analysis

在选择待分析的地震点方面,系统为用户提供两种方式:城市工作区范围的所有地震点分析和鼠标框选区域分析。其中对框选区域地震点,用户可通过查看地震点属性,

剔除对分析造成影响的地震点，分析结果如图3.15所示。

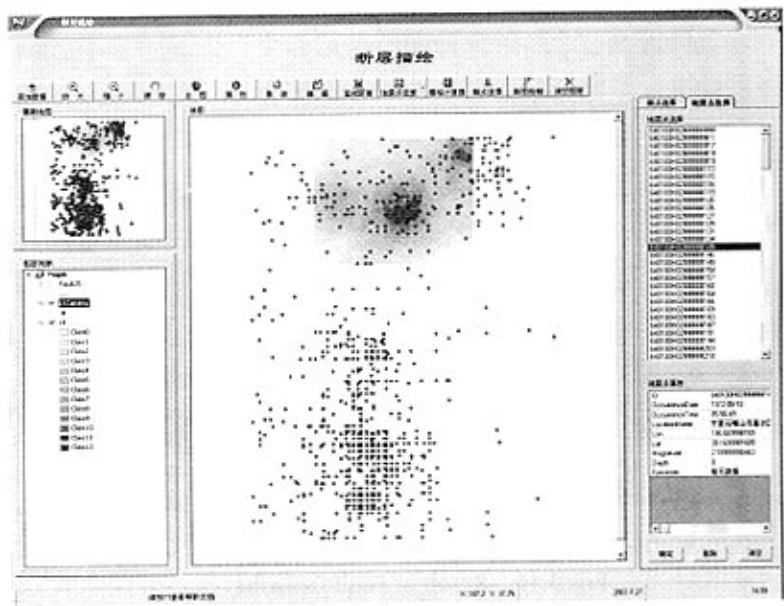


图 3.15 部分地震点密度分析结果

Fig. 3.15 Result of selected seismic point by Density Analysis

● 断层绘制

通过上面的分析，已经可以分析判断出断层的大致位置。系统还提供了断层绘制功能，即通过对探测断点的选择，绘制出线属性的断层要素。绘制过程中用户可方便的查看断点的属性，并根据断点的视倾向和视倾角，通过输入偏移参数，达到调整断点位置的目的，实现对断层的精细绘制(如图3.16所示)。

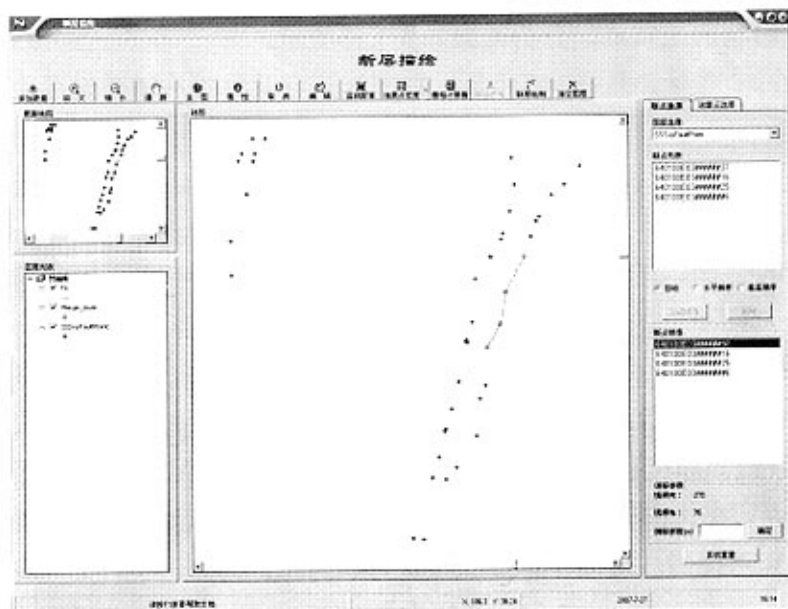


图 3.16 断层绘制结果

Fig. 3.16 Result of Fault Describe

3.4 本章小结

本章介绍组件式地理信息系统开发的基本知识，然后详细讨论了“活断层地理信息系统”的实施过程，包括系统体系架构、功能设计等方面，最后给出了系统两个有特色的功能模块的实例。

4 小波变换与图像压缩基础

小波分析是近年来国际上一个非常热门的研究领域,它是由傅立叶(Fourier)分析发展起来的一种新的数学方法。小波变换给许多相关领域带来了崭新的思想,提供了有力的工具。小波变换作为能随频率的变化自动调整分析窗大小的分析工具,在信号处理、计算机视觉、图像处理、语音分析与合成等众多的领域得到应用。本章首先介绍连续小波变换的原理,然后给出了两种离散小波变换的快速算法——Mallat 算法和提升方案(Lifting Scheme)原理。最后,详细介绍了变换后系数量化算法——SPIHT(Set Partitioning In Hierarchical Tree)和 SPECK (Set Partitioned Embedded Block)算法的编解码方法。

4.1 小波变换基础

4.1.1 连续小波变换

给定一个基本函数 $\psi(t)$, 做如下定义:

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (4.1)$$

式中 a, b 均为常数, 且 $a > 0$ 。若 a, b 不断地变化, 我们可得到一族函数 $\psi_{a,b}(t)$ 。给定平方可积的信号 $f(t)$, 则 $f(t)$ 的小波变换(Wavelet Transform, WT)定义为:

$$\begin{aligned} WT_f(a,b) &= \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi_{a,b}(t) dt = \langle f(t), \psi_{a,b}(t) \rangle \end{aligned} \quad (4.2)$$

式中 a, b 和 t 均是连续变量, 因此该式称为连续小波变换。信号 $f(t)$ 的小波变换 $WT_{f(a,b)}$ 是 a 和 b 的函数, b 是时移, a 是尺度因子。时移 b 的作用是确定对 $f(t)$ 分析的时间位置, 即时间中心。尺度因子 a 的作用是把基本小波 $\psi(t)$ 作伸缩。 a 和 b 联合起来确定了对 $f(t)$ 分析的中心位置及分析的时间宽度。

要使小波逆变换存在, $\psi(t)$ 要满足允许性条件:

$$C_\psi = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\hat{\psi}(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty \quad (4.3)$$

式中 $\hat{\psi}(\omega)$ 是 $\psi(t)$ 的傅里叶变换, 这时逆变换为:

$$f(t) = C_\psi^{-1} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} WT_f(a,b) \psi_{a,b}(t) \frac{da db}{|a|^2} \quad (4.4)$$

二维情况下(如图像数据),通常用二元函数 $f(x,y) \in L^2(R^2)$ 表示, $f(x,y)$ 的二维连续小波变换定义为:

$$WT_f(a,b_1,b_2) = a^{-1} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x,y) \psi\left(\frac{x-b_1}{a}, \frac{y-b_2}{a}\right) dx dy \quad a \neq 0 \quad (4.5)$$

式中 $\psi(x,y)$ 是二维小波函数,其逆变换为:

$$f(x,y) = C_{\psi}^{-1} \int_0^{\infty} \frac{da}{a^3} \iint_{R^2} WT_f(a,b_1,b_2) \psi\left(\frac{x-b_1}{a}, \frac{y-b_2}{a}\right) db_1 db_2 \quad (4.6)$$

4.1.2 离散小波变换

在实际应用中,计算小波变换需要进行数值积分,因此连续小波变换必须加以离散化。这一离散化是针对连续的尺度因子 a 和连续平移因子 b 的,而不是针对时间变量 t 的。在实际应用中,人们主要对二进抽样感兴趣,二进抽样是指利用形如 $a=2^j, b=k/2^j, j,k \in Z$ 的离散参数对信号进行分析和重构,这时尺度参数 a 相当于用 2 的整数幂将频率轴划分为不同频带。类似连续小波变换中的 $\psi_{a,b}(t)$, 定义:

$$\psi_{j,k}(t) = 2^{-j/2} \psi(2^{-j}t - k) \quad (4.7)$$

以上离散化并没有针对时间变量 t , 因而 t 仍然是连续的,所以这时离散小波变换相当于小波变换 $WT_f(j,k)$ 在 $a=2^j, b=2^j k$ 处的离散值:

$$WT_f(j,k) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi_{j,k}^*(t) dt \quad (4.8)$$

在实际应用中,信号大多是经采样得到的一系列离散值,因此小波变换的对象通常是离散的数据序列。这种对离散时间信号进行的小波变换称为离散时间小波变换,通过尺度函数和小波函数对输入序列作数字滤波来实现。

4.2 离散小波变换的快速算法

4.2.1 Mallat 算法

Meyer 于 1986 年创造性地构造出具有一定衰减性的光滑函数,其二进制伸缩和平移构成 $L^2(R)$ 的规范正交基,才使得小波得到真正的发展。1988 年 S.Mallat 在构造正交小波基时提出了多分辨率分析 (Multi-Resolution Analysis, MRA) [18] 的概念,从空间的概念上形象地说明了小波的多分辨率特性,将此前的所有正交小波基的构造法统一起来,并给出了正交小波的构造方法以及正交小波变换的快速算法,即 Mallat 算法。Mallat 算

法在小波分析中的地位相当于快速傅立叶变换算法在经典傅立叶分析中的地位，从此小波分析从理论研究走向实际的应用^[19]。

小波变换就是将任意平方可积或能量有限信号表示成为小波系数的叠加。离散情况下，Mallat 利用多分辨率的概念，提出了离散正交小波变换的金字塔算法 (Pyramidal Algorithm)。设原始输入信号为 $s_{j,n}$ ，则其算法可以描述为：

$$s_{j,k} = \sum_n h(n-2k)s_{(j-1),n} \quad (4.9)$$

$$d_{j,k} = \sum_n g(n-2k)s_{(j-1),n} \quad (4.10)$$

式中， h 和 g 为分解低通和高通滤波器， $s_{j,k}$ 是尺度系数， $d_{j,k}$ 是小波系数， j 为分辨率级数。

在许多实际问题中，经常遇到二维信号处理的问题。构造二维小波变换的最简单、最常见的方法是张量积的方法，即沿着水平和垂直方向分别做两次一维小波变换，我们把这叫做二维小波变换的可分离情形。

二维小波可分离情形的金字塔算法可以表示为：

$$\alpha_{i,j}^j = \sum_{k,m} g(k-2i)h(m-2l)s_{k,m}^{j-1} \quad (4.11)$$

$$\beta_{i,j}^j = \sum_{k,m} h(k-2i)g(m-2l)s_{k,m}^{j-1} \quad (4.12)$$

$$\gamma_{i,j}^j = \sum_{k,m} g(k-2i)g(m-2l)s_{k,m}^{j-1} \quad (4.13)$$

$$s_{i,j}^j = \sum_{k,m} h(k-2i)h(m-2l)s_{k,m}^{j-1} \quad (4.14)$$

上式中， $\alpha_{i,j}^j$ ， $\beta_{i,j}^j$ ， $\gamma_{i,j}^j$ ， $s_{i,j}^j$ 分别对应于 LH，HL，HH，LL 频带。二维小波变换在工程应用中一般用二维图像的原始采样矩阵来进行初始化。

图 4.1 是二维离散小波分解的 Mallat 算法，它的重构为分解的逆过程。

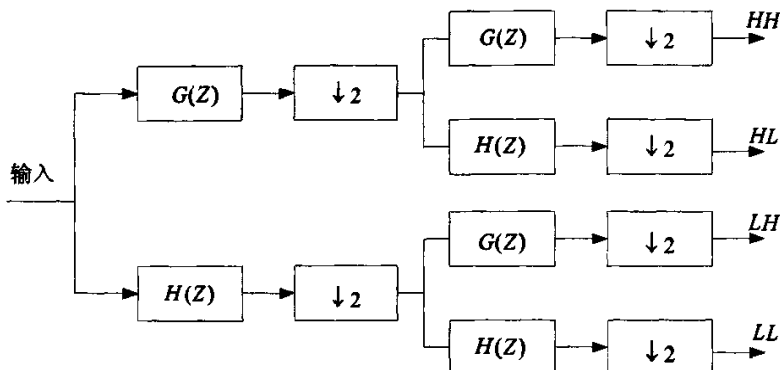


图 4.1 Mallat 算法用于二维离散小波分解

Fig. 4.1 2-D DWT using Mallat Algorithm

4.2.2 提升方案

W.Sweldens 等人继承了传统小波变换的空间-频率的局部性, 对传统小波变换进行改进, 提出了基于提升方法(Lifting)的小波变换的实现方式^[20]。提升方法相对于 Mallat 算法而言, 是一种更为快速有效的小波变换实现方法, 它不依赖于傅里叶变换, 完全在空域完成了对双正交小波滤波器的构造^[21-23]。Daubechies 已经证明, 任何离散小波变换或具有有限长滤波器的两阶滤波变换都可以被分解成为一系列简单的提升步骤, 所有能够用 Mallat 算法实现的小波, 都可以用提升算法来实现。

提升方案概括为分裂、预测和更新三个过程。

① 分裂(Split): 分裂过程将原始信号 s_j 分裂为两个集合, 一般采用奇偶分裂, 得到包含 s_j 所有偶数值的偶数集 $s_{j,2l}$ 和包含 s_j 所有奇数值的奇数集 $s_{j,2l+1}$ 即

$$\text{分裂}(s_j) = (s_{j,2l}, s_{j,2l+1}) \quad (4.15)$$

② 预测(Predict): 预测利用了数据间的相关性, 由于 s_j 的奇数和偶数部分具有一定的相关性, 因此奇数部分数据可以根据附近的偶数部分数据预测得到, 定义预测算子 P , 则有

$$d_{j-1} = s_{j,2l+1} - P(s_{j,2l}) \quad (4.16)$$

③ 更新(Update): 经分裂产生的子集 $s_{j,2l}$ 的某些整体性质与原始数据有差异, 需要进行更新运算。引入更新算子 U , 将其作用在 d_{j-1} 上, 生成一个子集 c_{j-1} , 更新过程如下:

$$c_{j-1} = s_{j,2l} + U(d_{j-1}) \quad (4.17)$$

对于 c_{j-1} 重复上述步骤即可实现多级小波变换。

提升算法的每一步都是可逆的，重构过程类似于分解过程，基于取消更新、取消预测、合并三步运算，重构公式如下所示：

$$\begin{cases} s_{j,2l} = c_{j-1} - U(d_{j-1}) \\ s_{j,2l+1} = d_{j-1} + P(s_{j,2l}) \\ c_j = \text{合并}(s_{j,2l}, s_{j,2l+1}) \end{cases} \quad (4.18)$$

图 4.2，图 4.3 给出了提升小波分解和重构的具体过程。

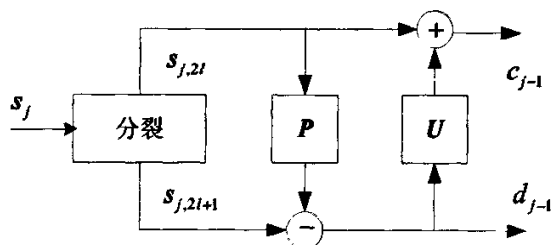


图 4.2 提升小波分解过程

Fig. 4.2 Decompose Process of lifting scheme

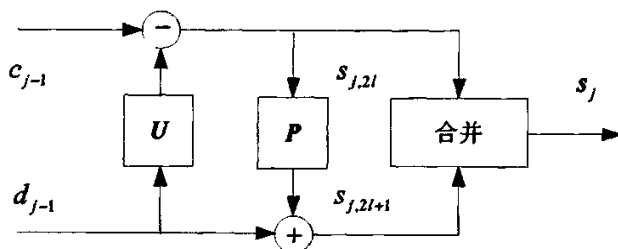


图 4.3 提升小波合成过程

Fig. 4.3 Merge Process of lifting scheme

以常用的双正交小波滤波器 Daubechies 9/7 为例，说明提升实现的方法。图 4.4 给出了 9/7 小波滤波器的提升结构^[21]，其中提升系数 $\alpha \approx -0.05861$ 、 $\beta \approx -0.0530$ 、 $\gamma \approx 0.8829$ 、 $\sigma \approx 0.4435$ ，缩放因子 $K \approx 1.230$ 。

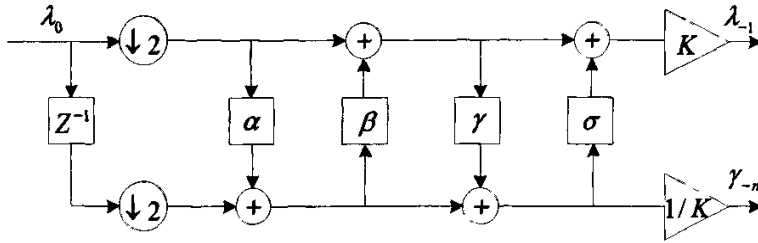


图 4.4 Daubechies 9/7 小波滤波器的提升结构

Fig. 4.4 Lifting Scheme of Daubechies 9/7 wavelet filter

提升方法和传统的 Mallat 算法相比,有以下优点:①加快小波变换的速度。②进行小波变换能够不需要额外内存。③跟传统方法相比,其分解和综合的过程容易理解。④提升格式不需要诸如傅里叶变换的背景知识。

总之,提升方法是一种比 Mallat 算法更快、更简单易懂的小波变换方法。

4.3 典型的小波编码方法

4.3.1 嵌入式编码

嵌入式编码是指编码器输出的码流具有以下特点:低比特编码嵌入在码流的开始部分,即从嵌入式码流的开始至某一位置截断,这段码流被取出后,它又相当于是一个更低码率的完整的码流,由它可以解码重构这个图像。与原码流相比,这部分码流解码出的图像具有较低的质量或分辨率,但解码的图像是完整的。因此,嵌入式编码器可以在编码过程的任一点停止编码,解码器也可以在获得的码流的任一点停止解码,其解码效果只是相当于一个更低码率的压缩码流的解码效果。嵌入式码流中比特的重要性是按照次序排列的,排在前面的比特更重要。嵌入式编码非常适用于图像的渐进传输、图像浏览和 Internet 上的图像传播。

4.3.2 嵌入式小波零树编码(EZW)

1993 年 J.M.Shapiro 提出了一种高效的小波图像压缩算法,称为嵌入式小波零树编码(the embedded zerotree wavelet algorithm, EZW)^[24]。这个算法中给出了对小波压缩领域影响深远的基于嵌入式零树的编码思想。

一幅图像经过小波变换后,图像的大部分能量都集中在低频区域,即图 4.5(a)中的 LL_3 区域。小波变换对图像进行多分辨率分析,将图像分为几个不同的尺度,构成金字塔结构,其中大尺度(低分辨率)对应图像的低频部分,其系数个数较少,构成金字塔的

塔尖：小尺度(高分辨率)对应图像的高频部分，其系数个数较多，构成金字塔的塔底。如从最高尺度区域到最低尺度区域(在同一个方向上，以水平方向为例)对变换后系数进行遍历，会发现小波系数的均方误差在逐渐变小；同时子带内系数的均值也在逐渐变小。还会发现在相同方向上不同分辨率的系数之间具有很强的相关性。

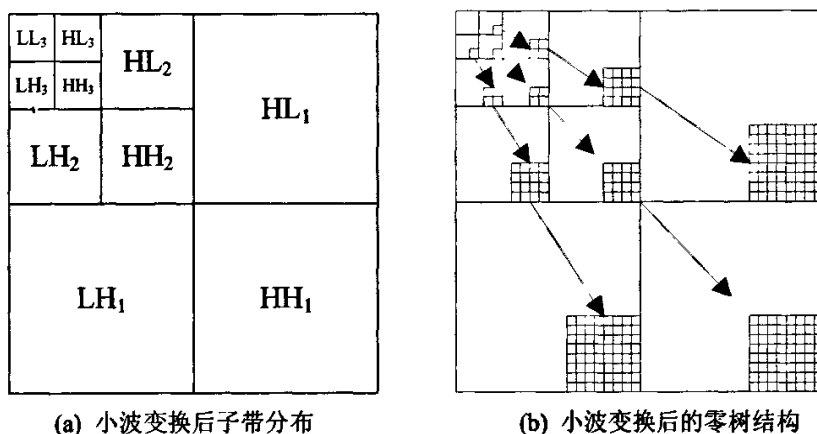


图4.5 小波变换后子带与零树结构

(a) Sub-band distributing after wavelet packet transform (b) zerotree after wavelet packet transform

Fig. 4.5 Sub-band and zerotree after wavelet packet transform

对于小波变换的这些空频特性，使用一种树形结构最能反映出来，如图4.5(b)所示。低分辨率层的一个系数与同方向比它高级分辨层的4个系数，比它高级分辨层的16个系数，……，大致反映了相同空域中同方向子带的性质。因此，对于一个平坦的区域，如果低分辨率层的一个系数相对某个门限来说是无效值，可以预测与它相关的树上的高分辨率层的系数也是无效值。

综合上面分析我们给出零树的概念：零树是指小波变换系数之间的一种数据结构，在同一方向和相同空间位置上的所有小波系数之间的关系可用一棵树的形式表示，如果树根和它的子孙小波系数的绝对值小于某个给定的阈值，那么这棵树就叫做零树。

4.3.3 分级树集合分裂编码(SPIHT)

EZW 算法是一种基于零树的嵌入式图像编码算法。虽然在小波变换系数中，零树是一个有效的表示不重要系数的数据结构，但是在小波系数中还存在这样的树结构，它的树根是重要的，除树根以外的其他结点是不重要的。对这样的系数结构零树就不是一种有效的表示方法。ASaid 和 W.A.Pearlman 根据 Shapiro 零树编码算法(EZW)的基本思想，提出了一种新的且性能更优的实现方法，即分级树集合分裂(Set Partitioning in

Hierarchical Trees, SPIHT) 编码算法^[25]。它采用了空间方向树(SOT: Spatial Orientation Tree), 从而提高了编码效率。

在SPIHT算法中, 表征空间方向树结构的符号集合如图4.6所示。

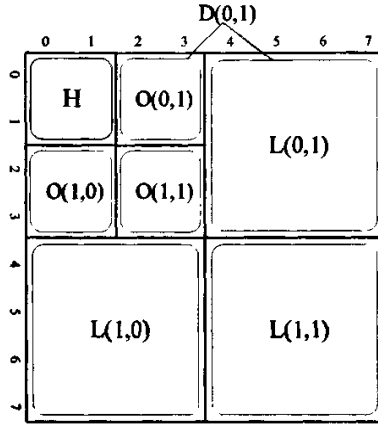


图4.6 SPIHT算法中表征空间方向树结构的符号

Fig. 4.6 Symbols showing the Hierarchical Trees in SPIHT algorithm

图中各符号集合的定义如下:

- H : 小波分解后所有的最低频子带节点(即根节点)集合; 在图4.6中, H 是由根节点 $(0, 0)$ 、 $(0, 1)$ 、 $(1, 0)$ 、 $(1, 1)$ 组成。

- $O(i, j)$: 节点 (i, j) 的所有子女节点(直接后代)的坐标的集合。对于每一个节点, 可能有4个子女或没有子女, 故 $O(i, j)$ 的大小为4或0。在图4.6中, 节点 $(0, 1)$ 的直接子女坐标集合为 $O(0, 1)$;

除了小波分解金字塔结构的最顶层和最底层外, 节点 (i, j) 的 $O(i, j)$ 集合包含如(4.19)式四个子女节点:

$$O(i, j) = \{(2i, 2j), (2i, 2j+1), (2i+1, 2j), (2i+1, 2j+1)\} \quad (4.19)$$

- $L(i, j)$: 节点 (i, j) 的子女节点的所有后代节点的集合, 即节点 (i, j) 的间接子孙的集合。在图4.6中, 节点 $(0, 1)$ 的所有间接子孙节点集合为 $L(0, 1)$ 。

- $D(i, j)$: 节点 (i, j) 的所有子孙节点的集合, 既包括直接子女节点, 又包括间接子孙节点的集合。在图4.6中, 节点 $(0, 1)$ 的所有子孙节点集合 $D(0, 1) = O(0, 1) + L(0, 1)$ 。

定义 $S_n(X)$ 作为集合 X 是否有效的标志位，如下定义：

$$S_n(X) = \begin{cases} 1 & \max_{(i,j) \in T} \{ |X_{i,j}| \} \geq T \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (4.20)$$

其中 $X_{i,j}$ 为集合中节点系数值， T 为 SPIHT 算法判断集合重要性的门限。在 SPIHT 算法中，采用 2 的指数作为门限，起始门限取为 $T_0 = 2^n$ ，其中 $n = \left\lfloor \log_2 \left(\max_{(i,j)} \{ |X_{i,j}| \} \right) \right\rfloor$ ，而 $\max_{(i,j)} \{ |X_{i,j}| \}$ 是变换系数矩阵中系数绝对值的最大值。

当集合只包含一个系数的坐标，即 $X = \{(i, j)\}$ 时，表示一个单节点的值的有效性，简写为 $S_n(i, j)$ 。

下面结合一个简单的例子介绍 SPIHT 算法中辅助序列的定义及编码的流程：

例 4.1，假设一个简单的 4×4 图像的单层小波变换矩阵如下^[26]：

$$\begin{bmatrix} 26 & 6 & 13 & 10 \\ -7 & 7 & 6 & 4 \\ 4 & -4 & 4 & -3 \\ 2 & -2 & -2 & 0 \end{bmatrix}$$

SPIHT 算法中设置了三个辅助序列：

LIS：无效集序列 (List of insignificant sets)，序列中以节点坐标 (i, j) 的形式记录每个集合，代表集合 $D(i, j)$ 或 $L(i, j)$ 是无效集合。

LIP：无效节点序列 (List of insignificant pixels)，序列中以坐标 (i, j) 的形式记录每个节点，代表 (i, j) 位置值无效。

LSP：有效节点序列 (List of significant pixels)，序列中以坐标 (i, j) 的形式记录每个节点，代表 (i, j) 位置值有效。

LIP 和 LSP 都是记录节点信息的序列，而 LIS 记录的是集合信息。

SPIHT 算法编码过程是通过判断节点与集合的有效性，将节点与集合放入不同的辅助序列，从而完成编码过程。

下面结合例 4.1 介绍 SPIHT 算法的编解码过程：

● 初始化过程：

进行算法初始化，得到 $n = \lfloor \log_2 26 \rfloor = 4$ ，起始门限 $T_0 = 2^4 = 16$ ；在初始化过程中，首先假设 H 集合中所有根节点均无效，将所有坐标 $(i, j) \in H$ 加入到无效节点序列 LIP 中，置有效节点序列 LSP 为空表；同时将 H 中带有子孙的节点坐标加入到无效集合序列 LIS

中, 作为 $D(i, j)$ 类集合。

因此三个序列初始值分别为:

LIP: $\{(0, 0)$ 位置: 26, $(0, 1)$ 位置: 6, $(1, 0)$ 位置: -7, $(1, 1)$ 位置: 7}

LIS: $\{(0, 1)$ 位置: D 集合, $(1, 0)$ 位置: D 集合, $(1, 1)$ 位置: D 集合}

LSP: $\{ \}$

在实际编码过程中, LIP 序列中只存储位置 (i, j) , 并不保存此位置的系数值, 这里给出系数值是为了表述的直观。

● 第一遍扫描:

初始门限为 16, 先扫描无效节点序列 LIP, 在 $(0, 0)$ 位置发现一个有效值 26, 为正值, 因此, 输出一位 1 表示一个有效值; 对于有效值, 还要输出其符号位, 因此再输出一位 0 表示是正值; 后面 3 个位置的系数 $\{6, -7, 7\}$ 均为无效值, 对应输出三位 0; 然后对无效集序列 LIS 进行扫描, 在当前门限 16 下, $D(0, 1)=\{13, 10, 6, 4\}$, $D(1, 0)=\{4, -4, 2, -2\}$, $D(1, 1)=\{4, -3, -2, 0\}$ 均为无效集, 对应每个集合各输出一位 0; 有效节点序列 LSP 中无值, 不做处理。

得到第一遍扫描输出为 10000000, 三个序列变为:

LIP: $\{(0, 1)$ 位置: 6, $(1, 0)$ 位置: -7, $(1, 1)$ 位置: 7}

LIS: $\{(0, 1)$ 位置: D 集合, $(1, 0)$ 位置: D 集合, $(1, 1)$ 位置: D 集合}

LSP: $\{(0, 0)$ 位置: 26}

经过一次扫描后, 门限减半, $T_1=8$, 转入第二遍扫描。

● 第二遍扫描:

$T_1=8$, 仍先扫描无效节点序列 LIP, 连续输出 3 位 0; 再扫描无效集序列 LIS, 第一项 $D(0, 1)=\{13, 10, 6, 4\}$ 现在变为有效集, 因为它的两个子女 $(13, 10)$ 均大于门限 8, 故输出一位 1。

在 SPIHT 算法中, 对于一个 $D(i, j)$ 类集合, 如果它对当前门限变成有效集合, 则将此 $D(i, j)$ 划分成 $O(i, j)$ 和 $L(i, j)$, $O(i, j)$ 中的四个直接子女节点根据它是有效或者无效, 分别放入 LSP 和 LIP, 同时将 $L(i, j)$ 放入 LIS 尾部, 将在本次扫描的晚些时候处理。

本例中 $D(0, 1)$ 变为有效集, 故检查 $O(0, 1)$ 对应的 4 个系数, 第 1 个系数 13, 是有效值, 移入有效节点序列 LSP, 且输出 1、0; 第 2 个系数 10 也是有效值, 移入 LSP, 同样输出 1、0; 第 3 和第 4 个值 6 和 4 均是无效值, 移入 LIP, 各输出 0。

再看 $L(0, 1) = D(0, 1) - O(0, 1)$, 对于本例, $L(0, 1)$ 为空。至此 $D(0, 1)$ 已分解处理完毕, 将 $D(0, 1)$ 从 LIS 中移去。

同理再检查 $D(1, 0) = \{4, -4, 2, -2\}$ 和 $D(1, 1) = \{4, -3, -2, 0\}$, 分别为无效集, 各输出 1 位 0。

再扫描有效节点序列 LSP, 其中有一个相对本轮门限的旧值 26, 它的二进制表示为 11010, 输出它的次高有效值 1。

第二遍扫描输出 0001101000001, 三个序列变为:

LIP: $\{(0, 1)$ 位置: 6, $(1, 0)$ 位置: -7, $(1, 1)$ 位置: 7, $(1, 2)$ 位置: 6, $(1, 3)$ 位置: 4}

LIS: $\{(1, 0)$ 位置: D 集合, $(1, 1)$ 位置: D 集合}

LSP: $\{(0, 0)$ 位置: 26, $(0, 2)$ 位置: 13, $(0, 3)$ 位置: 10}

此轮扫描后, 门限再次减半, $T_2 = 4$, 转入第三遍扫描。

● 第三遍扫描:

$T_2 = 4$, 类似上面的过程, 得到输出码为 10111, 010101, 10110, 01100, 00010。

三个序列变为:

LIP: $\{(3, 0)$ 位置: 2, $(3, 1)$ 位置: -2, $(2, 3)$ 位置: -3, $(3, 2)$ 位置: -2, $(3, 3)$ 位置: 0}

LIS: { }

LSP: $\{(0, 0)$ 位置: 26, $(0, 2)$ 位置: 13, $(0, 3)$ 位置: 10, $(0, 1)$ 位置: 6, $(1, 0)$ 位置: -7, $(1, 1)$ 位置: 7, $(1, 2)$ 位置: 6, $(1, 3)$ 位置: 4, $(2, 0)$ 位置: 4, $(2, 1)$ 位置: -4, $(2, 2)$ 位置: 4}

经过第三遍扫描以后, 无效集序列 LIS 已经为空, 全部非零系数已经存入 LIP 和 LSP, 再扫描已不需要对 LIS 操作, 只是将 LIP 序列中剩下的值移入 LSP, 并对 LSP 细化。

● 解码过程:

编码器将上述扫描过程中输出的码存入文件。文件中除所编的码外, 还存储初始门限 $n = \left\lceil \log_2 \left(\max_{(i,j)} \{ |X_{i,j}| \} \right) \right\rceil$ 、图像尺寸大小、小波包变换层数等必要信息。通过这些信息, 解码器可生成初始的三个序列 LIP, LIS 和 LSP。接下来的过程是做与编码操作相同的扫描工作, 只不过编码器是判断并输出码, 而解码器是读入并恢复相应序列的内容, 当解码器收到编码器第一遍扫描输出的全部比特后, 它也恢复了与编码器结束时相同的序列; 三遍扫描结束后, 恢复的小波变换系数为:

$$\begin{bmatrix} 26 & 6 & 14 & 10 \\ -6 & 6 & 6 & 6 \\ 6 & -6 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

4.3.4 集合分裂嵌入块编码(SPECK)

SPIHT 编码依靠小波分解后子带间系数的相关性, 而 SPECK 编码^[27]主要是依靠小波分解后子带内系数的相关性。由于它对测试的系数集合采用简单的四叉树分裂方法, 不用像零树算法那样要考虑复杂的父子关系, 所以具有更低的复杂度。

四叉树分裂的过程实际上是把一个矩形的块集合 S 分裂成为大小相似的 4 块集合 $\{s_1, s_2, s_3, s_4\}$, 形成 4 个较小的矩形子块, 如图 4.7 所示。在运用到嵌入零块编码中时, 对测试重要的块输出 1, 并进行四叉树分裂。对分裂的四个子块再分别测试, 重要的输出 1, 不重要的输出 0。四叉树分裂是个反复迭代的过程, 利用四叉树分裂能够快速获得子块中重要元素的位置。也就是说在嵌入零块比特面编码中对不重要的块或元素只要用一个“0”比特就可以表示, 对于那些重要的用“1”表示的块再进行四叉树分裂, 直到分裂到 4 个元素为止。

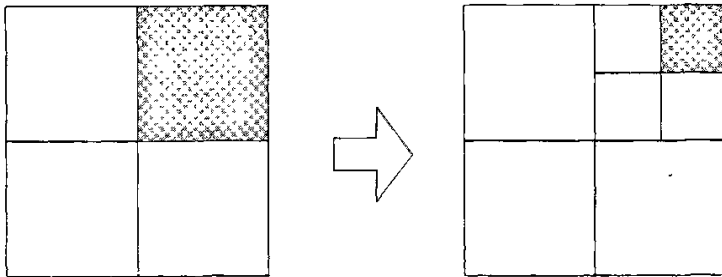


图 4.7 四叉树分裂过程

Fig. 4.7 Quadtree Partitioning

除了采用四叉树块分裂以外, SPECK 算法还引入了 Octave 分裂, 进一步减少不重要子带系数比特数的输出。图 4.8 显示了 SPECK 的 Octave 的分裂过程, 定义整个图像集合为 X , 集合 S 用最低频子带初始化, 剩余集合 $I = X - S$ 。随着重要性测试的进行, 当集合 I 被测试重要后, 首先分裂出最低频的 3 个大小为 S 的子集合, 迭代测试直到 I 集

合分裂完成为止。可以看到，在大多数比特面重要性测试中，对于包含大量不重要系数的子带可以用一个 I 集合表示。

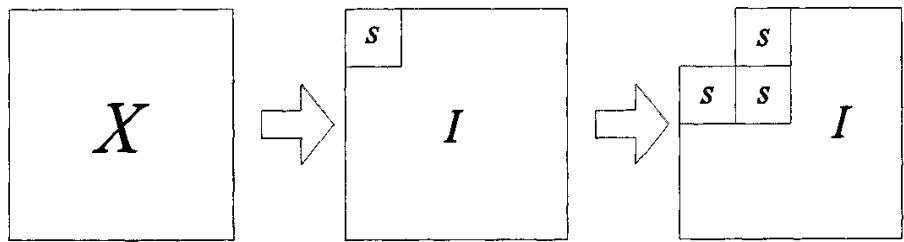


图 4.8 集合 I 的 Octave 分裂
Fig. 4.8 Octave band partitioning

在 SPECK 算法中，设置两个辅助表来控制集合划分和有效值的细化过程，分别用 LIS 和 LSP 表示。

SPECK 算法的流程如图 4.9 所示：

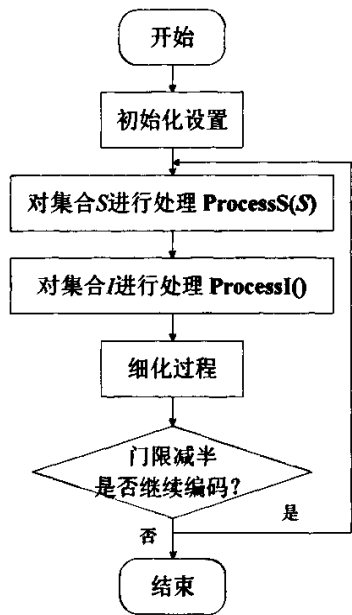


图 4.9 SPECK 算法流程
Fig. 4.9 Flow Chat of SPECK

SPECK 算法的详细步骤如表 4.1 所述：

表 4.1 SPECK 算法步骤
Tab. 4.1 Steps of SPECK Algorithm

LIS: 不重要集合列表。LSP: 重要元素列表。 $c_{i,j}$: 图像的小波变换系数。

(I) 初始化:

(a) 把图像 X 初始化为两个集合: S , $I = X - S$

(b) 输出 $n_{\max} = \left\lfloor \log_2 (\max_{(i,j) \in T} |c_{i,j}|) \right\rfloor$

(c) 把 S 加入到 LIS, 并设 $LSP = \phi$

(II) 排序测试:

(a) 按照各 S 集合块尺寸的大小, 升序排列, 对于每个集合 $S \in LIS$, 执行 **ProcessS**(S)

(b) 假如 $I \neq \phi$, 执行 **ProcessI**()

(III) 细化过程:

对 LSP 中的每一个元素 $c_{i,j}$ (除了当前这遍扫描加入的之外), 输出 $|c_{i,j}|$ 第 n 位值。

(IV) 量化步长更新:

$n = n - 1$, 跳转至步骤 (II)

对于 **ProcessS**(S) 和 **ProcessI**()，我们用伪代码说明如下：

ProcessS(S)

```
{
    if  $S$  中有重要系数 (即大于门限  $T$ )
    {
        输出 1;
        if  $S$  为单个元素, 则添加  $S$  到重要系数列表 LSP 并且输出 0 (正数) 或 1 (负数);
        else CodeS( $S$ );
        if  $S$  在列表 LIS 中, 则从 LIS 表中删除  $S$ ;
    }
    else 添加  $S$  到 LIS 表并输出 0.
}
```

CodeS(S)

```

{
    分割  $S$  为 4 个等大小的子集  $O(S)$ ；对于每个  $O(S)$ ：
    if  $O(S)$  有重要系数
    {
        输出 1；
        if  $O(S)$  为单个元素，则添加  $O(S)$  到 LSP 并且输出 0 或者 1；
        else CodeS( $O(S)$ )。
    }
    else 添加  $O(S)$  到 LIS 中并输出 0。
}

```

ProcessI()

```

{
    if  $I$  不为空
    {
        if  $I$  中有重要系数，则输出 1 并 CodeI();
        else 输出 0；
    }
    else 返回；
}

```

CodeI()

```

{
    分割剩余集合  $I$  为 3 个子块和 1 个剩余块  $I$  (如图 4.8 所示方法)；
    对 3 个  $S$  块进行 ProcessS( $S$ )；
    对于剩余块  $I$  进行 ProcessI()。
}

```

同样，我们结合上一节的例 4.1，给出 SPECK 算法的编解码过程。

$$\begin{bmatrix} 26 & 6 & 13 & 10 \\ -7 & 7 & 6 & 4 \\ 4 & -4 & 4 & -3 \\ 2 & -2 & -2 & 0 \end{bmatrix}$$

● 初始化过程:

进行算法初始化, 得到 $n = \lfloor \log_2 26 \rfloor = 4$, 起始门限 $T_0 = 2^4 = 16$; 在初始化过程中, 首先将图像 X 划分为两个集合 $S = \{(26, 6, -7, 7)\}$ 和 $I = X - S$ 。

两个序列初始值分别为:

LIS: {集合 S : $\{(0, 0): 26, (0, 1): 6, (1, 0): -7, (1, 1): 7\}$ }

LIP: { }

在实际编码过程中, LIP 序列中只存储位置 (i, j) , 并不保存此位置的系数值, 这里给出系数值是为了表述的直观。

● 第一遍扫描:

初始门限为 16, 先扫描序列 LIS 中的集合, 在 $(0, 0)$ 位置发现一个有效值 26, 输出 1; 因为集合 S 含四个像素, 因此, 将集合 S 进行四叉分割, 得到四个子集 $(0, 0)$, $(0, 1)$, $(1, 0)$, $(1, 1)$, 每个子集包含一个元素。对于集合 $(0, 0): 26$, 输出 1, 0 (正数); 集合 $(0, 1)$ 不含有有效值, 输出为 0; 同理 $(1, 0)$ 输出为 0, $(1, 1)$ 输出为 0。

对于集合 I , 判断其中是否含有效值, 因为没有, 所以输出为 0。

这样第一遍扫描输出为 1 10 0 0 0 0, 辅助序列变化为:

LIS: {集合 $(0, 1): 6$, 集合 $(1, 0): -7$, 集合 $(1, 1): 7$ }

LSP: {元素 $(0, 0): 26$ }

经过一次扫描后, 门限减半, $T_1 = 8$, 转入第二遍扫描。

● 第二遍扫描:

$T_1 = 8$, 先扫描 LIS 中集合, 易知连续输出 3 位 0; 再对集合 I 进行扫描, 发现集合 I 内包含有效值, 输出为 1, 同时分裂集合 I 。按照 Octave 分裂方法, 集合 I 将分裂为三个 S 集合 (因为集合 I 的大小就等于三个集合 S , 所以分裂后的集合 I 为空), 即集合 $\{(0, 2): 13, (0, 3): 10, (1, 2): 6, (1, 3): 4\}$, $\{(2, 0): 4, (2, 1): -4, (3, 0): 2, (3, 1): -2\}$, $\{(2, 2): 4, (2, 3): -3, (3, 2): -2, (3, 3): 0\}$, 对三个集合分别进行处理。

集合 $\{(0, 2): 13, (0, 3): 10, (1, 2): 6, (1, 3): 4\}$ 中含有有效值, 输出为 1, 因为不是单元素集合, 要进行四叉分裂, 又得到四个集合 $\{(0, 2): 13\}$, $\{(0, 3): 10\}$, $\{(1, 2): 6\}$, $\{(1, 3): 4\}$, 对其中的每个集合在进行判断, 输出分别为 10, 10, 0, 0。

对集合 $\{(2, 0): 4, (2, 1): -4, (3, 0): 2, (3, 1): -2\}$, $\{(2, 2): 4, (2, 3): -3, (3, 2): -2, (3, 3): 0\}$ 采用类似的方法, 得到的编码为 0, 0。

这样, 第二遍扫描输出 000 1 1 10 1000 0 0, 辅助序列变为:

LIS: {集合{(0,1):6}, {(1,0):-7}, {(1,1):7}, {(1,2):6}, {(1,3):4}, {(2,0):4, (2,1):-4, (3,0):2, (3,1):-2}, {(2,2):4, (2,3):-3, (3,2):-2, (3,3):0}}

LSP: {元素(0,0):26, (0,2):13, (0,3):10}

其中 LSP 中的 13, 10 是新加入的, 因此, 细化只需对 26 进行, 输出为 1。

此轮扫描后, 门限再次减半, $T_2=4$, 转入第三遍扫描。

● 第三遍扫描:

$T_2=4$, 类似上面的过程, 得到输出码为 10 11 10 10 10 1 10 11 0 0 1 10 0 0 0。

辅助序列变为:

LIS: {集合{(3,0):2}, {(3,1):-2}, {(2,3):-3}, {(3,2):-2}, {(3,3):0}}

LSP: {元素(0,0):26, (0,2):13, (0,3):10, (0,1):6, (1,0):-7, (1,1):7, (1,2):6, (1,3):4, (2,0):4, (2,1):-4, (2,2):4}

第三遍扫描后的细化输出为 010。

● 解码过程:

编码器将上述扫描过程中输出的码存入文件。文件中除所编的码外, 还存储初始门限 $n = \left\lceil \log_2 \left(\max_{(i,j)} \{ |X_{i,j}| \} \right) \right\rceil$ 、图像尺寸大小、小波包变换层数等必要信息。通过这些信息, 解码器可生成初始的序列 LIS, LSP。接下来的过程是做与编码操作相同的扫描工作, 三遍扫描结束后, 恢复的小波变换系数为:

$$\begin{bmatrix} 24 & 4 & 12 & 8 \\ -4 & 4 & 4 & 4 \\ 4 & -4 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

4.4 本章小结

本章介绍连续小波变换的原理, 并给出了两种离散小波变换的快速算法——Mallat 算法和提升方案 (Lifting Scheme) 原理。然后详细说明了 SPIHT (Set Partitioning In Hierarchical Tree) 和 SPECK 算法的编解码方法。对于两种编码方法对地形图像的压缩性能, 我们将在下一章中通过实验进行分析。

5 基于小波变换的地形数据压缩

本章运用第四章介绍的小波变换及嵌入式编码算法实现地形图像的压缩。首先讨论小波变换中小波基的选取和图像压缩质量的评价,然后通过实验详细比较 SPIHT 算法和 SPECK 算法对于地形图像的压缩性能,并对结果进行分析。

5.1 小波基的选取

将小波变换用于图像压缩时,并非所有的小波基都适合图像分解,小波基的选择直接影响到小波变换速度和恢复图像的效果,因此小波基的选择是图像压缩中的一个关键问题。本文从小波基的基本性质和小波基的评价标准两个方面加以分析比较,并结合地形图像的特点,给出适于地形图像压缩的最佳小波基。

5.1.1 小波基的基本性质分析

(1) 对称性和线性相位

令小波函数 $\psi(t)$ 为平方可积函数,若它的傅里叶变换满足 $\Psi(\omega) = \pm |\Psi(\omega)| e^{-ia\omega}$ (a 为实常数),则称 $\psi(t)$ 有线性相位。具有线性相位的小波函数可以避免对图像进行分解和重构时的相位失真。当 $\psi(t)$ 为实值函数时,若满足 $\psi(a+t) = \psi(a-t)$,称其具有对称性;若满足 $\psi(a+t) = -\psi(a-t)$,称其具有反对称性。

选择具有对称性或反对称性的小波函数具有以下两个优点:其一,人类的视觉系统对边缘附近对称的量化误差较非对称误差更不敏感;其二,如果小波有线性相位特性,在对图像边缘进行对称扩展时,重构图像边缘部分失真较小;而非对称滤波器的非线性相位在图像编码时所产生的误差易导致边缘错位,形成较大的视觉误差。

(2) 正交性和双正交性

小波基从正交性的角度划分有两类:正交与双正交。正交小波基^[28]对应的低通滤波器 h 和高通滤波器 g 正交。正交小波基分解如式(5.1)和式(5.2)所述:

$$c_m(k) = \sum_{n \in Z} h(n-2k)c_{m-1}(n), k \in Z \quad (5.1)$$

$$d_m(k) = \sum_{n \in Z} g(n-2k)c_{m-1}(n), k \in Z \quad (5.2)$$

这里 $g(n) = (-1)^{n-1}h(-n+1)$, $\sum h(n) = \sqrt{2}$; c_m 为第 m 级分解所得低频子带, d_m 为高频子带。

小波重构公式为:

$$c_{m-1}(n) = \sum_{j \in \mathbb{Z}} h(n-2j)c_m(j) + \sum_{j \in \mathbb{Z}} g(n-2j)d_m(j), n \in \mathbb{Z} \quad (5.3)$$

大部分正交小波基是无限支集的，相应的滤波器 h 和 g 也是无限冲激响应的，无法在计算机上实现，所以一般采用 Daubechies 系的紧支集正交小波作为小波基进行图像处理，最常用的是 D2 和 D4 小波。

研究表明，不存在具有完美重建质量的正交滤波器，唯一正交对称滤波器是 Haar 基，但它的局部化性能很差。为了解决上述矛盾，双正交小波被引入到信号处理中。双正交小波基^[29]由两个小波函数构成， ψ 和它的对偶小波 $\tilde{\psi}$ 。双正交是指低通分析滤波器 h 和高通重建滤波器 \tilde{g} 正交，低通重建滤波器 \tilde{h} 和高通分析滤波器 g 正交， h 和 g 对应分解小波 ψ ， \tilde{h} 和 \tilde{g} 对应综合小波 $\tilde{\psi}$ 。对于双正交小波分解过程与正交小波相同，但重建过程变为：

$$c_{m-1}(n) = \sum_{j \in \mathbb{Z}} \tilde{h}(n-2j)c_m(j) + \sum_{j \in \mathbb{Z}} \tilde{g}(n-2j)d_m(j), n \in \mathbb{Z} \quad (5.4)$$

其中，

$$\begin{cases} \sum h(n)h(n+2k) = \delta_{k,0} \\ \sum h(n) = \sum \tilde{h}(n) = \sqrt{2} \end{cases} \quad \begin{cases} \tilde{g}(n) = (-1)^{n-1} h(-n+1) \\ g(n) = (-1)^{n-1} \tilde{h}(-n+1) \end{cases} \quad (5.5)$$

目前，著名且广泛应用的双正交小波基是 Daubechies 双正交小波基。

(3) 正则性

函数正则性的定义为：设 $0 < \alpha < 1$ ，若对于任意 $t, \beta \in \mathbb{R}$ ， $|\psi(t+\beta) - \psi(t)| < c|\beta|^\alpha$ (c 为常数)，则称 $\psi(t)$ 的正则性阶数为 α 。若 $\psi(t)$ 的 N 阶导数满足上式，且 $r = N + \alpha$ ，则称 $\psi(t)$ 的正则性阶数为 r 。正则性表现为小波基的可微性，是小波函数光滑程度的一种描述。对于小波函数 $\psi(t)$ ，正则性阶数 r 越大，正则性越好，意味着 $\psi(t)$ 越光滑，其频域能量越集中。

(4) 消失矩

若小波函数 $\psi(t)$ 满足 $\int_{-\infty}^{\infty} t^k \psi(t) dt = 0, k = 0, 1, \dots, N$ ，则称 $\psi(t)$ 具有 N 阶消失矩。

消失矩的大小决定了用小波逼近光滑函数时的收敛率。一般来说，消失矩越大，压缩比就越大，要提高压缩比，就必须选择消失矩大的小波。通常，小波正则性和消失矩相互作用。文献[30]中通过滤波器的对比实验，证明在消失矩相同的情况下，正则性越好编码效果越好；而在正则性相近的情况下，消失矩的阶数越高编码效果越好；相对而言，小波基函数的正则性比消失矩阶数更为重要。

对于双正交小波，一般要求分解小波具有较高的消失矩，合成小波具有较高的正则性。

(5) 紧支性

紧支性定义为：若小波函数 $\psi(t)$ 在区间 $[a,b]$ 外恒为零，称该小波函数在区间 $[a,b]$ 上具有紧支性，这样的小波基称为紧支集小波基，区间 $[a,b]$ 称为小波基的紧支集，区间的宽度称为小波基的支撑宽度。前文提到具有无限支集的小波基无法在计算机上实现小波变换，这就要求小波基具有紧支性。支撑宽度越小，小波基的局部化能力越强，小波变换的计算复杂度越低，便于快速实现。

表 5.1 常见小波基性质
Tab. 5.1 Character of commom used wavelet basis

小波基		正交性	双正交性	紧支性	对称性
Haar		√	√	√	√
Daubechies	正交	√	×	√	×
	双正交	×	√	√	√
Coiflets		√	√	√	×
Symlets		√	√	√	×
Morlet		×	×	×	√
Mexican Hat		×	×	×	√
Meyer		√	√	×	√

表 5.2 Daubechies 小波基性质
Tab. 5.2 Character of Daubechies wavelet basis

小波基		对称性	正交性	正则性阶数	消失矩阶数	支撑宽度
D5/3	分析小波	是	双正交	0.0	2	5
	综合小波			1.0	2	5
D9/3	分析小波	是	双正交	0.83	2	9
	综合小波			1.0	4	5
D9/7	分析小波	是	双正交	1.1	4	9
	综合小波			1.7	4	9
D2		否	正交	1.0	2	3
D4		否	正交	5.1	4	7

表 5.1 给出常见小波基性质, 表 5.2 给出目前使用广泛的 Daubechies 小波基性质。综合前面的分析, 在选择适合图像压缩的小波基时应考虑如下方面: ①对称性(线性相位特性): 小波基具有对称性可以减少重构图像边缘部分失真; ②双正交性: 双正交小波基牺牲了一部分正交性, 但其它性质优于正交小波, 在图像处理中一般选用双正交小波; ③正则性: 重建小波的正则性越好, 得到的图像效果就越好; ④消失矩: 消失距越大, 压缩比就越大; ⑤紧支性: 支撑宽度越小, 计算复杂度低, 便于快速实现。

5.1.2 评价小波基的标准

(1) 编码增益

编码增益^[30]的定义如式(5.6)所示:

$$G_{\text{ain}} = \frac{\frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} \sigma_k^2}{\left(\prod_{k=0}^{K-1} \sigma_k^2 \right)^{1/K}} \quad (5.6)$$

其中 K 为图像经小波分解后子带个数; σ_k^2 是第 k 子带的方差。

编码增益是图像小波变换中一项重要的指标, 反映了子带间能量的紧密度, 可以作为小波变换用于图像压缩编码的客观评价标准。编码增益越大, 图像的重构效果越好。

(2) 变换后图像的熵

熵的定义如式(5.7)所示:

$$H = - \sum_{i=1}^N p(i) \log_2 p(i) \quad (5.7)$$

其中 N 为灰度等级, $p(i)$ 为第 i 个灰度等级出现的概率。熵是信源平均信息量的一种度量。图像经小波变换后的熵可作为衡量滤波器优劣的一种尺度, 对同一图像进行小波变换后的熵值越低, 小波基无失真编码能力越强。在有损压缩的情况下, 变换后的图像熵值越小, 失真越小, 小波基越适于图像变换编码。

(3) 低频能量与总能量之比

定义低频能量与总能量的之比(用百分数表示), 如式(5.8)所示:

$$ER = E_L / E_G \quad (5.8)$$

其中 E_L 和 E_G 分别代表图像变换后最低频部分能量和图像总能量。图像能量的计算公式由式(5.9)定义:

$$E_n = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} |x(i, j)|^2 \quad (5.9)$$

其中 $x(i, j)$ 为图像在点 (i, j) 的灰度值, M 、 N 分别为图像的行数和列数。

小波变换是一种能量守恒变换, 图像变换之后的能量与原始的能量相同, 但更为集中, 即小波变换将整幅图像的能量集中在低频部分, 这样有利于对图像进行压缩。变换后图像能量越集中, 即 ER 越大, 越有利于压缩。

表 5.3 Lena 图像 Daubechies 小波变换性质^[31]
Tab. 5.3 Character of Daubechies wavelet by Lena

小波基	编码增益	熵(bit/符号)	能量比(%)
D5/3	35.58	3.846	98.66
D9/3	34.72	3.880	98.57
D9/7	40.64	3.758	99.25
D2	31.04	3.911	98.88
D4	35.48	3.856	99.09

表 5.3 给出采用不同小波基对 Lena 图像进行小波变换后的编码增益, 图像熵和能量比。对于图像 Lena 双正交小波基 D9/7 各项指标均占首位, D5/3 次之, 其他两种较差, 正交小波基 D4 优于 D2, 但不如双正交小波基。

综合以上的分析, 我们选用 D9/7 小波基对地形图像进行压缩。

5.2 图像压缩质量评价

通常的图像编码都是失真编码, 这就需要有一个对重构图像质量进行评价的标准, 常用的评价标准有两种: 主观评价标准和客观评价标准。

一般情况下, 人眼是图像信息的接收者, 主观评价方法是由评价者直接对一幅图像进行观察, 从感觉上去度量其失真程度, 给出质量评价分数, 对所有评价者给出的分数进行加权平均, 所得结果即为主观评价结果。表 5.4 列出了两种典型的评分标准。

表 5.4 图像主观评价
Tab. 5.4 Subjective judge of image

得分	第一种评价标准	第二种评价标准
5	非常好	感觉不到失真
4	好	感觉到失真, 但没有不舒服
3	一般	稍感到不舒服
2	较差	不舒服
1	差	非常不舒服

设每一种得分记为 C_i , 每一种得分的评分人数为 n_i , 则主观评价得分定义为:

$$MOS = \frac{\sum_{i=1}^k n_i C_i}{\sum_{i=1}^k n_i} \quad (5.10)$$

主观评价的结果符合人的视觉感受, 但它使用起来不方便, 一方面不能用数学模型对其进行描述, 不能直接用于图像编码过程中的质量评价和控制; 另一方面, 主观评价容易受到评价者的主观因素影响, 如年龄、教育程度和性格等, 所以大多数情况下还是以客观评价方法对图像质量进行评价。

所谓客观评价方法, 就是定义一个数学公式, 然后对待评价的图像进行运算, 得到一个唯一的数字量作为测度结果。通常用于。常用均方误差 (MSE) 和峰值信噪比 (PSNR) 评价图像的失真度, 分别定义如下:

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} [f(i, j) - f'(i, j)]^2 \quad (5.11)$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255 \times 255}{MSE} \quad (5.12)$$

式(5.11)中, M , N 为图像的宽和高, $f(i, j)$ 为原始图像的灰度值, $f'(i, j)$ 为重构图像的灰度值。

应该注意的是, MSE 和 PSNR 是从总体上反映原始图像和重构图像的差别, 并不能反映局部。有时候同样的信噪比, 视觉效果还是会有一定的差异, 这主要是由于误差的均匀程度造成的。一般来讲, 误差均匀时视觉效果好, 反之视觉效果不好。

本文使用 PSNR 对图像质量进行评价, 考虑到均匀误差可能带来的主客评价结果的不一致, 在选择图像压缩率时适当考虑了主观的感受。

5.3 实验结果

本节对 SPIHT 和 SPECK 算法进行实验仿真, 并对结果进行研究。程序开发和测试环境为: WindowsXP (SP2), Matlab6.5 Release 13, P4 3.0G, 512M 内存, NVIDIA GeForce4 MX440 64M 显卡。

实验数据采用国际上普遍选用的 $512 \times 512 \times 8\text{bit}$ 的标准图像 Barbara, 以及 $512 \times 512 \times 8\text{bit}$ 两幅地形图像 Fz5wan 和 Fz25wan。Barbara 图像同时具有大量的细节纹理部分和光滑平坦部分, 对于图像压缩算法非常有挑战性, 是公认的较难进行压缩的图像, 常用来测试针对细节信息丰富的图像的压缩算法。两幅地形图像分别表示两种不同比例尺的 DEM 栅格数据, 由测绘部门提供的原始地形等高线矢量图(格式为 .shp)通过 ArcGIS 的转换工具生成, 同样也包含大量细节、边缘及纹理信息。

实验采用了基于提升结构的小波变换, 进行四级小波分解与重构, 选用双正交 D9/7 小波基。前面我们已经讨论了小波基的选取标准, 由于地形图像对相位失真很敏感, 因此选用双正交 9/7 小波基保证了变换后图像没有相位失真。

实验使用文献[25]提出的 SPIHT 编码方法, 对于 SPECK 编码方法, 我们将文献[27]提到的算法略作改进, 对小波变换系数矩阵进行线性索引。即系数的索引号不像以前用 2 个数字表示, 而是用单数字来表示。令 $R = C = 2^N$ 分别是图像的行列总数, r, c 分别是行号和列号, 设图像中任一系数坐标为 (r, c) , 系数索引就是由 r 和 c 的简单交织。图 5.1 给出递归方式实现系数线性索引的 matlab 程序, 图 5.2 是一个 4×4 矩阵的线性索引结果。

```
function A = mapping(n)
if n == 2
    A = [1 2; 3 4];
else
    B = mapping(n/2);
    A = [B B+(n/2)^2; B+(n/2)^2*2 B+(n/2)^2*3];
end
```

图 5.1 线性索引 matlab 程序

Fig. 5.1 Linear Index Function in matlab

1	2	5	6
3	4	7	8
9	10	13	14
11	12	15	16

图 5.2 4×4 矩阵线性索引结果

Fig. 5.2 The Result of 4×4 Matrix Linear Index

线性索引的特点是它能有效地对系数进行处理，这正是基于树或块算法所需要的，而且线性索引也有利于宽度优先搜索。

通常评价图像压缩效果还有一个重要的指标——比特压缩率，定义如式(5.13)所示：

$$\text{比特压缩率} = \frac{\text{压缩后图像大小}}{\text{原始图像大小}} \times 8 \quad (5.13)$$

比特压缩率表示原始图像每像素的比特数同压缩后图像平均每像素比特数的比值，单位为每像素比特值(bit per pixel, bpp)。它与传统压缩比的对应关系为：8 倍压缩对应的比特压缩率为 1bpp；16 倍压缩对应的比特压缩率为 0.5bpp；32 倍压缩对应的比特压缩率为 0.25bpp，以此类推。

表 5.5 给出不同比特压缩率下 Barbara 重建图像的峰值信噪比(PSNR)。

表 5.5 不同比特压缩率下重建图像峰值信噪比(Barbara)

Tab. 5.5 PSNR in different bpp

比特压缩率	0.125	0.25	0.5	1
SPIHT	21.69	24.70	29.26	34.69
SPECK	24.21	27.26	30.83	35.48



图 5.3 Barbara 原图像

Fig. 5.3 Original Image of Barbara



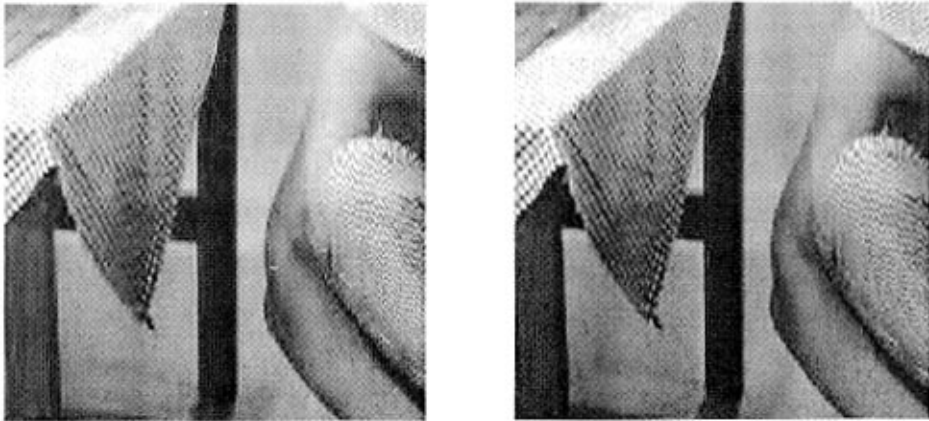
(a) 0.5bpp, SPIHT, PSNR=29.26



(b) 0.5bpp, SPECK, PSNR=30.83

图 5.4 重建图像质量对比(Barbara)

Fig. 5.4 Quality comparison of the reconstructed image(Barbara)



(a) 局部细节放大 SPIHT

(b) 局部细节放大 SPECK

图 5.5 重建图像局部细节对比(Barbara)

Fig. 5.5 Details comparison of the reconstructed image(Barbara)

图 5.4 给出了 0.5bpp 压缩率下 SPIHT 算法和 SPECK 算法 Barbara 图像重建后的质量对比, 两种算法重建图像质量主观评价区别不大。但对比图 5.5 给出的局部细节放大图可以看出, SPECK 算法的重建图像在裤子条纹、桌布条纹以及人物胳膊的轮廓等细节信息的重建质量要好于 SPIHT 算法。

表 5.6 和表 5.7 分别给出不同比特压缩率下 Fz5wan 与 Fz25wan 地形图像重建的峰值信噪比(PSNR), 可以看到在低比特压缩率条件下(小于 1bpp), SPECK 算法的重建图像峰值信噪比要高于 SPIHT 算法, 在 1bpp 条件下两者峰值信噪比相当, SPIHT 算法甚至略高于 SPECK 算法。由此我们得出, SPECK 算法更适合低比特压缩率(高压缩比)条件下的地形图像压缩。

表 5.6 不同比特压缩率下重建图像峰值信噪比(Fz5wan)

Tab. 5.6 PSNR in different bpp

比特压缩率	0.1	0.125	0.2	0.25	0.5	1
SPIHT	20.54	22.63	29.71	32.96	40.94	47.32
SPECK	31.95	33.39	36.27	37.78	42.36	47.29

表 5.7 不同比特压缩率下重建图像峰值信噪比(Fz25wan)

Tab. 5.7 PSNR in different bpp

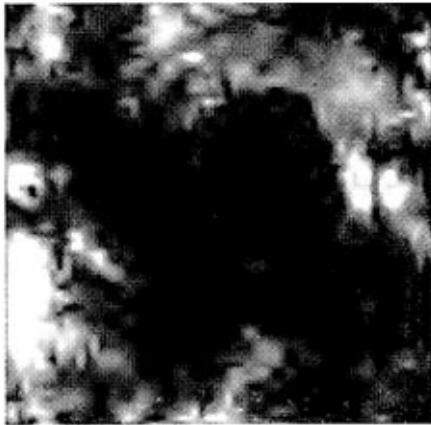
比特压缩率	0.1	0.125	0.2	0.25	0.5	1
SPIHT	17.82	19.93	23.94	25.56	30.12	34.85
SPECK	24.27	25.14	26.77	27.68	30.75	34.54

对于地形图像的重建质量评价,我们采用主观客观结合的方式。首先,选取 SPECK 重建图像主观感觉可以接受的压缩率下,比较 SPIHT 和 SPECK 重建质量;然后,再选取 SPIHT 重建图像主观感觉可以接受的压缩率下,比较 SPIHT 和 SPECK 重建质量。图 5.6 至图 5.9 给出的是 Fz5wan 地形图像的实验结果,图 5.10 至图 5.13 给出的是 Fz25wan 地形图像的实验结果。



图 5.6 Fz5wan 原图

Fig. 5.6 Original Image of Fz5wan



(a) 0.125bpp, SPIHT, PSNR=22.63



(b) 0.125bpp, SPECK, PSNR=33.39

图 5.7 重建图像质量对比 (Fz5wan, 0.125bpp)

Fig. 5.7 Quality comparison of the reconstructed image(Fz5wan, 0.125bpp)



(a) 0.25bpp, SPIHT, PSNR=32.96



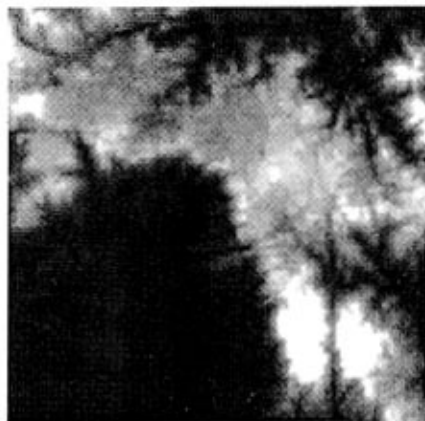
(b) 0.25bpp, SPECK, PSNR=37.78

图 5.8 重建图像质量对比 (Fz5wan, 0.25bpp)

Fig. 5.8 Quality comparison of the reconstructed image(Fz5wan, 0.25bpp)



(a) 局部细节放大 SPIHT



(b) 局部细节放大 SPECK

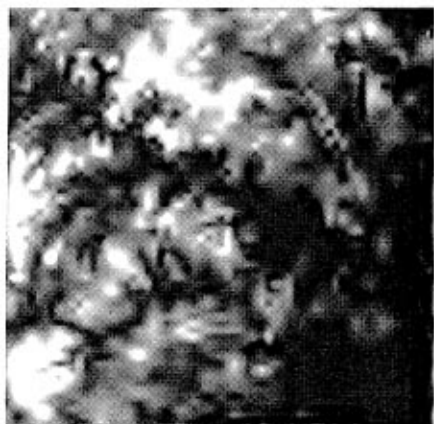
图 5.9 重建图像局部细节对比 (Fz5wan, 0.25bpp)

Fig. 5.9 Details comparison of the reconstructed image(Fz5wan, 0.25bpp)



图 5.10 Fz25wan 原图

Fig. 5.10 Original Image of Fz25wan



(a) 0.125bpp, SPIHT, PSNR=19.93



(b) 0.125bpp, SPECK, PSNR=25.14

图 5.11 重建图像质量对比 (Fz5wan, 0.125bpp)

Fig. 5.11 Quality comparison of the reconstructed image(Fz25wan, 0.125bpp)



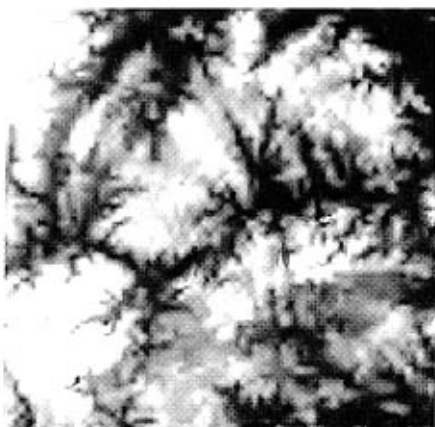
(a) 0.25bpp, SPIHT, PSNR=25.56



(b) 0.25bpp, SPECK, PSNR=27.78

图 5.12 重建图像质量对比 (Fz25wan, 0.25bpp)

Fig. 5.12 Quality comparison of the reconstructed image (Fz25wan, 0.25bpp)



(a) 局部细节放大 SPIHT



(b) 局部细节放大 SPECK

图 5.13 重建图像局部细节对比 (Fz25wan, 0.25bpp)

Fig. 5.13 Details comparison of the reconstructed image (Fz25wan, 0.25bpp)

从以上实验结果可以清晰地看出：在 0.125bpp 条件下，由 SPIHT 算法重建的地形图像的细节部分已模糊不清，但由 SPECK 算法得到的重建图像仍较好的恢复了地形的细节部分；在 0.25bpp 条件下，SPIHT 算法和 SPECK 算法重建图像尽管主观感觉差别不大，但在局部放大后可以看出，SPECK 算法对于细节信息的恢复明显好于 SPIHT 算法。因此，基于提升小波变换的 SPECK 算法是一种适用于低比特压缩率(大压缩比)条件的有效的地形图像压缩方法。

结 论

地理信息系统做为—门涉及测绘、环境、计算机技术等方面的综合学科,在资源开发、环境保护、城市规划建设、土地管理、交通、能源、通讯、地图测绘、林业、房地产开发、自然灾害的监测与评估、金融、保险、石油与天然气、军事、犯罪分析、运输等方面得到了广泛的应用。本文以“活断层地理信息系统”这个项目为背景,进行了如下实践和研究:

(1) 探讨了组件式地理信息系统的开发方式,介绍了基于 ArcObjects 组件的活断层地理信息系统的结构、功能的设计和实现。

(2) 使用直线距离分析模型、密度分析方法对各类活断层探测数据进行综合分析,并介绍了这部分功能在系统中的实例。

(3) 研究了基于提升小波变换的地形图像压缩方法,将 SPECK 算法应用于地形图像的压缩中,实验结果表明, SPECK 算法比 SPIHT 算法更适合于低比特压缩率(大压缩比)条件下地形图像压缩。

由于时间、精力和本人水平的限制,一些研究内容没有进行,使得无论是系统的开发还是理论的研究都存在不足之处。例如,三维地理信息系统对客观世界的表达能给人更真实的感受,对于活断层地理信息系统来说,如果能将地层、钻孔等地理信息进行真实的三维显示和分析,会将系统提升到一个新的高度。

地理信息系统正越来越成为国民经济各有关领域必不可少的应用工具,相信它的不断成熟与完善将为社会的进步与发展作出更大的贡献。

参考文献

- [1] Michael N.D. 地理信息系统基本原理(第二版). 北京:电子工业出版社, 2001.
- [2] 侯红松, 殷国华, 雷鸣. 浅谈地理信息系统的发展. 大众科技, 2007, 8:62-64.
- [3] 宋美遐. 地理信息系统在银行业中的应用(硕士学位论文). 北京:首都师范大学, 2007.
- [4] 魏少春, 梁焕炎. 浅谈地理信息系统中的空间数据模型. 地矿测绘, 2006, 22(3):21-23.
- [5] 程昌秀, 周成虎, 陆锋. ArcInfo 8 中面向对象空间数据模型的应用. 地球信息科学, 2002, 3: 86-90.
- [6] 陆守一, 唐小明, 王国胜. 地理信息系统实用教程(第2版). 北京:中国林业出版社, 2000.
- [7] 李贵荣, 谢超, 叶修松等. 基于栅格与矢量相结合的缓冲区分析算法的研究. 地矿测绘, 2007, 23(2):12-14.
- [8] 黄杏元, 马劲松, 汤勤. 地理信息系统概论. 北京:高等教育出版社, 2001.
- [9] 郭伦, 刘瑜, 张晶等. 地理信息系统原理方法和应用. 北京:科学出版社, 2001.
- [10] 李新, 程国栋, 卢玲. 空间内插方法比较. 地球科学进展, 2000, 15(3):260-265.
- [11] 侯景儒, 尹镇南. 实用地质统计学. 北京:地质出版社, 1998.
- [12] Guy Eddon, Henry Eddon. Microsoft Visual Basic 6.0 组件编程技术(第二版). 北京:北京希望电子出版公司, 2000.
- [13] 宋关福, 钟耳顺. 组件式地理信息系统研究与开发. 中国图象图形学报, 1998, 3A(4):313-317.
- [14] 曾航, 李见为, 宋扬等. COM 技术在 GIS 中的应用. 重庆师范学院学报(自然科学版), 2001, 18(4): 51-56.
- [15] 曾杉, 刘舒, 柏延成等. ArcInfo 8 开发教程. 北京:北京中科用生数据科技有限公司, 2001.
- [16] 汤国安, 杨昕. ArcGIS 空间分析实验教程. 北京:科学出版社, 2006.
- [17] 杨福生. 小波变换的工程分析与应用. 北京:科学出版社, 1999.
- [18] Mallat S. A Theory for Multiresolution Signal Decomposition: The Wavelet Representation. IEEE Transaction on Pattern Analysis Machine Intelligence, 1989, 11(7):674-693.
- [19] Wallace G K. The JPEG still picture compression standard. Communications of the ACM, 1991, 34(4):31-34.
- [20] Daubechies I, Sweldens W. Factoring wavelet transforms into lifting steps. Journal of Fourier Analysis and Applications, 1998, 4:244-267.
- [21] Sweldens W. The lifting scheme: a custom-design construction of biorthogonal wavelets. Journal of Application and Computer Harmonic Analysis, 1996, 3(2):186-200.
- [22] Sweldens W. The lifting scheme: construction of second-generation wavelets. SIAM Journal on Mathematics Analysis, 1998, 29(2):411-446.
- [23] Calderband A.R, Daubechies I, Sweldens W and Yeo B.L. Wavelet transforms that map integers to integers. Applied and Computational Harmonic Analysis, 1998, 5(3):322-369.

- [24] Shapiro J M. Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients. IEEE Transactions on Signal Processing, 1993, 41(12):3445-3462.
- [25] Said A, Pearlman W A. A New Fast and Efficient Image Codec Based on Set Partitioning in Hierarchical Trees. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1996, 6(3):243-250.
- [26] 张旭东, 卢国栋, 冯健. 图像编码基础和小波压缩技术:原理、算法和标准. 北京:清华大学出版社, 2004.
- [27] Asad Islam, William A. Pearlman. An embedded and efficient low-complexity hierarchical image coder. Proceedings of SPIE Vol. 3653 Visual Communications and Image Processing San Jose CA, 1999:294-305.
- [28] Daubechies I. Orthogonal bases of compactly supported wavelets. Communications on Pure and Applied Mathematics, 1988, 41:909-966.
- [29] Dahmen W, Kunoth A, Urban K. Biorthogonal spline wavelet on the interval-stability and moment conditions. Applied and Computational Harmonic Analysis, 1999, 6:132-296.
- [30] Da Silva E A D, Ghanbari M. On the performance of linear phase wavelet transforms in low bit-rate image coding. IEEE Transactions on Image Processing, 1996, 5(5):689-705.
- [31] 柯丽. 基于小波变换的空间遥感图像实时压缩方法研究(博士学位论文). 吉林: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 2005.

攻读硕士学位期间发表学术论文情况

攻读硕士学位期间发表论文一篇：

[1] 刘鑫. 一种基于嵌入零块编码的地形图像压缩方法. 大连理工大学网络学刊
相关内容在本文 4.2.2 节和 4.3.4 节中做了详细的介绍。

致 谢

两年多的研究生学习生涯即将结束,回首顾盼,往事历历在目。通过这两年的学习,感觉自己在思考问题和工作实践上都成熟了许多。而这一切,离不开无数给予我无私关怀和热心帮助的人。在此,向他们表示我最诚挚的谢意。

首先,向两年多来给予我悉心指导和帮助的孙怡教授表示最衷心的感谢!孙老师勤奋严谨的治学态度、渊博深厚的学术知识、干练敬业的工作作风给我留下了极其深刻的印象,并将使我受益终身。可以说在研究生期间,我的每一步成长都离不开导师对我的细心指导和精心培养,每一点成就都倾注了导师的心血。在今后的学习生活中,我将以最大努力争取更大成就来回报道师对我的培养。

感谢周东清和董明两位老师在百忙之中审阅了论文并提出了许多宝贵的意见。

感谢我的父母,感谢他们对我的养育之恩。在我学业和工作上遇到困难缺乏信心时,他们给予了我克服困难的勇气和信心,使我在人生道路上能够勇往直前。

感谢王晏师姐,感谢她在做项目期间的无私奉献,正是她对我的鼓励和对项目组的帮助使得项目能够顺利完成。感谢地理信息系统小组的所有成员,大家一起奋斗的日子对我来说是一段难忘的经历。

感谢教研室的同学们,大家共同努力把教研室建设成一个团结友爱的大家庭,希望她不断进步,创造更大的辉煌。

最后,再次感谢所有关心和帮助过我的人!