

分类号: P208

学号: 1131601012

UDC : 91

密级: 无

河海大学

硕士学位论文

面向土地利用变更调查的移动 GIS
关键技术研究

孙咸磊

指导教师姓名 许捍卫 副教授 河海大学 地球科学与工程学院

南京市西康路 1 号

申请学位级别 理学硕士 学科领域 地图学与地理信息系统

论文提交日期 2014 年 04 月 18 日 论文答辩日期 2014 年 05 月 22 日

学位授予单位和日期 河海大学 年 月 日

答辩委员会主席: 张友静 论文评阅人: 丁龙远 雍斌

中国·南京

二〇一四年五月

分类号（中图法） P208 UDC（DDC） 91 密级 无

论文作者姓名 孙咸磊 学号 1131601012 单位 河海大学

论文中文题名 面向土地利用变更调查的移动 GIS 关键技术研究

论文中文副题名 无

论文英文题名 Research on Key Technology for Mobile GIS in
Land Use Change Survey

论文英文副题名 无

论文语种 汉语 论文摘要语种 汉语、英语

论文页数 70 论文字数 3.4 万

论文主题词 土地利用变更；移动 GIS；空间索引；数据更新；

申请学位级别 理学硕士 专业名称 地图学与地理信息系统

研究方向 地理信息系统

指导教师姓名 许捍卫 副教授

导师单位 河海大学地球科学与工程学院

论文答辩日期 2014 年 5 月 22 日

Research on Key Technology for Mobile GIS in Land Use Change Survey

Dissertation Submitted to

Hohai University

In fulfillment of the Requirement

For the Degree of

Master of Science

by

Sun Xianlei

(School of Earth Sciences And Engineering)

Dissertation Supervisor: Prof.Xu Hanwei

May, 2014 Nanjing, P.R.China

学位论文独创性声明:

本人所呈交的学位论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。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。与我一同工作的同事对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。如不实,本人负全部责任。

论文作者(签名): _____ 年 月 日

学位论文使用授权说明

河海大学、中国科学技术信息研究所、国家图书馆、中国学术期刊(光盘版)电子杂志社有权保留本人所送交学位论文的复印件或电子文档,可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文。本人电子文档的内容和纸质论文的内容相一致。除在保密期内的保密论文外,允许论文被查阅和借阅。论文全部或部分内容的公布(包括刊登)授权河海大学研究生院办理。

论文作者(签名): _____ 年 月

摘要

土地利用变更调查是国土资源部门及时准确掌握土地利用现状的重要手段，做好外业调查工作是提高土地利用变更调查质量和效率的前提。本文以移动 GIS 在土地利用变更调查中的应用为研究目标与对象，研究了面向土地利用变更调查的移动 GIS 关键技术，设计并实现了基于移动 GIS 的土地利用变更调查数据采集处理原型系统，研究了移动 GIS 在土地利用变更调查中的应用模式。本文的研究工作主要包括以下几个方面：

（1）研究了基于数据库进行栅格瓦片存储的可行性，参照 MBTiles 规范设计了基于嵌入式数据库 SQLite 的栅格瓦片存储方式，支持任意投影与任意比例尺，用以存储外业调查底图栅格影像数据，提高了底图栅格影像数据传输的便捷性与显示性能。

（2）分析了目前存在的多种空间数据索引理论，选用基于四叉树与 R 树相结合的混合空间索引技术，设计了相应的数据查询、删除、插入算法，并将其应用于移动终端对土地利用变更矢量空间数据的组织与管理之中。

（3）设计了基于变更码的土地利用变更数据更新机制，解决了矢量空间数据在移动终端发生变更之后如何导出移动 GIS 系统，并与现有土地管理系统进行数据更新的问题。

（4）设计实现了基于 Android 移动平台的土地利用变更调查数据采集移动 GIS 原型系统，验证了本文中所研究的关于移动 GIS 的相关关键技术。

关键词：土地利用变更；移动 GIS；空间索引；地图瓦片；数据更新

Abstract

Land use change survey is an important means of timely and accurate grasp on the status of land use. Do a good job field investigation is the premise of improve quality and efficiency of land use change survey. In this paper, based on mobile GIS application in land use change survey as the research target and objects, we studied the key technology of mobile GIS for land use change survey, designed and implemented data collection and processing system based on mobile GIS, explored the model of mobile GIS application in land use change survey.

In this paper, the main research contents and work includes the following several aspects:

(1) Study the feasibility of the grid tile-based database storage, designed a new way which supports any projection and any scale to store grid tiles of base map in land use survey by using embedded database SQLite referring MBTiles specification. This new way can improve the ease of data transfer and display performance.

(2) Analyze a variety of spatial index theory, this paper brings up the spatial index --QR tree which based on quad tree and R-tree, describes insert, query, delete, update and other spatial index operations in details, and applied it in the organization and management of spatial vector data in land use.

(3) Design a kind of mechanism to update the data in land use with change code, solve the problem of how to export vector spatial data after it was changed in the mobile terminal, and how to update data with the existing land management system.

(4) Design and implement the land use change survey data acquisition prototype system based on mobile GIS on Android, verify the relevant key technologies on mobile GIS studied in this article.

Keywords: land use change survey; mobile GIS; spatial index; map tiles; data update

目录

摘要	I
Abstract	II
目录	III
第一章 绪论.....	1
1.1 引言	1
1.2 研究背景.....	1
1.2.1 土地调查国内外研究进展.....	3
1.2.2 移动 GIS 国内外研究进展	4
1.2.3 移动 GIS 在国土资源调查中的应用	7
1.2.4 移动 GIS 在土地调查中存在的问题	8
1.3 研究目的与意义.....	8
1.4 主要研究内容.....	9
1.5 论文技术路线.....	9
1.6 论文组织结构.....	10
第二章 移动地理信息系统概述.....	11
2.1 移动 GIS	11
2.1.1 移动 GIS 概念	11
2.1.2 移动 GIS 体系结构	12
2.1.3 移动 GIS 特点	13
2.1.4 移动 GIS 工作模式	14
2.2 移动 GIS 关键技术	15
2.2.1 移动数据库技术.....	15
2.2.2 移动空间定位服务.....	15
2.2.3 无线通信技术.....	16
2.3 本章小节.....	16
第三章 移动终端数据组织与管理.....	17

3.1 基于嵌入式数据库的地图瓦片存储.....	17
3.1.1 SQLite 数据库	17
3.1.2 地图瓦片技术.....	18
3.1.3 瓦片数据库存储.....	21
3.2 移动终端矢量空间数据组织与管理.....	24
3.2.1 移动矢量空间数据模型.....	24
3.2.2 空间数据索引	25
3.2.3 基于四叉树和 R 树的混合空间索引	28
3.3 本章小节.....	32
第四章 土地利用变更数据更新.....	33
4.1 空间数据更新模式.....	33
4.1.1 整体更新.....	33
4.1.2 固定变化更新.....	33
4.1.3 增量更新.....	34
4.2 土地利用数据更新内容及方法.....	34
4.3 基于变更码的增量数据更新机制.....	35
4.4 本章小节.....	38
第五章 土地利用变更调查移动 GIS 系统设计与实现.....	39
5.1 土地利用变更调查外业流程.....	39
5.2 实现环境与平台.....	40
5.2.1 软件平台.....	40
5.2.2 硬件环境.....	40
5.3 移动终端功能设计.....	40
5.4 基于嵌入式数据库的地图瓦片存储.....	41
5.4.1 数据库设计实现.....	41
5.4.2 栅格瓦片数据存储与浏览.....	43
5.5 移动终端矢量空间数据组织与管理.....	45
5.5.1 矢量空间数据库设计	45
5.5.2 矢量空间数据物理存储.....	48

5.5.3 矢量空间数据操作.....	50
5.6 土地利用变更数据更新.....	54
5.6.1 数据转换.....	55
5.6.2 数据更新.....	58
5.7 本章小节.....	58
第六章 总结与展望.....	59
6.1 研究总结.....	59
6.2 研究展望.....	59
参考文献.....	61
攻读硕士期间参加科研工作和发表学术论文情况	65
致谢	66

第一章 绪论

1.1 引言

人类的生存离不开土地资源的供给，土地资源制约着人类经济的发展。目前，随着经济的快速发展、人口数量的逐年增长、城市化进程的快速演进，土地资源的利用状况无时无刻不在发生着变化，其作为不可再生资源的稀缺性日益凸显。及时准确掌握土地资源分布、质量、数量、利用状况，是进行国土资源管理工作的基础，也是国土资源信息化、科学化管理的重要保障。及时准确有效的土地利用数据是为土地资源可持续利用以及人地关系调控制定科学决策的重要依据。

土地利用变更调查是及时准确掌握土地利用状况的重要方法，是国土资源部门部署实施的重要年度性工作，其目的是确保全国土地资源数据的现势性，为国土资源管理和社会经济形势分析提供基础性数据。土地利用变更调查数据是用以编制土地利用现状、制定经济规划、制定宏观调控政策的重要依据，直接关系到国家的经济发展以及人民生活水平的可持续提高。

1.2 研究背景

为了能够及时了解全国所有土地每一年利用变化情况的准确数据，确保土地资源各项数据的准确性和现势性^[1]，更好地为国土资源管理和社会经济发展服务，国家建立起土地调查制度。依据《中华人民共和国土地管理法》、《土地调查条例》及实施办法的规定，县级以上政府的相关土地行政管理部门需要会同相同级别的有关部门，在全国二调的基础之上，综合利用 RS、GPS、GIS 等先进技术手段，每年一次着手开展土地利用变更调查^[2]。

土地调查，根据《土地调查条例实施办法》第一章第二条规定，是指对土地资源的种类、所处位置、面积大小、分布情况等自然属性和土地权属等社会属性及其变化情况所开展的监测、调查、统计、分析的活动^[3]。土地变更调查，是指各级土地资源行政管理部门在全国土地调查的基础之上，结合本地土地利用现状以及权属变化情况，所开展的城镇和村庄地籍变更调查以及土地利用变更调查活

动^[3]。其中，全国土地调查，是指国家根据国民经济以及社会发展需要，对全国城乡各类土地进行的全面调查活动^[3]。土地调查详细分为土地利用现状调查、地籍调查以及土地条件调查^[4]。土地利用现状调查主要指调查土地的利用现状及其变化情况，包括土地类型、所处位置、面积大小、分布范围等；地籍调查主要指调查土地权属，包括土地的所有权和使用权及其变化情况；条件调查主要针对土地的自然条件、社会经济条件等状况展开的调查^[5]。本文中所指的土地利用变更调查隶属于土地利用现状调查，遵循我国目前实行的每一年开展一次的土地利用变更调查制度及相关实施办法。

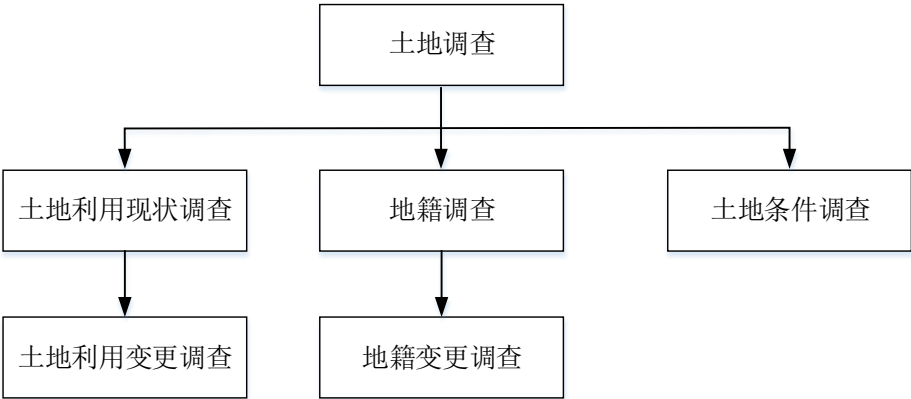


图 1-1 土地调查内容

土地利用变更调查的基本任务是各地土地资源行政管理部门利用国家国土资源部下发的遥感影像监测结果，与当地当前年度掌握的建设用地变化情况、土地开发变化情况相结合，以 1 月 1 日到次年 1 月 1 日为时间范围，调查整理当前年度之内的土地利用变化情况^[6]，并进行详细的外业调查核实工作，逐级更新土地资源数据库，直至达到国家级使用要求，从而实现国土资源的精确调查和有效管理。

每年开展一次的土地变更调查结果数据主要由土地利用变化情况和用地管理信息两个部分构成。县级土地资源管理部门，根据遥感影像监测结果与已有的土地资源数据相叠合，在内业阶段通过判读解译的方式发现变更图斑，经外业调查核实之后，结合当前年度建设用地变化情况、土地开发情况、执法监察日常统计信息等，汇总编写土地变更调查记录、遥感监测图斑核实记录等，整理形成当前年度的土地资源变更结果数据^[7]。

与国外发达国家相比,我国在土地资源调查先进手段的运用上较为落后,二十世纪八十年代才从发达国家引进了土地调查相关的采集管理系统,九十年代将其作为示范应用在全国尝试推广,直到进入二十一世纪初期,土地调查采集管理系统才在我国土地资源调查管理中取得了快速的发展。现阶段,众多行政管理机构都在积极加大土地利用变更调查数据采集系统的研究和开发工作,相信在不久的将来,我国国土信息系统科学化管理将取得进一步的发展。

1.2.1 土地调查国内外研究进展

国外经济发达国家较早时候就已经开展了土地资源调查工作,英美日德法等国家在二十世纪三十年代就已经普遍建立起相应的土地调查管理机构,负责开展全国性质的土地利用调查工作。由于各个国家在区域自然条件、技术发展水平上的差异,不同国家在土地利用变更调查中所采用的技术手段也不完全相同。1973年,美国和加拿大用陆地资源卫星影像对五大湖流域的土地利用状况做了分类调查研究^[8],利用遥感影像结合地面纸质底图进行调查核实^[9],有效地进行了大面积的土地利用调查。随着科学技术的快速发展,美加两国在土地利用调查上采用的调查核实手段也逐渐更新成为集成了3S技术的移动智能系统。二十一世纪初期,美国利用卫星遥感技术,通过遥感影像开展全国专题抽样调查。澳大利亚使用卫星遥感资料调查经济活动少的荒漠地区,使用航空遥感方法调查人口稠密的经济发达地区^[10, 11]。法国利用卫星遥感影像资料作为土地调查的辅助资料^[12],搭配航空遥感以及布设地面调查样点^[10],调查统计全国的土地利用情况。日本国土面积小,采用定期航空摄影的方法进行土地资源利用调查^[13],以航片为基础编制土地利用现状图,制定全国标准网络系统,保存土地利用数据,构建数据库供全国使用。欧洲共同体自二十世纪九十年代以来对其成员国的土地利用变化进行了遥感动态监测,并制定了名为MARS的土地监测计划^[14]。

国内的土地资源调查监管工作起步比较晚,直到上个世纪六十年代才将航空遥感与卫星遥感同时利用到国土资源调查相关的应用研究中。二十世纪七十年代,以中科院主持的“腾冲大型综合航空遥感实验研究项目^[15]”为代表,开启了我国利用航空遥感技术对土地利用现状进行专题研究和制图的新纪元。八十年代,矢量化采集软件和数字测图软件等数字化产品被应用到城镇地籍调查和地籍

测量工作中,取得了不错的效果。九十年代,根据国家地籍调查有关要求,科研工作者们对土地调查、地籍管理开展研究,结合当时快速发展的地理信息系统技术、全球定位技术、遥感技术,开发研制了城镇地籍管理信息系统,初步实现了国土资源的信息化管理。进入到二十一世纪,地理信息系统、全球定位系统、数字摄影测量技术、卫星遥感技术被广泛应用到地籍测量和土地调查之中,逐步成为土地资源管理调查的重要手段。2007 年开始的全国第二次土地调查中,主要以航空、航天遥感影像为基础,通过 GPS、全站仪的配合,以 GIS 为平台,旨在建立矢量栅格数据一体化的国土资源基础数据库,以及国土资源监管联动机制。2009 年 9 月,国土资源部全面开展了全国全覆盖的遥感监测工程“一张图”,用于监测全国土地利用变化情况,监测成果广泛应用于变更调查、土地利用规划、土地执法、土地监察等国土资源管理业务中。

目前,快速发展的 GIS、GPS、RS 技术在国土资源管理中取得了广泛的应用。国外发达国家在大范围土地利用调查相关技术发展上仍处于领先地位,我国在此技术领域需要做的工作还有很多。

1.2.2 移动 GIS 国内外研究进展

由于国内外互联网环境与智能终端普及程度不同,国内的移动 GIS 应用范围和规模与国外发达国家相比都还较小,但这并不影响移动 GIS 技术在国内的快速发展。移动 GIS 在国外经济发达国家的研究应用起步早,目前已出现了许多成熟的解决方案,虽然国内在移动 GIS 领域起步较晚,但经过国内科研工作者的不懈努力,国内的移动 GIS 技术水平与国际先进水平已经没有太大的差距。以下主要介绍国内外成熟的移动 GIS 解决方案。

(1) ESRI 移动 GIS 系列

ESRI 公司(美国环境系统研究所公司)是全球领先的 GIS 平台软件及服务提供商,推出的桌面 GIS 软件系列 ArcGIS 套件国际领先,在移动 GIS 领域 ESRI 也有相应的软件产品,分别为 ArcGIS Mobile、ArcPad、ArcGIS for iOS、ArcGIS for Android、ArcGIS for Windows Phone。

ArcGIS Mobile 是 ESRI 早期推出的移动 GIS 产品,支持运行 Windows Mobile 的终端设备。开发人员可通过它使用针对业务的任务和工作流,将 ArcGIS 的应

用范围扩展到室外，还可以使用其 SDK（软件开发工具包）将 ArcGIS 的功能嵌入到现有的业务移动应用程序中，为现有的移动应用程序提供地理信息服务，并可对项目、地图和移动数据进行集中配置、部署和管理。

ArcPad 用于企业级产品，用于开发 Windows 设备。ArcPad 支持矢量和栅格数据的编辑、显示，并且能够利用 GPS 进行实时定位和导航，支持和 ArcGIS 桌面系统的数据进行转换。开发人员可以使用脚本语言利用二次开发工具 ArcPad Application Builder 开发具有制图、数据访问功能的 GIS 服务。

ArcGIS for iOS、ArcGIS for Android、ArcGIS for Windows Phone 分别用于目前流行的 3 种移动系统平台 iOS、Android 和 Windows Phone。由于移动系统平台的强大功能，其上的 ArcGIS 也具有许多强劲的功能，主要有专题成图、图层编辑、数据采集、数据同步等功能。借助于服务器端 ArcGIS Server 的帮助，可以轻松实现加载在线地图、数据在线编辑同步的功能。

（2）Autodesk Onsite

Autodesk Onsite 是 Autodesk 公司的移动 GIS 解决方案，提供与 AutoCAD 等产品进行数据集互操作、标准地图操作、无线数据传输、数据同步、数据坐标转换等功能，并且支持标准数据格式。

（3）MapX Mobile

MapX Mobile 是 PB MapInfo 公司出品的面向移动 GIS 的二次开发组件，全面兼容 MapInfo 产品。MapX Mobile 采用 MapX 对象模式，内置许多已有的方法与事件，便于构建强大的地理信息应用，并提供标准地图操作、图层控制、数据在线同步、专题图分析等 GIS 功能。

（4）超图软件 eSuperMap

eSuperMap 是国内专业的 GIS 解决方案提供商北京超图软件股份有限公司推出的嵌入式 GIS 开发平台，是国内第一款真正意义上的嵌入式 GIS 开发平台。继承自超图在 GIS 领域积累的专业经验，eSuperMap 广泛应用于数据采集、设施管理、移动应急、车船监控等多种领域。

（5）跬步科技 UCMaP

UCMaP 是当前主流的移动 GIS 开发组件，延伸了 GIS 在移动端的应用，提供不同系统平台下的开发工具包。UCMaP 支持大数据量的离线数据管理，拥有

较丰富的矢量交互编辑能力,支持各种空间查询与空间分析,在电力巡检、城市巡查、移动环保、国土监察等诸多领域都取得了良好的成果。

(6) 中地数码 MapGIS

MapGIS 的移动 GIS 解决方案可以为常见的 GIS 系统及各种移动终端提供无缝的信息交换,具有基本的地图操作功能,开发接口简单方便,构建关系明确,用户可以根据需求动态组合功能模块完成系统开发,广泛使用于智能手机、掌上电脑、车载导航等终端设备中。MapGIS 系列软件广泛应用于我国的国土资源管理部门。

(7) 武汉吉奥 GeoMobile

GeoMobile 是武汉吉奥公司基于 COM 组件技术开发的移动 GIS 开发平台,具有完善的基础功能,通过高效的数据压缩算法和精简的计算内核,可以有效缓解移动设备的本地存储空间紧张和数据量大的问题。GeoMobile 还具有易于开发、基础功能强大的特点。

与此同时,伴随着移动 GIS 技术以及行业解决方案的不断成熟,相关的文献资料也比较丰富。严永斌等在 Windows Mobile 平台上研究了移动 GIS 在数据采集方面的应用,按采集流程进行系统功能与数据组织的设计,扩大了外业采集系统的作用范围,使其应用覆盖从出发导航到外业实采的完整过程^[16];钱毅基于 Android 设备建立了电力通信无线巡视系统,程序中运用 GIS 对巡视路线进行定位提示和记录^[17];刘新平以移动 GIS 在土地执法监察中的应用为研究目标和对象,构建了土地执法监察数据模型和业务模型,以江苏省昆山市为研究对象,设计和构建了基于移动 GIS 的土地动态巡查监管的原型系统,探索了基于 3G 手机终端的国土资源动态巡查监管模式^[18];圣荣、刘友兆、王庆等提出了一种基于 3S 技术的土地利用巡查方法,并利用组件式 GIS 开发技术、空间数据拓扑分析技术、多源数据集成技术、软件系统集成技术等先进技术开发完成了土地利用巡查系统^[19];严长清从土地利用现状变更调查的实际需求出发,设计了基于 GPS-PDA 的土地变更调查数据采集系统,分析了系统需求与目标,采用系统分析方法,讨论了基于软硬件一体化集成方式的 GPS-PDA 集成系统的构件组成、数据接口、数据格式、功能框架、数据转输与 GPS 数据差分解算方式,为土地利用现状更新调查数据采集提供了一种新的技术思路^[20];王元波等在回顾传统

土地变更调查方法不足的基础上,介绍了 3S 技术及其集成,并对其在土地利用变更调查中的应用进行了研究,为土地变更调查统计工作提供了借鉴与指导^[21];何国栋等针对传统土地利用变更方法存在的问题,结合 3S 技术特点和土地利用现状提出了新的变更方法,具体阐述了 3S 技术在土地利用现状变更方法中具体的技术实现^[22]。

1.2.3 移动 GIS 在国土资源调查中的应用

自上个世纪开始,为了实现土地资源管理的现代化和信息化,国内外众多土地管理部门纷纷建立起一整套规范化的工作体系和工作流程,并设计开发了相应的土地资源野外调查系统,以辅助完成复杂的土地资源调查管理工作。其中,土地资源野外调查工作系统的发展历程完全可以看作是移动 GIS 在国土资源调查中的发展历程。

1989 年,加拿大地质调查局基于计算机辅助设计(CAD)开发了野外工作系统 FieldLog^[23],为地质工作者在野外环境中提供地质数据采集管理功能^[24]。1996 年,澳大利亚地质调查局基于个人数字助理(PDA)设计开发了可以用于野外描述和素描数字化的 AGSO FieldPad 系统^[25],与 GPS 相连,能够根据 GPS 定位信息实时定位显示矢量地图^[26]。1998 年,美国地质调查局基于个人数字助理开发出野外数据采集软件 Pendragon Forms,完成了 1:24000 比例尺的岩基地质填图工作。2002 年,美国利用平板电脑技术开发了基于 GIS 的野外数据采集系统 Map It,提供数据编辑功、坐标转换、数据管理、数据输出等功能^[27]。

我国在野外数据采集软件方面的起步较晚,1999 年中国地质调查局立项开展计算机辅助地质调查系统^[28]项目,设计并研制了基于掌上机数据采集的数字填图系统 RGMAP,经过漫长的发展,逐步实现了我国区域调查工作中的信息化。进入到 21 世纪之后,移动 GIS 在我国国土资源调查中迎来了蓬勃的发展,在管线巡检、城管巡查、移动执法、国土监察、移动环保、水利普查等诸多行业得到了广泛的应用,涌现出许多高质量的基于移动 GIS 的业务平台软件。

移动 GIS 在国土资源调查中的广泛应用,提高了土地资源野外调查的工作效率,为土地数据的标准化和规范化提供了新的解决方案。

1.2.4 移动 GIS 在土地调查中存在的问题

目前正处于土地利用变更调查手段高速发展的时期,国内外与之相关的研究重点主要集中于对遥感影像的分析处理上,即变化图斑的发现与提取。针对土地利用变更调查外业核查手段的研究还比较少。传统的土地利用变更调查手段主要依靠传统测量方法,采取人工记录的方式在图纸上进行纸质变更,但因其数字化程度低,无法满足国土资源数字化管理的需要而已经逐渐被淘汰使用。现有的土地利用变更调查手段主要依赖 3S 集成度较高的智能数据采集系统。但由于土地利用变更调查流程的复杂性与空间数据的特殊性,目前的数据采集变更系统在以下方面还存在着问题:

- (1) 土地利用变更影像底图数据的存储与传输。影像底图数据一般使用瓦片的组织方式进行存储,鉴于目前移动网络速度较慢的因素,底图数据需要离线存储于移动智能设备。为了提高底图数据的传输便捷性与显示性能,可以对底图数据的存储方式进行进一步的探索。
- (2) 土地利用变更数据在移动智能终端上的存储与传输。移动智能设备上的数据库系统与传统的空间数据库不完全相同,使用其进行存储土地利用变更数据在存储方式与性能方面仍有较大的改进空间。
- (3) 土地利用变更后数据的同步与更新。空间数据的更新比较复杂,不仅需要考虑图形、属性数据的变更,还需要处理空间数据之间的拓扑关系,需要提出更加合理有效的数据同步更新机制。

1.3 研究目的与意义

土地利用变更调查数据采集的及时准确是国土资源科学有效管理的前提与条件。随着计算机软件、硬件以及 3S 相关技术的迅速发展,土地利用变更调查的技术手段也取得了稳健的发展。为了更加便捷、准确地调查了解土地利用状况,更有效地管理土地资源,本文将针对面向土地利用变更调查的移动 GIS 关键技术开展研究,分析现有技术的优缺点,并结合实际需求,探讨针对土地利用变更调查的关键技术改进方案在具体使用中的可行性,为促进国土资源信息的科学有效管理做出实际的探索。

针对目前土地利用变更调查中存在的一些问题和不足, 本文将利用现有的移动 GIS 软件平台, 结合开源数据库系统, 研究制定利用移动 GIS 进行土地利用变更调查的流程方法, 同时研究与矢量栅格数据移动端存储、数据变更等相关的移动 GIS 关键技术, 以期从数据采集流程中提高数据采集效率和控制土地利用变更数据的质量, 并减少在此流程中所投入的人力物力财力资源, 从而达到及时、迅速、有效完成土地利用变更调查数据采集处理过程, 为加强土地利用和土地管理, 进行土地资源合理配置提供强有力的保障, 具有重要的经济意义与社会意义。

1.4 主要研究内容

本文在全面理解移动 GIS 理论的基础之上, 从现有移动 GIS 在土地利用变更调查应用中存在的不足入手, 研究移动 GIS 在土地利用变更调查中与栅格影像数据存储、矢量空间数据组织与管理、土地利用数据更新相关的关键技术。主要研究内容如下:

首先, 将栅格数据瓦片组织存储规范 MBTiles 引入到土地利用变更调查栅格数据存储之中, 研究将土地利用变更调查底图影像数据以改进的 MBTiles 组织方式存储于 SQLite 数据库中的方法, 并支持现有的 ArcGIS for Android 软件调用显示, 以便提高底图栅格数据的传输便捷性以及显示性能。

其次, 对比分析现有的移动数据模型与空间索引结构, 选用更加适合土地利用变更调查数据的改进数据模型与空间索引结构, 详细介绍空间索引结构及其相应的空间索引操作算法。。

再次, 建立完整规范的土地利用变更调查流程, 通过移动端的数据存储设计与服务端数据库的配合, 重点解决土地利用变更调查数据的变更维护问题。

最后, 设计实现基于 Android 平台的土地利用变更调查移动 GIS 原型系统, 验证文章论述关键技术的可行性与执行效果。

1.5 论文技术路线

本文的技术路线如图 1-2 所示:

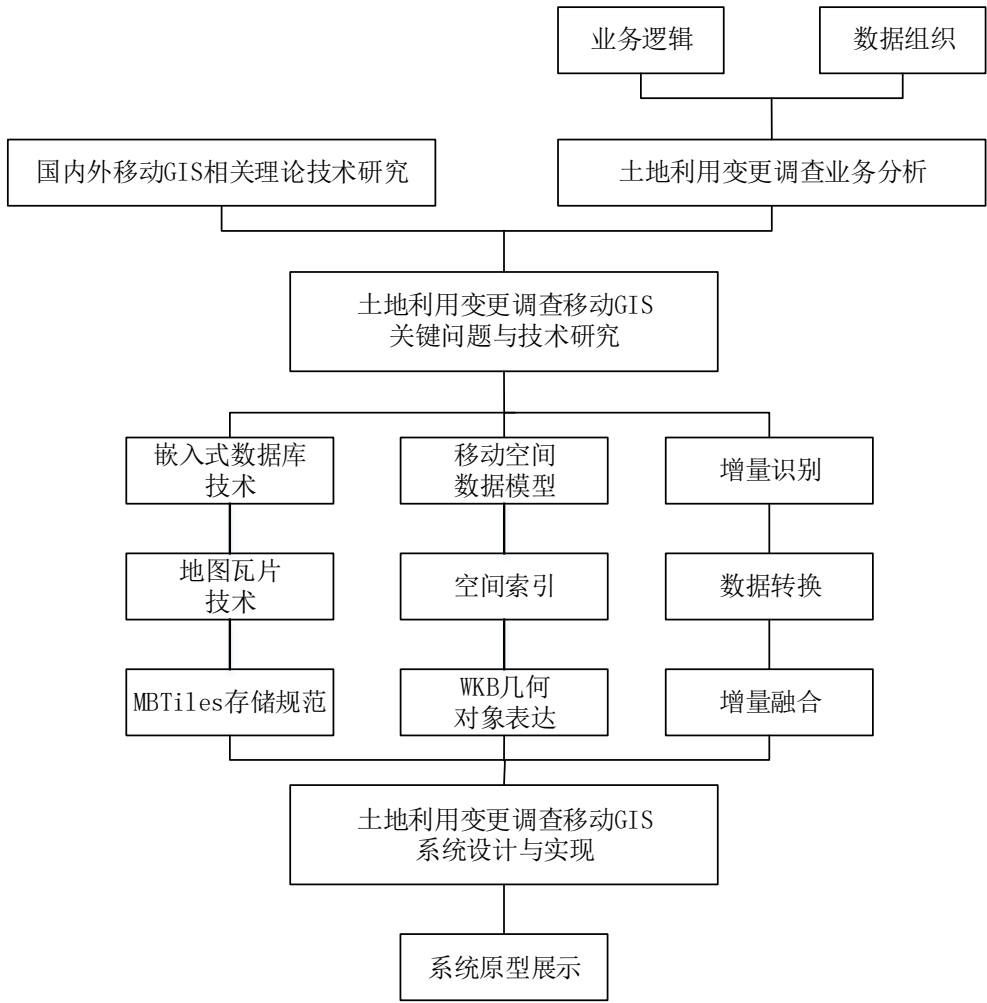


图 1-2 技术路线图

1.6 论文组织结构

第一章 绪论。介绍本文的研究背景、国内外研究现状、以及本文的主要研究内容、目的与意义，并给出本文的技术路线和组织结构。

第二章 移动地理信息系统概述。简要介绍移动地理信息系统的概念、特点与主要关键技术，为后续章节对其进行关键技术研究做铺垫。

第三章 移动终端数据组织与管理。重点研究基于嵌入式数据库的栅格数据存储、移动终端矢量空间数据组织与管理的理论及关键技术。

第四章 土地利用变更数据更新。介绍基于变更码的土地利用数据更新机制。

第五章 土地利用变更调查移动 GIS 系统设计与实现。根据前文的研究基础，设计原型系统验证本文所述移动 GIS 关键技术在土地利用变更调查中的可行性。

第六章 总结与展望。对本文的研究进行总结，并提出对下一步研究的展望。

第二章 移动地理信息系统概述

移动地理信息系统，简称移动 GIS，是以互联网及移动互联网为支撑，以嵌入式设备，如智能手机或平板电脑为终端，结合全球定位系统、北斗定位系统、移动基站为定位手段的地理信息系统^[29]，是继传统地理信息系统、网络地理信息系统之后的又一备受瞩目的技术热点。随着移动定位、移动办公等越来越成为企业和个人的迫切需求，移动 GIS 作为其核心部分的重要性日益凸显，各种基于地理位置的应用层出不穷。开放式的操作系统，高度集成的设计，工业级水平的防护，扩展的无线通信手段，专业级的 GPS 性能^[30]，强劲的硬件配置，良好的可扩展性，多元化的应用流域，使得移动 GIS 平台在国民经济重要行业取得了非常广泛的应用。

2.1 移动 GIS

2.1.1 移动 GIS 概念

移动 GIS (Mobile GIS) 是指运行于处理能力有限的移动计算环境中，主要为各种移动终端提供移动式、分布式的地理信息系统服务，是一种集成了地理信息系统、全球定位系统、移动通信三种技术的新型地理信息系统^[31]。它通过地理信息系统功能模块完成空间数据管理和分析，利用全球定位系统进行定位和跟踪，利用智能移动设备完成数据获取，通过移动通信技术完成图形、文字、声音、影像等数据的传输^[32]。狭义的运动 GIS 是指在移动终端上提供地理信息系统功能的 GIS 系统^[33]。广义的运动 GIS 是指集成了 GIS、GPS、无线通信等技术的 GIS 系统。本文中所涉及的移动 GIS 系统属于广义运动 GIS 的范畴。

移动 GIS 并不是桌面 GIS 和 WEBGIS 在移动智能设备上的简单移植^[34]。移动 GIS 系统可以认为是搭建于现代通讯技术之上的分布式 GIS 的发展和延伸^[35]，它继承了传统 GIS 对地理信息、位置信息以及相关属性信息的管理能力，同时又突破了传统 GIS 的地域限制，可以随时随地提供时空数据服务^[36]。

移动 GIS 通过综合运用全球定位系统的精确定位技术、移动设备的便携性、无线接入技术和传统地理信息系统的空间信息存储处理分析能力^[37], 为搭载了移动 GIS 系统的业务平台提供了实时获取、存储、更新、处理、分析和显示地理信息的能力^[38]。移动 GIS 在现在以及将来都具有非常巨大的发展潜力^[39]。

2.1.2 移动 GIS 体系结构

移动互联网是一种分布式系统, 而以移动互联网为支撑的移动 GIS 必然要采用更利于分布式架构的 C/S (客户端/服务器) 结构体系。客户端、服务器、数据服务器三部分构成了完整的移动 GIS 系统, 这三部分分别与移动 GIS 系统的表示层、逻辑层和数据层相对应^[40-42]。移动 GIS 体系结构如图 2-1 所示:



图 2-1 移动 GIS 体系结构

(1) 表示层

表示层位于整个系统体系结构的最外层, 与使用者直接面对面交互, 提供交互的界面, 其主要负责向使用者显示数据以及接收使用者的输入数据。移动 GIS 的表示层是指基于高速宽带和无线网络直接与移动用户交互的移动 GIS 客户端软件, 主要包括 WAP 浏览器、WEB 浏览器、笔记本电脑、PDA、移动智能通讯工具、车载终端、桌面个人电脑等软硬件设备。

(2) 逻辑层

逻辑层位于系统体系结构的中间位置, 负责在表示层与数据层之间进行数据控制与数据交换。移动 GIS 的逻辑层主要包括无线网关、网络服务器、地理信

息应用服务器等。逻辑层是整个系统的核心部分，主要负责从数据库服务器获取空间数据，进行空间操作和分析处理之后，将结果通过网络服务器向发起请求的表示层客户端提供响应。

无线网关用于中移动 GIS 各客户端与 WEB 应用服务器及 GIS 应用服务器之间的请求和响应；SMS/MMS 网关负责中移动设备的彩信、短信与 GIS 应用服务器之间的请求和响应，WAP 网关负责相互转换 WAP 与 HTTP 协议。

WEB 应用服务器用以处理与 HTTP 协议有关的请求，在用户客户端与 GIS 应用服务器之间架起沟通的桥梁。

GIS 应用服务器通过数据库管理系统获取数据库中的空间数据，并按照业务流程设计好的逻辑顺序处理分析空间数据，为 WEB 服务器提供响应。

（3）数据层

数据层位于系统体系结构的最内层，主要负责控制系统对数据库的访问，进行数据的写入与读取。移动 GIS 的数据层是移动 GIS 的数据存储中心，通过数据库管理系统管理数据库中的空间数据和属性数据，为逻辑层提供数据读取支持。逻辑层的 GIS 应用服务器通过空间数据库引擎与多源异构空间数据库交互，屏蔽底层数据库和网络连接的差异，从而使移动 GIS 系统在逻辑层有更好的灵活性与适应性。

2.1.3 移动 GIS 特点

移动 GIS 有别于传统的地理信息系统，其有如下显著特点：

（1）移动性

移动 GIS 运行于不受时空限制的各种智能移动设备之上，通过无线通信技术而不是传统有线方式与服务器端进行交互，可以随时随地为用户提供地理信息服务^[43]。移动性满足了土地资源调查等行业需要移动环境中使用 GIS 服务的需求。

（2）资源有限性

智能移动设备较于传统的个人电脑，在计算能力和存储能力上有所欠缺，同时移动 GIS 依靠无线网络进行数据传输，传输速率较慢，所以在进行移动 GIS 相关系统研制过程中，需要避免进行大量的无线数据传输、存储、运算。

(3) 平台多样性

移动 GIS 的运行设备不仅可以是普通个人电脑,更多的是各种智能移动终端如智能手机、车载机和其他专用 GIS 嵌入式设备。同时,移动 GIS 可以运行的软件环境也非常广泛,包括 iOS、Android、Windows Phone 等。

(4) 交互实时性

移动 GIS 可以及时对用户的请求进行响应,根据用户当前移动环境中随时间一直在变化的位置信息,提供准确可靠的地理信息服务。

2.1.4 移动 GIS 工作模式

移动 GIS 的工作模式按照是否可以实时保持数据连接分为在线模式与离线模式两种:

(1) 在线模式

移动 GIS 的在线模式是指其利用无线通信方式,如 GSM、CDMA、GPRS 等,实时访问网络,向后台应用服务器发送请求并接收返回的处理结果^[44]。这种工作模式的优点主要有:可以避免在客户端进行大量的空间数据存储、保持不同设备之间的数据同步更新、节省移动终端的计算资源,但缺点也非常明显,一旦网络出现故障无法连接,移动 GIS 即刻无法使用。

(2) 离线模式

移动 GIS 的离线模式是指事先通过有线连接或者硬拷贝的方式将空间数据传输至具有存储能力的移动终端内。移动终端通过 GPS 获取实时当前位置,结合移动终端的数据存储及处理能力,在移动终端完成对空间数据的存储、分析、显示等工作,为用户提供准确可靠的地理信息服务。离线模式的优点在于不依赖网络环境,即使网络状态不佳或者无网络状态下也可以提供服务,缺点主要体现在空间数据无法做到及时同步更新、对移动终端的硬件要求较高。

随着网络技术以及无线基础设施建设工作的快速发展,网络连接速度有了极大的提高,而且移动终端的硬件配置也日益强大,所以目前的移动 GIS 系统在设计研制时都会将以上两种工作模式结合起来,对于不需要经常变化的底图影像类数据采用离线的模式传输至移动终端,对于小量的对现势性要求较高的数据通过无线网络在移动终端与服务器之间进行传输。

本文所研究的移动 GIS 也将从土地利用变更调查的实际需求出发, 兼顾现有的无线网络现状, 针对栅格数据、矢量数据的存储、传输、更新需求, 研究更加适合土地利用变更调查的关键技术。

2.2 移动 GIS 关键技术

移动 GIS 的关键技术涉及面广, 主要的关键技术主要包括: 移动数据库技术、移动空间定位服务技术、无线通信技术。

2.2.1 移动数据库技术

移动数据库是指移动环境中的分布式数据库。移动数据库支持用户在多种网络条件下能够有效地访问, 完成移动查询和事务处理。移动数据库的关键技术包括复制和缓存技术、数据广播技术、位置管理、查询处理及优化、移动事务处理等。本文将主要研究移动 GIS 系统中本地即移动设备中的数据库存储技术, 用以完成对栅格瓦片数据、矢量空间数据的存储。

2.2.2 移动空间定位服务

移动空间定位服务也称位置服务, 指的是在移动计算环境下, 利用 GIS 技术、空间定位技术和网络通信技术, 为移动对象提供基于空间地理位置的信息服务。目前, 移动空间定位服务有三种实现定位的方法: 无线网络定位、GPS 定位和混合定位。

移动空间定位服务的基本原理是: 当移动用户需要信息服务或者监控管理中心需要对某移动终端进行移动计算时, 先由移动终端通过内嵌的定位设备如 GPS 获得终端本身当前的空间位置数据, 并实时地通过无线通信把数据上传到中心; 中心 GIS 服务器根据终端的地理位置、服务要求进行空间分析; 分析结果再下传到移动终端或中心的计算机上。

2.2.3 无线通信技术

无线网络是移动用户和有线网络之间最有效的桥梁，也是移动通信的关键载体。借助无线通信技术，可以摆脱电缆和网线的约束，无论在何时何地，都可以轻松地接入互联网。无线接入技术可以分为两类：一是基于无线局域网的技术，如蓝牙技术；二是基于蜂窝的接入技术，如 GSM、GPRS、CDMA 等。

2.3 本章小节

本章主要介绍了移动 GIS 的概念、体系结构、系统特点及工作模式，并对移动 GIS 主要的关键技术做了简要的介绍。

第三章 移动终端数据组织与管理

野外数据采集核查工作是土地利用变更调查数据质量的重要保证，此阶段主要根据前期内业解析判读的土地利用变化图斑信息进行外业调查核实。本章将针对土地利用变更调查中涉及到的关于影像数据存储、移动端空间数据组织管理、土地利用变更数据更新的移动 GIS 关键技术进行研究，以期解决移动 GIS 在土地利用变更调查中有关数据采集、存储、管理的相关问题，在保证数据质量的同时提高外业工作效率，促进土地资源调查手段在目前现有水平上的进一步发展。

3.1 基于嵌入式数据库的地图瓦片存储

3.1.1 SQLite 数据库

SQLite 是自 2000 年面世的一种轻量级、嵌入式的小型关系数据库，使用 C 语言编写，专为嵌入式设备设计开发，目前已在常见的移动操作系统如 Android、iOS 上得到了广泛的应用。SQLite 占用资源极少、支持 Windows、Linux、Unix 等操作系统，能够同时和多种编程语言结合，提供比较完整的数据库接口，可以被应用于任何领域。其主要特点如下：

（1）无需服务器

大部分 SQL 数据库都需要一个独立的服务器进程来保证其正常执行，其通过与服务器进程之间的通信完成数据交互流程，而 SQLite 直接通过对磁盘数据进行操作的方式省去了中间的服务器端进程，从而省去了数据库服务器的安装、配置、管理和维护等复杂的过程。

（2）高度独立性

SQLite 使用 C 语言实现，使用了较少量的 C 标准库函数，不过度依赖外部库的支持，可以很好地运行于只有少量外部库的嵌入式设备。同时，对于移动设备不同的系统架构、编码结构、系统类型，SQLite 都能做到透明处理，具有优秀的移植特性。

（3）零配置特性

SQLite 数据库无需安装、配置、开启或关闭服务器进程，也不需要通知操作系统其正在运行，即 SQLite 完全抛弃了传统数据库需要 DBA（数据库管理员）的思想，只需要少量的内存，其即可自行工作，为上层应用提供基础的数据服务。

（4）符合 ACID 标准

SQLite 数据库符合 ACID 标准，满足数据库事务正确执行的四个基本要素：原子性、一致性、隔离性、持久性。具备了上述四种特性即表明 SQLite 数据库是支持事务的数据库系统，在事务过程中可以保证数据的正确性。

（5）单数据库文件

SQLite 数据库文件以单个二进制文件的形式进行存储，为能够读取此二进制文件的程序提供完整的数据库服务，虽然降低了数据库的安全性，但更好地提高了数据访问的便捷性。同时 SQLite 最大支持数据库高达 2T，并且可以在不同的设备上使用同样的一个数据库文件。

鉴于 SQLite 在移动设备上的诸多优点，本文对土地利用变更调查移动 GIS 关键技术研究中间数据、底图瓦片数据都使用 SQLite 进行存储。

3.1.2 地图瓦片技术

地图瓦片技术被广泛使用于网络地理信息系统的地图预生成过程中，也被称作地图预缓存技术。地图瓦片技术是将某一划定范围的地图图片，按照固定的多个比例尺以及固定图片大小，切成若干行和列的矩形图片，并将图片按照一定的格式保存，得到的每一块图片被称作瓦片（tile）^[45]。所得瓦片按照一定的组织规则存放于文件系统或数据库系统，形成类似金字塔模型的瓦片地图。

（1）瓦片金字塔构建原理

瓦片金字塔模型是一种分层结构模型，从金字塔底层到顶层，地图分辨率逐渐降低，但都表达同样的地理范围^[46]。瓦片金字塔构建原理如下：

第一步需要确定所要构建瓦片地图缩放级别的数量 X ，同时定义比例尺最大、缩放级别最低的图层为瓦片金字塔的底层，即第 0 层，定义地图图片的左上角（或左下角，依据具体的切片协议而定）为原点，由左向右、由上向下依次进行切割，分割形成固定大小的矩形（一般为正方形）地图瓦片，由此构成第 0 层的瓦片矩阵。第二步在第 0 层地图图片的基础之上，按照每 2x2 像素合并成一个像素的方

法生成第 1 层地图图片，并按照第一步中同样的分割方法对其分块，形成第 1 层地图瓦片矩阵。依次对余下的所有级别地图图片采取同样的步骤，直到第 X-1 层，构成整个瓦片金字塔^[47]。

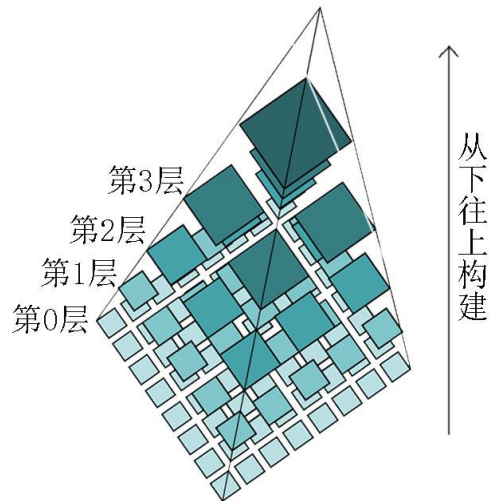


图 3-1 瓦片金字塔

（2）地图瓦片存储规则

地图瓦片需要包含缩放级别、长宽、行列等显性信息以及投影系统、瓦片原点等隐性信息^[48]，前者需要在进行地图切片的时候建立索引关系，后者则可直接放于元数据表中作为地图瓦片相关参数。

关于在线地图瓦片服务规范，目前有两个常用的版本，一个是由 OSGeo (Open Source Geospatial Foundation) 较早制定的 TMS (Tile Map Service) 规范，以及由 OGC (Open Geospatial Consortium) 制定的 WMTS (Web Map Tile Service) 规范，目前使用较多的是 WMTS 规范。

TMS 与 WMTS 差异主要体现在协议与瓦片组织方式上：

1) 协议

TMS 只支持 RESTFUL 协议，WMTS 支持 KVP、SOAP、RESTFUL，所以 WMTS 比 TMS 具有较强的适用范围^[49]。

2) 瓦片组织方式

TMS 与 WMTS 在瓦片组织方式上的区别主要集中在瓦片原点位置、瓦片形状尺寸、纵轴方向。TMS 与 WMTS 组织方式分别如图 3-2 和图 3-3 所示：

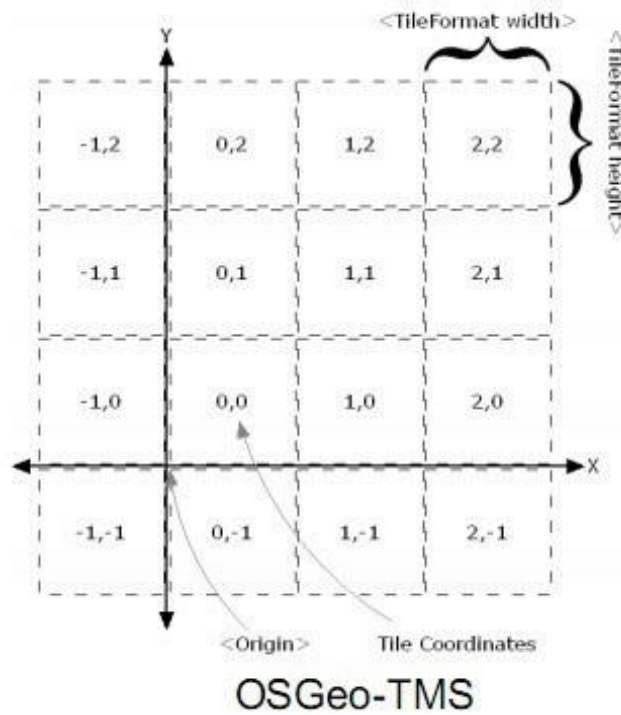


图 3-2 TMS 瓦片组织方式

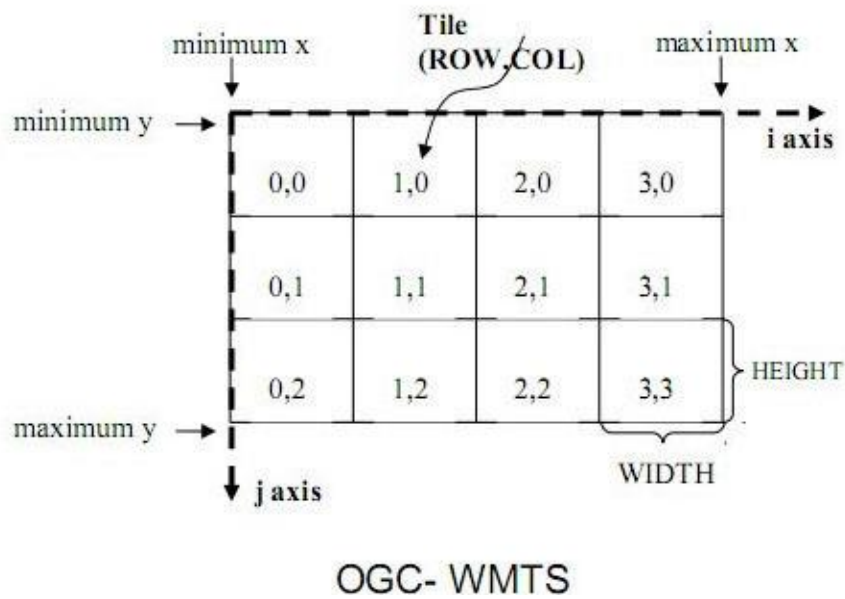


图 3-3 WMTS 瓦片组织方式

在对比 TMS 与 WMTS 瓦片存储方式的不同之前，需要先确定如下瓦片地图相关参数的概念：

a) 瓦片原点

地图瓦片矩阵的起始点位置，图 3-2 中 x，y 轴相交的点，图 3-3 中坐标为 minimum x 与 minimum y 的点。

b) 横轴纵轴

图 3-2 中 x 轴与图 3-3 中 i axis 轴为地图瓦片横轴, 图 3-2 中 y 轴与图 3-3 中 j axis 轴为地图瓦片纵轴。

c) 瓦片高度宽度

瓦片高度宽度用以表示单个瓦片的大小尺寸, 图 3-2 中 TileFormat Height 与图 3-3 中 HEIGHT 表示瓦片高度, 图 3-2 中 TileFormat Width 与图 3-3 中 WIDTH 表示瓦片宽度。

d) 比例尺

比例尺表示地图图上距离与相应实地距离的比值。

e) 分辨率

瓦片分辨率表示每英寸瓦片所包含的像素点数。

TMS 的瓦片原点理论上可以在任何位置, 但一般位于地图左下角。WMTS 的瓦片原点位于地图的左上角; TMS 规定瓦片必须是正方形, 而 WMTS 中瓦片可以为矩形, 即瓦片长宽可不同; TMS 纵轴由瓦片原点向上, WMTS 纵轴由瓦片原点向下。

同一张地图使用 TMS 与 WMTS 规则进行瓦片分割, 会得到完全不同的瓦片形式^[50], 在使用中需要选择合适的规范, 必要时可以对两种规范的瓦片组织方式进行转换。具体转换方式为:

假定同一张地图在 WMTS 规范下的某一块瓦片行列号为 i 和 j, 所在缩放级别为 n, 则对应 TMS 中列号不变仍为 j, 新的行号 new i 为:

$$\text{new i} = \text{Math.pow}(2, n) - 1 - i$$

3.1.3 瓦片数据库存储

目前已有使用数据库进行瓦片存储的方式出现, 最具代表性的当属 MBTiles 规范。MBTiles 是一种地图瓦片存储的数据规范, 它使用 SQLite 数据库存储地图瓦片, 可提高海量瓦片数据的读取速度, 远比通过瓦片文件方式的读取速度快, 适用于 Android、iOS 等移动智能设备的离线数据存储。

但标准的 MBTiles 规范有其局限性, MBTiles 规范限定了切图数据源的参考系、比例尺集合, 即不支持非 Web 墨卡托投影、非谷歌地图比例尺的地图瓦片。

本文参考 MBTiles 规范中的数据组织规则，在保留其现有优点的基础之上，对数据组织结构进行扩展，使其可以支持任意投影系统、以及任意分辨率，可以更加方便地用于土地利用变更调查实践之中。

基于 MBTiles 规范改进的地图瓦片包主要包含：

(1) 元数据表

元数据表 metadata，用于存储地图瓦片的参数信息。包括图名、描述、范围、原点位置、坐标系代码、切片格式、切片大小、分辨率集合、比例尺集合、版本等信息。为使用该瓦片包的地图应用程序提供地图初始化中需要的相关参数信息。元数据表结构如表 3-1 所示：

表 3-1 元数据表 metadata

字段名	数据类型	说明
name	TEXT	属性名
value	TEXT	属性值

表 3-2 元数据表 metadata 中键值说明

字段名	说明
name	地图名称，存储当前瓦片地图名称
description	地图描述信息，除地图名称外的地图描述信息
bounds	瓦片地图的切图范围，单位与地图单位一致
origin	瓦片原点的位置
wkid	地图坐标系代码（EPSG Code）
format	瓦片存储格式（jpg 或 png）
tile_height	瓦片高度，默认为 256
tile_width	瓦片宽度，默认为 256
resolutions	分辨率集合，各级瓦片对应的分辨率的值
scales	比例尺集合，各级瓦片对应的比例尺的值
version	版本

(2) 瓦片索引表

瓦片索引表 map，用于存储用来定位瓦片数据的值和瓦片 ID，支持任意比例尺和分辨率。瓦片索引表结构如表 3-3 所示：

表 3-3 瓦片索引表 map

字段名称	数据类型	说明
zoom_level	INTEGER	瓦片对应的缩放级别
tile_column	INTEGER	瓦片所在的列
tile_row	INTEGER	瓦片所在的行
tile_id	TEXT	地图瓦片标识
resolution	DOUBLE	瓦片对应的分辨率

(3) 数据存储表

数据存储表 images，用于存储地图瓦片所对应的地图图片的二进制文件。数据存储表结构如表 3-4 所示：

表 3-4 数据存储表 images

字段名	数据类型	说明
tile_data	BLOB	二进制的地图图片
tile_id	TEXT	地图瓦片标识

(4) 与现有瓦片存储技术对比

现有的离线地图数据包主要有 ESRI 较早发布的离散型的瓦片文件包、最新发布的紧凑型的 Tile Package（简称 tpk 包）、SuperMap 紧凑型缓存、标准的 MBTiles 瓦片包等。各种瓦片存储方式各有优缺点：

ESRI 离散型瓦片文件包，是将所有的瓦片按照一定的组织方式存储于文件夹目录中，常见于 WEBGIS 地图中，优点主要有支持多种投影、多种分辨率，缺点是使用中磁盘 I/O 效率低下，并且文件夹存储方式不便于文件传输移植。

SuperMap 紧凑型缓存，也是将所有瓦片存储于离线的文件中，但将一个区域的瓦片存储于一个 cf 文件中，可以减少磁盘 I/O，提高效率，优点是支持不同投影、多种分辨率，缺点是不方便移植且 cf 文件格式不公开。

ESRI 紧凑型 Tile Package，是将所有的瓦片存储于压缩包中，并采用同 SuperMap 紧凑型缓存类似的技术将多瓦片存储于一个 Bundle 中，大大减少磁盘 I/O，提高效率，优点还有支持多种移动平台、支持多种投影、多种分辨率、单一文件利于数据移植，缺点是其 Bundle 文件格式不公开。

符合 MBTiles 标准规范的瓦片包,是将所有的瓦片按照一定的组织方式存储于 SQLite 数据库中,形成单一数据文件,优点是支持多种移动平台、存储格式公开、方便移植,缺点是只支持 Web 墨卡托投影、只支持谷歌地图比例尺。

本文基于 MBTiles 规范改进的地图瓦片包,扩展了 MBTiles 的存储方式,在保留了其优点的基础上,支持任意投影、任意比例尺,满足了我国土地利用变更调查的数据要求。

3.2 移动终端矢量空间数据组织与管理

研究移动终端空间数据组织与管理必然需要面对以下两个问题:如何构建移动终端空间数据模型,用以解决空间数据表达的问题;如何建立移动终端空间数据索引机制,用以解决空间数据存储以及使用的问题。

3.2.1 移动矢量空间数据模型

空间数据模型是以计算机能够接受和处理的数据形式,反映空间实体的某些结构特点和行为属性,按照一定的方案建立起来的数据逻辑组织方式^[51],是对现实世界的抽象表达,它提供了如何使用数据库进行空间数据组织与存储的方法^[52]。即空间数据模型是一种概念集合,具有特定的性质,用来描述空间数据组织、空间实体之间的关系^[53]。

目前空间数据的组织方法主要有分层组织法与分要素组织法两种^[54]。空间数据分层组织的思想类似于瓦片金字塔,将地理空间数据根据要素类型的不同划分成不同的图层^[55],图层与图层之间相互独立,分层组织法数据结构简单,但如果需要分析不同图层之间的空间关系,则必须通过额外的叠置分析才可以实现;分要素组织法则是将同层或者不同层空间要素作为基本表示单元,多个同类要素构成一个要素类,多个不同类要素构成一个复杂要素,不同要素之间相互关联,分要素组织法能够较好地表达要素之间的关系^[56],但数据结构复杂,应用并不广泛。

本文在移动终端进行矢量空间数据存储时，对空间数据的组织选用地理信息系统中常用的分层组织法^[57]，对矢量数据按照图层进行管理，图层中包含点、线、面等地理空间对象。空间数据组织结构如图 3-4 所示：

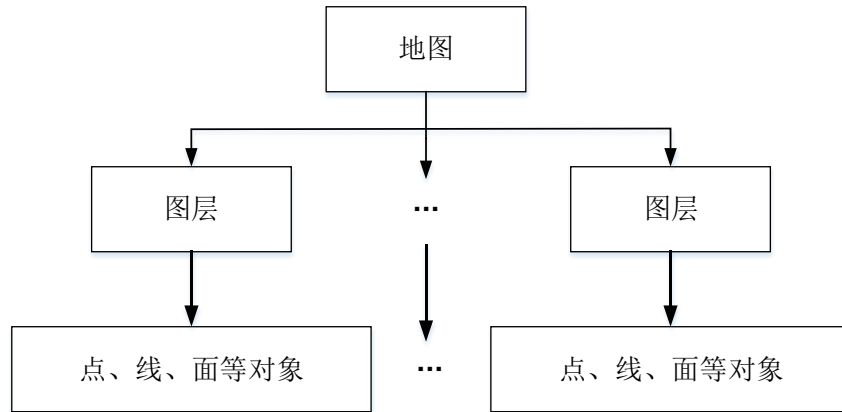


图 3-4 空间数据组织结构

3.2.2 空间数据索引

空间数据索引是一种按照一定组织规则排列的数据结构，其存储了空间对象实体的位置、形状及相互之间的空间联系^[58]。空间数据索引主要包含空间实体对象标识、对象最小外接矩形、对象实际数据存储位置等空间实体概述信息。空间数据索引介于空间对象实体与空间操作算法之间^[59]。通过空间索引算法，可以在空间数据索引结构中快速查询匹配空间实体对象，在大量空间数据存储中可以避免无意义的查询，从而大大提高空间操作的效率^[60, 61]。

目前在地理信息系统中常用的空间数据索引根据分割原理的不同主要有两种，基于空间区域分割和基于空间对象分割。基于空间区域进行分割是指将空间划分为若干个区域，每个区域中包含空间对象唯一的标识符、最小外接矩形、指向空间实体对象的指针^[62]；基于空间对象分割是指将空间划分为多级子空间，一个空间实体对象完全落入某个子空间范围之内。根据这两种分割原理，科研工作者们建立起基于格网的索引，基于树的索引以及混合索引相关理论。

(1) 基于格网的索引

基于格网的索引主要通过使用动态哈希函数进行记录的定位查找，主要原理是将空间区域使用横竖线划分成若干个互不重叠的规则格网，每一个格网之内的空间对象所对应的唯一标识符与最小外接矩形存储于一个存储单元之中。当需要

进行空间操作的时候,计算出所查询空间对象所在的格网,然后通过该格网中存储的指向磁盘页的指针,在磁盘页中进行精确查找^[63]。

基于格网的索引主要分为基于固定格网的索引、基于多层次格网的索引以及自适应格网索引^[64]。基于固定格网的索引是将索引空间划分成多个子空间,每个子空间的大小尺寸相同,使用格网的行列号表示,对应着一个格网目录。指向磁盘页的指针存储于相应的格网目录中,而所有落在相应格网范围之内的空间对象存储于对应的磁盘页上。基于多层次格网的索引的基本原理是先将地理空间划分成大小相同的矩形子空间,构成一级格网,在一级格网的基础之上,将包含空间对象的子空间再进行一次划分,以此类推,直到每个空间对象都被包含在某一个子空间中。自适应格网索引按照一定的策略将索引空间中实体对象最小外接矩形的长或宽作为划分格网的标准,达到让各个空间对象都能落入某一个格网之目的,从而减少了大量索引信息的重复存储,提高检索效率。

基于固定格网索引的算法原理简单,适合点查询,但在建立索引之前需要知道整个地理空间的大小,这样使索引算法不具广泛的适应性。同时,格网划分的方式直接影响索引的数据量和性能,格网划分得越小,同一个对象被重复记录的次数越多,数据冗余严重,并且搜索效率降低,格网划分得越大,单个格网存储的空间对象增多,搜索精度降低。基于多层次格网的索引对比固定格网索引,有二级链表,存储机制比较复杂,虽然克服了索引信息重复存储的缺点,但高层索引的查询效率随着空间对象实体数量的增加而呈现几何指数降低。自适应格网索引中每个空间对象都具有自己唯一的索引信息,避免了同一对象索引在不同地方的重复存储^[65],同时由于利用空间对象的最小外接矩形的长或宽进行格网划分,解决了多层次格网中划分标准无法控制的问题,使得高层索引中所记录的空间对象数量适中,不影响查询效率。但自适应格网索引和所有的格网索引一样,由于都需要预知地理空间的范围,不能较好地实现对空间数据的动态操作^[65]。

(2) 基于树的索引

基于树的索引在空间数据存储中应用十分广泛,主要有基于二叉树的 K-D、K-D-B、H-B 等,基于四叉树的点四叉树、区域四叉树、CIF 四叉树等,基于 B 树的 R 树及其各种变种^[66]。

二叉树是每个节点最多只有两个子树的有序树结构，可以按照线性次序进行排序^[67]。二叉树索引使用二分法重复进行地理空间划分，从而达到提高查询性能的目的。二叉树划分方式与索引结构如图 3-5 所示：

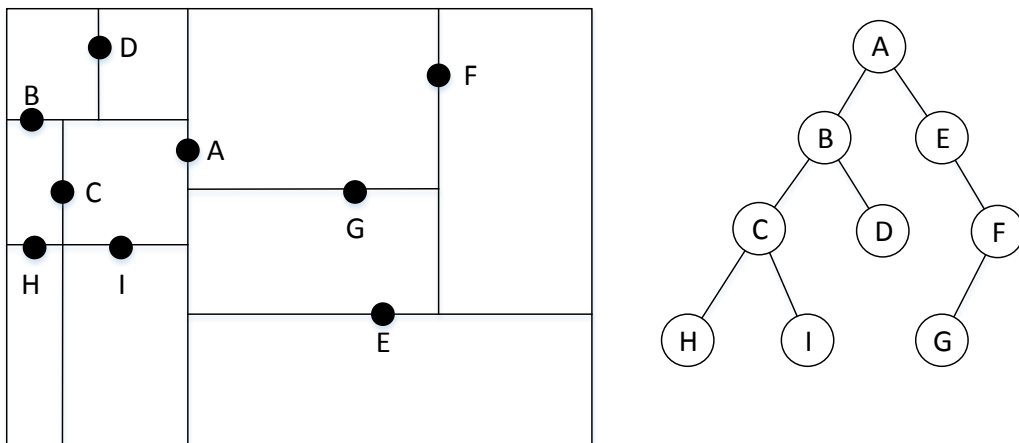


图 3-5 二叉树划分方式与索引结构

四叉树索引对地理空间进行网格划分，利用递归四分来构建树形索引，形成一棵有层次的四叉树。四叉树的非叶子节点用以存储当前划分空间的区域范围^[68]，并不存储其他任何信息，叶子节点除了存储当前划分空间的区域范围以外，还存储当前划分空间范围内的空间对象。四叉树索引生成维护简单方便，适合空间对象在空间内均匀分布的场景使用。四叉树划分方式与索引结构如图 3-6 所示：

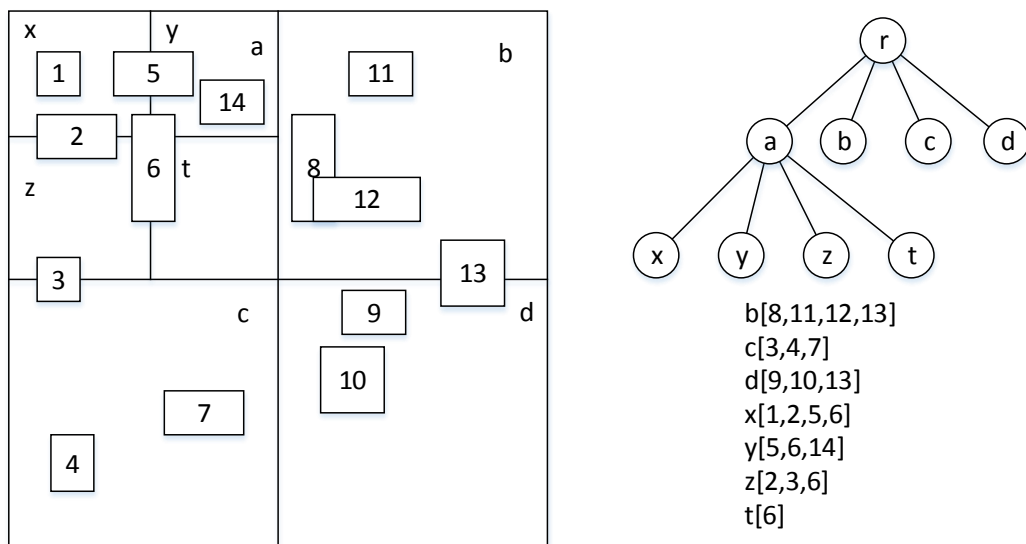


图 3-6 四叉树划分方式与索引结构

R 树索引基于面向对象的索引算法，将地理空间按照范围进行划分，每个节点对应于一个区域与磁盘页，叶子节点用以存储对应区域范围内所有空间对象的

最小外接矩形，非叶子节点用以存储其所有子节点的最小外接矩形^[69]。建立 R 树索引不需要提前预知整个地理空间范围，使用灵活，允许索引空间重叠的特性使得索引记录插入、删除操作更加方便。R 树划分方式与索引结构如图 3-7 所示：

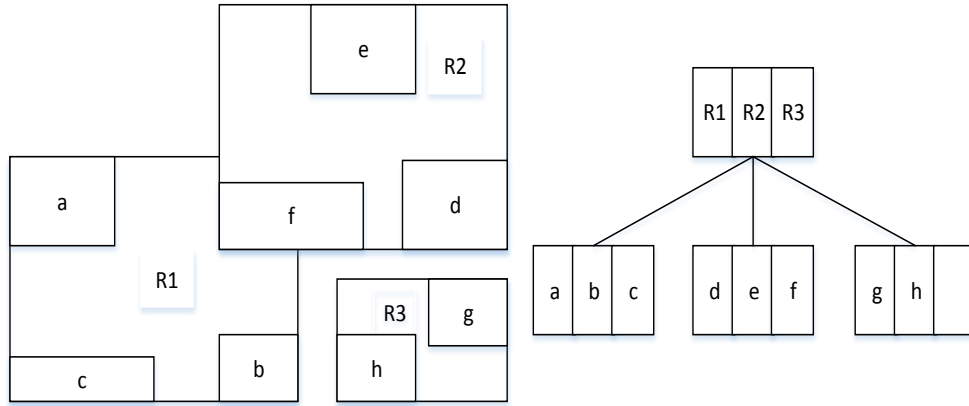


图 3-7 R 树划分方式与索引结构

(3) 混合索引

由于空间数据的复杂性，目前并没有一种完美的空间数据索引，每一种空间数据索引都有其自身的特点与相应的适用情景。在实际使用过程中，两种或者多种索引被混合起来使用，尽量兼顾多种索引的优点，提高数据查询存储的效率。常见的有格网和四叉树混合索引、四叉树与 R 树及其变种构成的混合索引。

针对移动 GIS 的特点，单一的空间数据索引并不能很好满足移动 GIS 中数据组织管理的需求，需要尝试建立新的空间索引或者将已有的空间索引根据相应特点进行组合，本文在现有空间索引理论的基础上，在参考科研工作者提出的各种空间索引混合组织形式后，尝试使用一种适合移动 GIS 使用的基于四叉树和 R 树的 QR 树混合空间索引。

3.2.3 基于四叉树和 R 树的混合空间索引

基于以上对于空间索引理论的研究，本文将四叉树的组织原理应用于 R 树索引构建过程中，形成基于四叉树与 R 树相结合的混合空间索引 QR 树。

(1) 基于四叉树与 R 树混合空间索引结构

基于四叉树与 R 树的混合空间索引 QR 树中，整个地理空间被四叉树划分为多个子空间，对每级子空间利用 R 树索引管理空间索引项，以达到提高查询性能的目的。

QR 树主要由根节点、叶子节点与四分节点构成，根节点存储整个地理空间的最小外接矩形与无法存入任何子节点的地理空间对象，即划分空间范围时“压线”的地理空间对象；四分节点存储当前区域的最小外接矩形以及对当前区域进行再次四分时“压线”的地理空间对象；叶子节点存储地理空间对象的最小外接矩形以及唯一标识符。

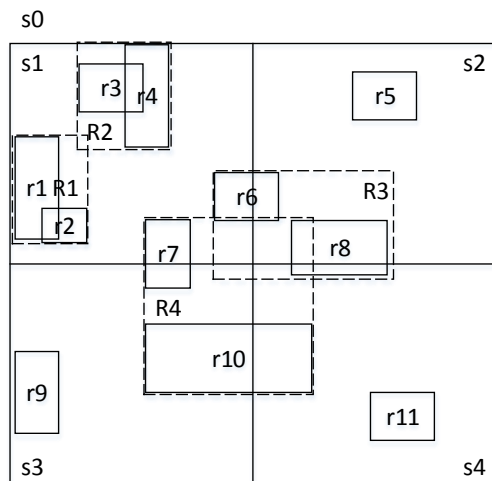


图 3-8 QR 树划分方式

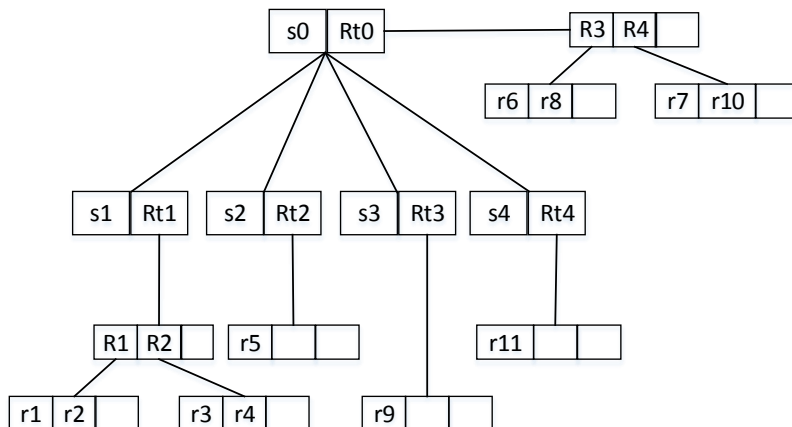


图 3-9 QR 树索引结构

(2) 生成算法

按照自顶向下的生成算法构建基于四叉树和 R 树的混合空间索引 QR 树。首先构建包含整个地理空间的最小外接矩形 **Root**，作为根节点；其次，利用横轴以及纵轴方向的平行线将地理空间划分为四个部分，划分规则是尽量保持每个部分中所包含的地理空间对象数目基本相等，分别将这四个部分的最小外接矩形存于根节点的四个孩子节点中，建立孩子节点与根节点的链接关系，与分割线相交的空间对象的标识符与最小外接矩形存储于中间节点对应的 R 树中，不相交的

空间对象的标识符与最小外接矩形存储于子节点中，对四个根节点进行递归操作，实施同样的划分及存储方法，直至所有的数据处理完毕。这样，一颗基于四叉树与 R 树的混合空间索引 QR 树构建完毕。

（3）插入算法

向已经构建完成的 QR 树中插入新的记录项时，如果需要插入的节点位置存储的空间对象数目未超过阈值，则直接插入到该节点即可，否则需要对当前节点进行四分处理，将待插入的索引项与当前节点存储的索引项重新按照索引规则进行局部更新。QR 树的插入算法可以描述如下：

第一步，计算待插入空间对象的最小外接矩形，通过查询算法搜索包含该最小外接矩形的叶子节点。

第二步，判断叶子节点中所包含的空间对象数量是否超过阈值，不超过则直接将待插入索引项插入到当前叶子节点中，若超过则执行第三步。

第三步，将当前叶子节点进行四分处理，使叶子节点变成中间节点，利用原有叶子节点的各项索引项以及待插入索引项构建新的 R 树，并将相关信息存于中间节点之中。

（4）删除算法

删除一个空间对象时，根据其索引记录项的最小外接矩形判断其所在的节点，在节点中进行唯一标识符匹配，匹配成功则进行删除。由于删除操作后，QR 树结构发生变化，需要进行 QR 树的局部调整。QR 树的删除算法描述如下：

第一步，记录所需删除的索引项，设定根节点为当前操作节点。

第二步，如果当前操作节点为叶子节点，判断待删除索引项是否包含于当前节点，如果包含则删除索引记录项，执行第四步。

第三步，如果当前操作节点为中间节点，判断待删除记录项是否存于其关联的 R 树中，如果存在，使用 R 树删除算法将其删除，如果不存在，递归中间节点的所有子节点，进行查询删除操作。

第四步，判断是否删除成功，失败则返回错误码并结束，成功则从删除索引记录项所在的节点自下向上，依次调整所经过路径节点的最小外接矩形。

（5）查询算法

空间查询一般可以分为点查询与范围查询，根据点或者范围的不同，查找满足条件的单一目标或者目标集，点查询与范围查询基本相同，点查询可以看作是范围非常小的范围查询，同时，点查询结果往往是 0 或者 1 条记录，而范围查询结果一般是多条记录。QR 树的范围查询算法可以描述如下：

第一步，判断范围窗口与根节点最小外接矩形是否相交；如果不相交，则直接返回无结果，如果相交，则执行第二步。

第二步，如果范围窗口大于根节点最小外接矩形并完全包含根节点最小外接矩形，则直接返回所有记录，否则将范围窗口与根节点最小外接矩形进行相交判断，重叠范围作为新的范围窗口，执行第三步。

第三步，将新范围窗口与 QR 树根节点的孩子节点执行第二步（需将根节点替换为孩子节点），如果当前孩子节点为叶子节点，则将其所有记录与新范围窗口进行相交判断，相交结果放入结果集；如果当前孩子节点为中间节点，则需循环对其孩子节点进行查询分析，直至达到叶子节点为止。

第四步，返回结果集。

（6）性能评估

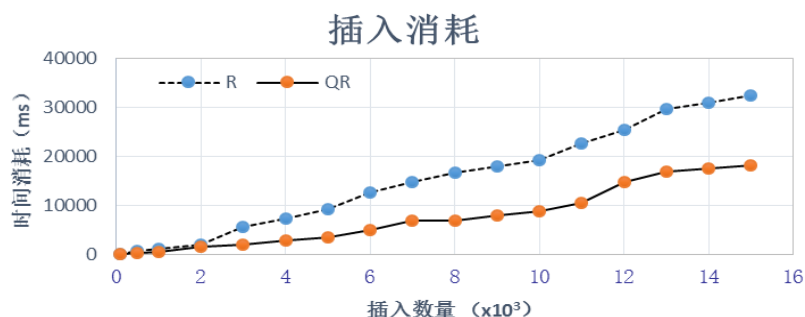


图 3-10 插入消耗对比

如图 3-10 所示为 QR 树与 R 树插入数据的时间消耗对比图。随着数据量的增加，索引树的深度会逐渐增加，对于 R 树索引来说，深度越大，插入某一个对象时查询节点过程中的计算量越大，插入的效率低，消耗时间越多，而对于 QR 树来说，插入某一个对象时根据待插入对象与索引空间的中心点相对位置判断插入点是子节点还是对应的 R 树，中间过程简单明了，无需复杂计算，效率较高。

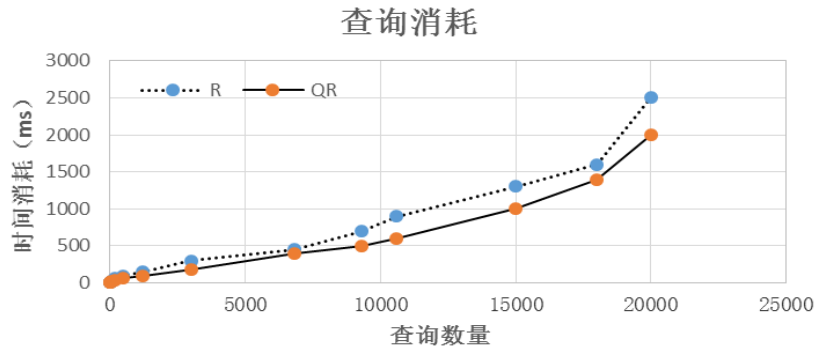


图 3-11 查询消耗对比

如图 3-11 所示为 QR 树与 R 树查询数据的时间消耗对比图。QR 树中的四分节点深度比 R 树深度小，同时保存的对象按照四分节点中心点进行分布，分布情况相对比较均匀，在查询过程中，QR 树比 R 树存在略微优势。

在删除操作中，由于删除对象所处位置的不同，会出现局部索引重建的可能，极端情况下，会发生整个索引空间重建的情况，所以删除操作的性能受所删除的空间对象位置影响较大，QR 树与 R 树在删除性能上的比较意义不大。

综上，基于四叉树与 R 树混合空间索引 QR 树的插入、删除、查找算法的效率优于 R 树，且随四叉树深度越大，性能越好，但同时需要的存储空间也越大。

此外，基于四叉树与 R 树混合空间索引 QR 树的存储空间大小与四叉树的深度成正比，四叉树深度越大，耗费的存储空间越大，但实际使用过程中，四叉树深度一般取 2 或 3 即可；另外，当索引的目标越多时，存储空间与纯粹的 R 树索引一致。

所以，基于四叉树与 R 树的混合空间索引 QR 树的最大优点在于在选择合适的四叉树深度之后，可以用较小的空间数据量耗费换取较大性能的提升。

3.3 本章小节

本章研究了土地利用变更调查移动 GIS 中有关数据组织与管理的关键技术：基于嵌入式数据库的瓦片存储技术可以大大提高在移动设备上读取显示栅格地图的速度，并且便于移植；移动终端矢量空间数据组织与管理技术中利用基于四叉树与 R 树的混合空间索引技术 QR 树，解决矢量空间数据如何在移动终端进行存储与管理的问题。

第四章 土地利用变更数据更新

土地利用变更数据在外业采集过程中存储于移动终端设备中，采集完成后，需将最新的调查数据与原有的土地利用数据进行同步更新，从而保持土地利用数据库中土地资源数据的现势性。由于空间数据的复杂性，以及当多移动终端同时进行空间数据采集时，多项同区域不同要素成果数据与原有数据之间的更新情况更加复杂。在进行空间数据采集以及数据变更时需要选择适合的数据更新模式以及良好的数据更新规则，建立可行的数据更新流程，从而保证土地利用变更数据的正确性、现势性。

4.1 空间数据更新模式

目前，空间数据更新模式主要有三种，分别为：整体更新、固定变化更新以及增量更新。

4.1.1 整体更新

空间数据整体更新是指将地理空间分为若干个区域，对每一个区域内的数据，使用新数据整体替换旧数据，忽略区域内变化要素与未变化要素之间的差异。整体更新具有生产组织管理比较方便、技术工艺简单易于掌握的优点，但由于区域划分范围不同时，不利于历史数据保留（当区域范围较大时），或者为保留历史数据形成大量数据冗余（针对区域范围较小时）^[70]。

4.1.2 固定变化更新

空间数据固定变化更新是指当数据变化量达到预设的程度之后，才对数据进行整体更新，即在整体更新之前加入时间累计的因素，将整体更新的工作量以及数据冗余在时间上面予以摊薄^[71]。

4.1.3 增量更新

空间数据增量更新的前提是变更数据需采用面向对象的数据模型进行地理空间要素存储^[72]，此种类型的空间要素相互独立完整，对单个要素的增加、删除、修改不影响其他要素（拓扑关系为隐形关联，可在分析时临时建立）。增量更新只对发生变化的空间要素进行记录并更新，将变更部分组成更新增量包。增量更新可以很大程度上减少空间数据更新的工作量、提高数据更新的效率^[73]。

4.2 土地利用数据更新内容及方法

土地利用数据更新是根据外业调查结果，对地类图斑、零星地物、线状地物以及地类界线层进行更新^[74]。

土地利用变更的基本方法主要有图斑灭失、属性变更、图形变更、图斑新增和无变化五种^[75]，其他所有复杂变更操作都是在此五种方法基础之上按照一定操作顺序的组合。

零星地物变更主要通过灭失、新增以及属性变更；线状地物变更主要通过灭失、新增、打断以及属性变更；地类界线层可以通过地类图斑的边界生成，一般在数据更新后期直接根据最新的地类图斑层生成；地类图斑变更比较复杂，主要分为以下几种情况：

- （1）地类图斑调整。通过修改图斑图形节点的方式达到调整某单一图斑面积大小的目的。
- （2）分割地类图斑。将原始地类图斑进行分割，形成两个或多个新图斑，实质为原始图斑的灭失以及多个新图斑的新增。
- （3）合并地类图斑。将两个或多个已有的地类图斑合并成一个新地类图斑，实质为多个原始图斑的灭失以及单一新图斑的新增。

4.3 基于变更码的增量数据更新机制

根据移动 GIS 在土地利用变更调查中的实际需求,本文采用一种基于变更码的增量数据更新方式,将变更数据从移动 GIS 系统中导出,与已有土地数据管理系统进行数据更新。

(1) 数据更新机制

根据土地利用数据变更的基本方法,针对土地利用数据添加变更码字段,设定对应于基本变更方法的属性。移动终端每一次进行数据变更时,同步更新相应图层中变化要素的变更码字段。外业数据采集调查结束之后,通过数据的唯一标识码以及变更码生成增量更新数据包及更新日志文件,用于与现有土地利用数据管理系统进行数据更新。基本变更码字段属性对照表如表 4-1 所示。

表 4-1 基本变更码字段属性对照表

序号	基本变更方法		对应字段属性
1	灭失		10
2	新增		20
3	无变化		30
4	图形 变更	界限调整	41
		分割	42
		合并	43
5	属性变更		50

其中,属性变更是指图斑只发生属性信息变化,而图形信息不变。

变更码由基本变更码按照顺序排列构成,主要由分别代表要素变更、图形变更、属性变更的六位字符构成,变更码组织规则如图 4-1 所示:

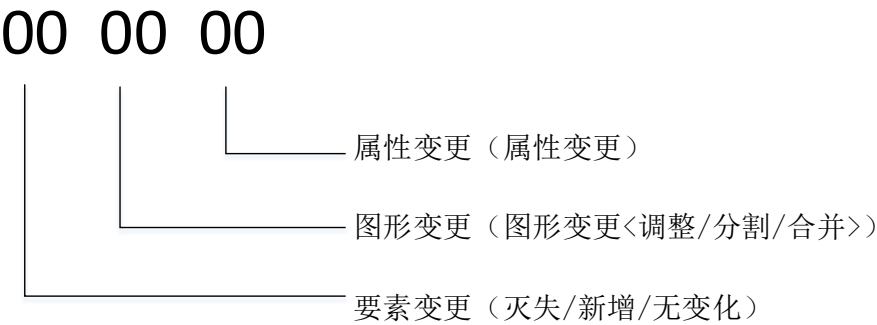


图 4-1 变更码组织规则

其中，变更码前两位表示要素变更状态，对应于基本变更码中的灭失、新增与无变化，指示当前图斑在要素方面的变化情况，如果未发生灭失、新增、无变化等情况，默认为 00；变更码中间两位表示图形变更状态，对应于基本变更码中的图形变更，指示当前图斑在图形方面的变化情况，如果未发生图形变更情况，默认为 00；变更码最后两位表示要素属性变更情况，对应于基本变更码中的属性变更，指示当前图斑在属性方面的变化情况，如果未发生属性变更情况，默认为 00。

例如变更码 004150 表示当前图斑发生图形调整并切属性发生变化。

(2) 数据更新规则

首先，土地利用调查数据要素具有唯一标识码字段，每一个地类要素具有唯一编号的标识码。图斑、界址线、界址点、零星地物的标识码以所在行政村代码为依据进行统一编排^[76]；线状地物则以所在县级行政区代码为依据进行统一编排。在数据变更过程中，如果地类要素图形未发生变化，则其标识码保持不变。如果地类要素图形发生变化，则必须新建标识码，原有标识码不再复用，只作为历史记录查询。地类要素在分割之后，新要素在原有标识码的基础之上添加支号并顺序编排标识码；多个要素合并形成的新要素，其标识码以合并前图斑最小标识码添加支号编排。新增加的地类要素的标识码需在现有最大标识码后编排。

无变化的图斑从移动 GIS 系统中导出时只更新其变更码字段属性，并可依据实际需要选择是否跟随变更图斑一起导出。

新增图斑新建唯一标识码，增加属性信息，在更新过程中直接更新。

灭失图斑在更新过程中根据其唯一标识码将其删除并作记录。

属性变更图斑唯一标识码继承自原有图斑，只更新属性信息。

图形变更图斑中，界限调整图斑的唯一标识码与之前的不同，属性继承自原有图斑；分割图斑过程中原有标识码废弃，新建两个或多个唯一标识码，属性继承自分割前图斑或者更新部分属性；合并图斑过程中，原有标识码全部废弃，新建唯一标识码，属性根据需要选择继承某一个原有图斑或新建属性。

（3）数据增量识别

在外业调查采集完数据之后，关键问题是如何从变更成果中识别出增量数据^[77]。基于前文对于数据更新机制的分析，本文通过变更码的方式将增量识别简化，只需通过判断要素的变更码即可认定要素是否变化。

（4）数据增量融合

数据增量融合是将增量数据变更到已有的数据库中，完成对目标要素的变更。针对本文所提的基于变更码的增量数据更新机制，数据增量融合也被适当简化。对于新增的图斑，只需将增量包中的数据转移到目标数据库中即可；对于属性变更的图斑，由于唯一标识码未发生变化，只需同步更改相应的属性信息即可；对于灭失的图斑，根据标识码将目标数据库中相应图斑删除并记录作为历史查询；对于图形变更的图斑，可将变更过程分解为删除与新建两个过程，即先删除原有图斑，再将变更的图斑转移至目标数据库中即可。

（5）数据更新流程

根据如图 4-2 所示的数据更新流程图，将移动 GIS 系统中采集的数据按照日期范围生成增量数据包，针对同一区域内的若干个增量数据包采取基于标识码的合并操作，输入原有土地利用数据管理系统中完成数据更新。

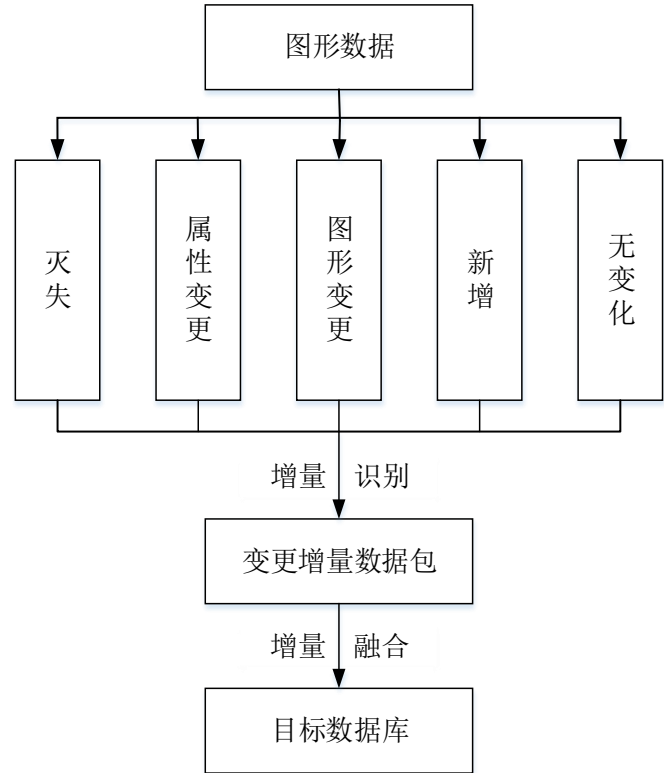


图 4-2 数据更新流程

基于变更码的增量数据更新机制只更新发生变化的小范围数据，对未发生变更的数据不进行更新，逻辑上简单易于理解，实际操作中能较大程度上减少土地利用数据更新的工作量与数据冗余度，提高数据更新的效率。

4.4 本章小节

本章主要研究了土地利用变更调查移动 GIS 中数据更新问题，设计了基于变更码的土地利用数据更新机制，解决了空间数据在移动 GIS 系统与已有桌面土地利用数据管理系统之间的数据更新问题。

第五章 土地利用变更调查移动 GIS 系统设计与实现

目前仍有部分土地监管部门在土地利用变更调查中采用传统的外业调查手段，保持着使用大量人员手工进行操作的方式，工作平台和技术手段落后，工作量大、工作效率低、数据不规范、数据更新不及时。本文根据土地利用变更调查的需要，研究了使用移动 GIS 系统进行外业调查的相关关键技术，本章将对文章中提出的相关关键技术进行验证。

5.1 土地利用变更调查外业流程

目前土地利用变更调查外业工作方法主要为综合调绘法，即利用上一年度土地利用信息与本年度最新遥感正射影像图以及其他监测成果相匹配，通过遥感解译与实地测量相结合的方法，调查统计土地利用变化信息。流程如图 5-1 所示：

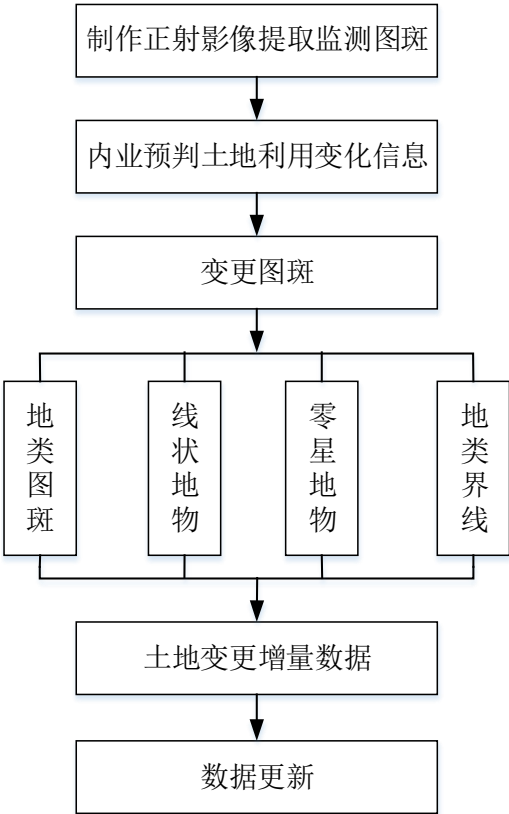


图 5-1 土地利用变更调查外业流程图

5.2 实现环境与平台

5.2.1 软件平台

本文对移动 GIS 关键技术验证过程中使用的移动设备操作系统及版本为 Android 4.2.2，使用的移动 GIS 平台及版本为 ArcGIS api for Android v10.1.1。

Android 是一种开放所有源代码的智能操作系统，基于 Linux 内核，由谷歌公司及其倡导的开放手机联盟负责领导开发，主要用于智能手机和平板电脑等移动设备。Android 主要由操作系统、系统中间件、用户界面及应用软件组成。截至 2013 年第三季度，Android 平台手机市场份额已经高达 79%，可见 Android 是一款非常流行的移动设备操作系统，开发者可以使用 Java 语言为其开发应用软件。本文将使用 Java 语言编写运行于 Android 之上的移动 GIS 原型系统。

ArcGIS api for Android 是 ESRI 提供的可使用 Java 构建多种地图应用程序的软件开发包，所开发的软件可以运用 ArcGIS Server 提供的制图、地理编码、地理处理等功能，并部署到 Android 设备上。本文利用 ArcGIS api for Android 作为移动 GIS 平台，使用其提供的基础地图服务辅助完成对面向土地利用变更调查移动 GIS 关键技术的验证工作。

5.2.2 硬件环境

本文使用的硬件环境为运行 Android4.2.2 的 Galaxy Nexus。基本参数为 1G RAM，8G SD，内置 GPS 模块，是一款中低档次的智能手机。

5.3 移动终端功能设计

根据本文前部分对于土地利用变更调查流程的分析，以及对移动 GIS 相应关键技术的研究，从需求和功能实现的角度，本文设计的土地利用变更调查移动 GIS 系统主要由影像栅格底图存储浏览、矢量空间数据组织与管理、土地利用变更数据更新三部分组成。移动终端功能设计如图 5-2 所示：

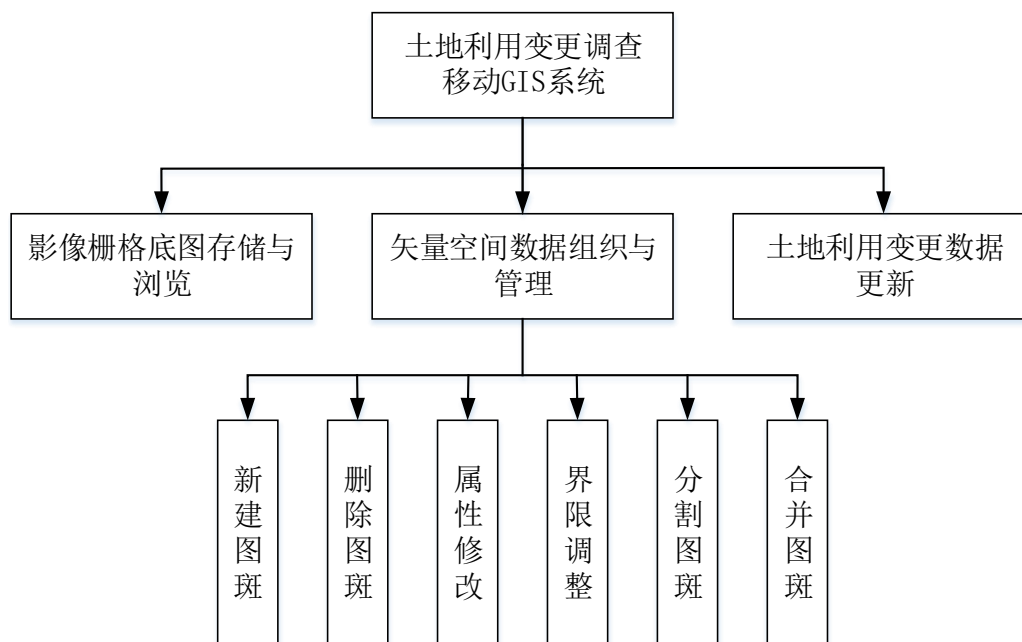


图 5-2 移动终端功能设计

5.4 基于嵌入式数据库的地图瓦片存储

利用 ArcGIS Server 或者其他 GIS 系统将土地利用变更调查的影像数据进行切片处理,分区域将所得瓦片数据按照本文基于 MBTiles 改进的地图瓦片包设计原则存储于 SQLite 数据库中。

5.4.1 数据库设计实现

按照标准的数据库设计规范设计,参照标准 MBTiles 规范改进的地图瓦片包,主要包含元数据表 metadata、瓦片索引表 map、数据存储表 images 三张表。如图 5-3 所示:

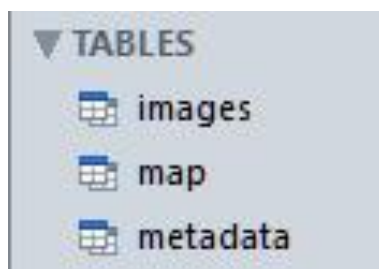


图 5-3 数据库表

元数据表用以存储地图瓦片的相关信息，主要包括地图名、地图描述、地图范围、瓦片原点位置、坐标系代码、瓦片格式、瓦片大小、所有缩放级别分辨率集合、所有缩放级别比例尺集合、版本等信息。

元数据表 metadata，表结构与示例数据分别如图 5-4 和 5-5 所示：

TABLES		Name	Type
	images	name	TEXT
	map	value	TEXT
	metadata		

图 5-4 元数据表结构

rowid▼	name	value
1	name	土地利用变更调查底图测试数据
2	description	土地利用变更调查影像底图测试数据, 不涉及保密
3	bounds	118.741288215466,32.0423338464647,118.78557685072...
4	origin	-20037508.342787, 20037508.342787
5	wkid	3857
6	format	jpg
7	tile_height	256
8	tile_width	256
9	resolutions	156543.033928,78271.5169639999,39135.7584820001,1...
10	scales	591657527.591555,295828763.795777,147914381.89788...
11	version	1.2

图 5-5 元数据表数据示例

瓦片索引表用以存储定位瓦片数据的行列号以及瓦片 ID, 支持任意比例尺和分辨率。

瓦片索引表 map，表结构与示例数据分别如图 5-6 与 5-7 所示：

TABLES	Name	Type
images	zoom_level	INTEGER
map	tile_column	INTEGER
metadata	tile_row	INTEGER
SYSTEM	tile_id	TEXT
INDEXES	resolution	DOUBLE
VIEWS		
TRIGGERS		

图 5-6 瓦片索引表结构

TABLES	rowid	zoom_level	tile_column	tile_row	tile_id	resolution
images	1	14	13596	9734	7ff0b2a2-df66-40f0-be1b-0cd26a9b415b	2445.98490512499
map	2	14	13597	9734	70abbf8e-839a-4bf8-9026-88b20dad5d63	2445.98490512499
metadata	3	14	13598	9734	35bb7959-7b42-4e46-bdc3-23fca40dd86c	2445.98490512499
SYSTEM	4	14	13596	9733	5295d6b6-220f-4538-89be-38c3bb91b294	2445.98490512499
VIEWS	5	14	13597	9733	87219c51-ff52-4e5e-93e8-07137c5de517	2445.98490512499
	6	14	13598	9733	975b3074-d8d2-471c-a3e2-41bdf259cdb3	2445.98490512499
	7	14	13596	9732	fc0cc0e9-76b8-4b55-bf24-530c74450144	2445.98490512499
	8	14	13597	9732	0b1a30e7-b473-4ea7-8903-315eef7aaa06	2445.98490512499
	9	14	13598	9732	05d212ca-7b37-43da-a875-a9ca5221a1ca	2445.98490512499
	10	15	27192	19468	d7050bcd-471e-4a92-9183-f99d9fbde756	4891.96981024998
	11	15	27193	19468	fc27febb-8434-4a87-a374-cdd5031329bc	4891.96981024998
	12	15	27194	19468	10bab60-af3f-4a15-b678-3045ecc4b0ee	4891.96981024998
	13	15	27195	19468	6751759a-26c5-483a-a33a-41e5235419d4	4891.96981024998















图 5-7 瓦片索引表示例数据


数据表用以存储地图瓦片所对应的地图图片的二进制文件。

数据表 images 表结构与示例数据如图 5-8 与图 5-9 所示：

TABLES	Name	Type
images	tile_data	BLOB
map	tile_id	TEXT
metadata		

图 5-8 数据表结构

TABLES	rowid	tile_data	tile_id
images	2517		0000501e-1224-4985-8ade-d95c5ec9a346
map	1260		0004e0b7-d48e-48c6-9f2d-732e940c54c1
metadata	3552		004a894b-c5c0-4cd4-b912-b40aa62430cd
SYSTEM	1023		0051667d-d67e-4b02-b889-acd2266ef587
VIEWS	311		005392b9-5ea3-4671-b48b-1c04ec8a0dd5
	3683		966573
	448		526def
	452		fa30d
	3030		facee3
	2042		af3a1bc
	1328		ca4992
	2674		0960d
	1490		c64c70
	722		1235a



rowid: 311

Cancel Update

图 5-9 数据表示例数据

5.4.2 栅格瓦片数据存储与浏览

读取元数据表中的瓦片信息，根据瓦片原点位置、瓦片分辨率集合、瓦片比例尺集合、瓦片地图坐标系、瓦片地图范围等信息初始化地图控件参数。

其中,根据行列号进行查找地图瓦片时需要进行行号转换。因为标准 MBTiles 规范中行列号计算规则符合 TMS 规范,本文基于标准 MBTiles 规范改进设计地图瓦片包时继承了此项设置,但由于 ArcGIS api for Android 中有关地图瓦片遵循 WMTS 规范,所以在使用过程中需要进行行列号转换。具体转换方法为:

监听并重写 TiledServiceLayer 类中 getTile 方法,每当地图控件中地图位置或者缩放级别发生改变的时候,地图控件就会根据地图的变化调用 getTile 方法,并传入当前缩放级别 (level)、行号 (row)、列号 (col),此三项参数均是符合 WMTS 规范中对于地图瓦片行列号的计算规则,但由于本文当前使用的地图瓦片包中采用了 TMS 规范进行瓦片组织,如果直接按照系统所提供的行列号、缩放等级参数进行调用相应的瓦片,则会出现调用到错误瓦片的现象。需按照如下计算公式将 WMTS 规范中行列号、缩放级别转换成 TMS 规范中行列号及缩放级别,假设新的行列号及缩放级别分别为 new row、new col、new level:

$\text{new col} = \text{col}$ (列号不变)

$\text{new level} = \text{level}$ (缩放等级不变)

$\text{new row} = \text{Math.pow}(2, \text{level}) - 1 - \text{row}$

经过转换之后的瓦片即可在地图控件中进行正常显示,如图 5-10 所示,局部影像如图 5-11 所示:

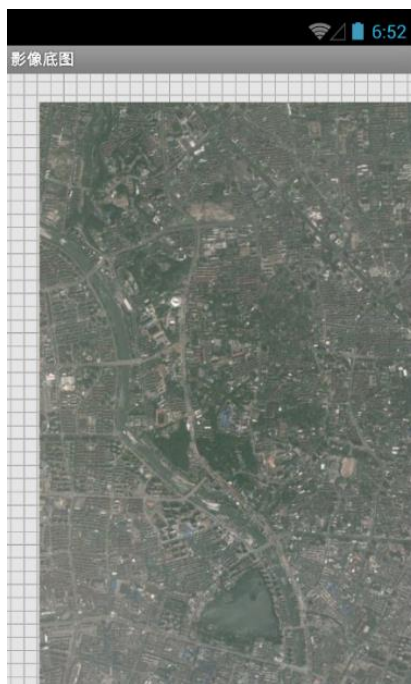


图 5-10 影像图



图 5-11 影像图局部

5.5 移动终端矢量空间数据组织与管理

第三章中有关移动终端矢量空间数据组织与管理部分中,已经研究论述了基于四叉树与 R 树的混合空间索引结构 QR 树空间索引,在逻辑层研究了矢量空间数据的存储结构与操作算法。本部分将结合土地利用变更调查数据,从数据库以及物理存储方面解决矢量空间数据在移动终端的组织与管理问题。

5.5.1 矢量空间数据库设计

土地利用数据包括地类图斑层、线状地物层、零星地物层和地类界线层以及相应的属性数据等^[78]。主要要素表结构如下所示:

(1) 地类图斑表结构

地类图斑是土地管理的基本单元,是所有统计计算的基础。地类图斑信息表存储地类图斑基本信息,其详细表结构如表 5-1 所示:

表 5-1 地类图斑表结构

序号	字段名称	字段代码	字段类型
1	标识码	BSM	Int(10)
2	要素代码	YSDM	Char(10)
3	图斑预编号	TBYBH	Char(8)
4	图斑编号	TBBH	Char(8)
5	地类编码	DLBM	Char(4)
6	地类名称	DLMC	Char(60)
7	权属性质	QSZ	Char(3)
8	权属单位代码	QSDWDM	Char(16)
9	权属单位名称	QSDWMC	Char(60)
10	坐落单位代码	ZLDWDM	Char(16)
11	坐落单位名称	ZLDWMC	Char(60)
12	耕地类型	GDLX	Char(2)
13	扣除类型	KCLX	Char(2)

14	扣除地类编码	KCDLBM	Char(4)
15	扣除地类系数	TKXS	Double
16	图斑面积	TBMJ	Double
17	线状地物面积	XZDWMJ	Double
18	零星地物面积	LXDWMJ	Double
19	扣除地类面积	TKMJ	Double
20	图斑地类面积	TBDLMJ	Double
21	批准文号	PZWH	Char(50)
22	变更记录号	BGJLH	Char(50)
23	变更日期	BGRQ	Date
24	变更码	BGM	Char(6)

(2) 线状地物表结构

线状地物是指由于其自身特殊性在宽度上不够成图, 只能以线的方式进行表述的地物, 在空间关系上有可能作为图斑的边界。线状地物表结构用以存储线状地物基本信息, 具体表结构如表 5-2 所示:

表 5-2 线状地物表结构

序号	字段名称	字段代码	字段类型
1	标识码	BSM	Int(10)
2	要素代码	YSDM	Char(10)
3	线状地物预编号	XZDWYBH	Char(8)
4	线状地物编号	XZDWBH	Char(8)
5	地类编码	DLBM	Char(4)
6	地类名称	DLMC	Char(60)
7	权属性质	QSZ	Char(3)
8	权属单位代码 1	QSDWDM1	Char(16)
9	权属单位名称 1	QSDWMC1	Char(60)
10	权属单位代码 2	QSDWDM2	Char(16)
11	权属单位名称 2	QSDWMC2	Char(60)

12	长度	CD	Double
13	宽度	KD	Double
14	线状地物面积	XZDWMJ	Double
15	线状地物名称	XZDWMC	Char(60)
16	扣除图斑编号 1	KCTBBH1	Char(8)
17	扣除图斑权属单位代码 1	KCTBDWDM1	Char(16)
18	扣除图斑编号 2	KCTBBH2	Char(8)
19	扣除图斑权属单位代码 2	KCTBDWDM2	Char(16)
20	扣除比例	KCBL	Double
21	变更记录号	BGJLH	Char(20)
22	变更日期	BGRQ	Date
23	变更码	BGM	Char(6)

(3) 零星地物表结构

零星地物是指不够上图面积的微小地块，在图中以点的方式进行表述，面积通过调查者提供，而不通过面积量算。零星地物表结构用以存储零星地物的基本信息，具体表结构如表 5-3 所示：

表 5-3 零星地物表结构

序号	字段名称	字段代码	字段类型
1	标识码	BSM	Int(10)
2	要素代码	YSDM	Char(10)
3	地类编码	DLBM	Char(4)
4	地类名称	DLMC	Char(60)
5	权属单位代码	QSDWDM	Char(16)
6	权属单位名称	QSDWMC	Char(60)
7	权属性质	QSXZ	Char(2)
8	坐落图斑编号	ZLTBBH	Char(8)
9	面积	MJ	Double
10	变更码	BGM	Char(6)

(4) 地类界线表结构

地类界线主要为图斑边界，用于将土地利用数据转换为国家标准 VCT 数据格式时进行空间拓扑使用，可以使用软件根据图斑等要素进行自动生成。地类界线表用以存储地类界线的基本信息，具体表结构如表 5-4 所示：

表 5-4 地类界线表结构

序号	字段名称	字段代码	字段类型
1	标识码	BSM	Int(10)
2	要素代码	YSDM	Char(10)
3	地类界线类型	DLJXLX	Char(2)
4	变更码	BGM	Char(6)

5.5.2 矢量空间数据物理存储

(1) 空间数据库实现

Spatialite 空间数据库是一个简单、实用的轻量级数据库，是在 SQLite 空间数据库基础之上的扩展，遵守 OGC 标准，支持 SQL 语言对集合类型字段的操作。Spatialite 空间索引使用 R 树构建，为了验证 QR 树索引，本文参照 Spatialite 进行空间数据库设计，对其进行空间索引部分的改进，使用基于四叉树与 R 树的混合空间索引 QR 树空间索引替换其原有的 R 树索引。

空间数据库包含三种表：用户自定义专题要素表、geometry_columns 和 Spatial_ref_sys。其中，用户自定义专题要素表用以管理空间数据及其属性数据；geometry_columns 表用以管理含有空间属性字段的数据表名、空间字段名、空间实体的几何类型、坐标维数以及坐标参考信息；Spatial_ref_sys 表存储投影信息。

空间索引在空间数据库实现中主要以存储表以及活动的触发器的方式进行体现，建立插入、更新、删除三个触发器，当从主表中进行数据插入、更新、删除时，触发器执行，相应的索引信息按照设定的规则被正确更新。

(2) 几何对象存储格式

开放地理空间联盟（OGC）针对几何对象的存储制定了两种不同的规范：WKT（Well-known Text）以及 WKB（Well-known Binary）。

WKT 与 WKB 对几何对象的描述方式不同, WKT 通过文本来描述, 而 WKB 通过序列化的字节对象来描述。相比之下, WKB 比 WKT 在存储几何对象时更加紧凑, 本文选择参照 WKB 规范在移动终端设备中存储矢量空间数据。

Point(1,1)利用 WKB 格式进行存储为:

0101000000000000000000F03F000000000000F03F

根据 WKBPPoint 的结构定义可以将这个 2 进制流拆分为:

Byte order	:	01
WKB type	:	01000000
X	:	00000000000000F03F
Y	:	00000000000000F03F

byte order 要么为 0, 要么为 1, 0 为使用 little-endian 编码(NDR), 1 为使用 big-endian 编码(XDR)。

WKB type 是几何类型, 在 wkbGeometryType 中定义. 值为 1-7, 分别对应 Point, LineString, Polygon, MultiPoint, MultiLineString, MultiPolygon, and GeometryCollection。

(3) 空间数据库示例

数据存储结构如图 5-12 所示:

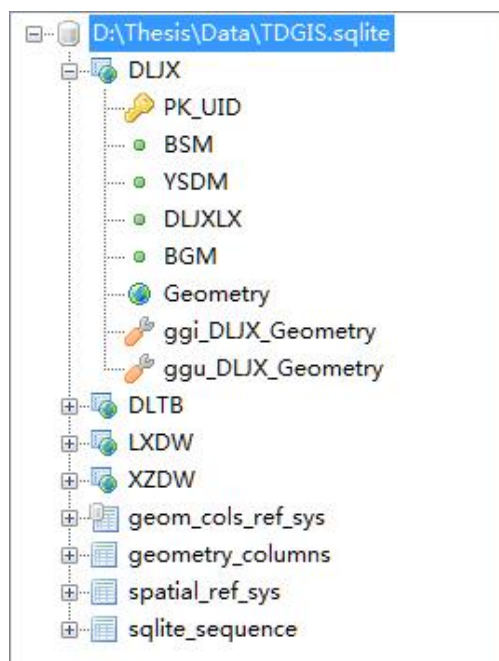


图 5-12 矢量空间数据存储结构

5.5.3 矢量空间数据操作

移动 GIS 在土地利用变更调查中最主要的功能是在移动终端完成空间数据的采集、处理、存储，从而提高外业调查的工作效率。在此过程中，移动 GIS 需提供对图斑的新建、删除、边界调整、属性修改以及合并、分割图斑等较复杂空间操作功能。

本文借助于 ArcGIS api for Android 提供的 GIS 基本功能，根据上一章节中所述及的基于 QR 树的空间索引理论以及本章节上一部分中提到的矢量空间数据物理存储方法，实现了土地利用变更调查原型系统，用于外业数据采集处理。

(1) 新建图斑



图 5-13 新建图斑类型



图 5-14 选择图层



图 5-15 绘制图斑

通过提示用户选择所要绘制的类型，点、线或者面，触发不同的监听事件；绘制点，直接监听触屏操作，将点击处经过屏幕坐标到地理坐标的转换绘制点对象；绘制线，监听触屏第一个点，设置为起始点，同时新建 Polyline 对象，将以后绘制的每个点加入线对象中，直至绘制完成；绘制面，同样监听触屏的第一个点，设置为起始点，同时新建 Polygon 对象，将以后绘制的每个点加入面对象边界线中，绘制结束后，调用 onDragPointerUp 事件监听，完成面对象的绘制。

(2) 删除图斑



图 5-16 删除图斑

图斑删除只处理为逻辑上的删除操作，将需要删除图斑的相应变更码修改为删除代码，并不直接对图斑进行物理删除，方便以后数据更新。

(3) 图斑属性修改



图 5-17 图斑属性修改

图斑属性修改过程中,利用 GraphicsLayer 中的 getGraphicIDs(float x,float y,int tolerance)方法获取所需修改图斑及其属性信息,由于目前 ArcGIS for Android 中 Graphic 对象未提供直接修改属性的接口,需通过 GraphicsLayer 中的 updateGraphic(int id,Map<String,object>attributes)方法更新相应 Graphic 即相应图斑的属性。

(4) 图斑界限调整



图 5-18 图斑界限调整

通过修改图斑节点位置来达到调整图斑界限的目的，点击所需调整图斑的节点，利用 `GeometryEngine.getNearestVertex()` 得到图斑上距离点击处最近的节点，并返回一个 `Proximity2DResult` 对象，通过这个对象查找该节点的索引位置，利用 `setPoint(int index, Point point)` 更新节点位置，最终完成图斑界限的调整。

(5) 图斑分割



图 5-19 图斑分割

通过在需分割图斑之上画线的方式指定分割位置，由于 ArcGIS api for Android 目前在移动终端提供的功能较为基础，较为复杂的空间操作仍需自行实现。根据分割点或线相对于原有图斑所有节点的位置关系，重新分配原有图斑的节点，对于面状图斑则按照分割线将图斑分为多个部分，对于线状图斑则按照分割点将线状图斑打断。

（6）图斑合并



图 5-20 图斑合并

通过读取需合并图斑的所有节点，将所有节点重新构造 Graphic 对象并在构造函数中继承指定图斑的相应属性，完成两个或多个图斑的合并。

5.6 土地利用变更数据更新

土地利用数据更新通过移动 GIS 原型系统更新模块完成，将存储于嵌入式数据库 SQLite 中的矢量离线空间数据以及部分业务离线数据，按照土地利用数据更新机制，导出为现有土地数据管理软件所支持的增量数据包。本文以导出 ArcGIS 支持的 Geodatabase 数据包为例研究土地利用变更数据更新流程。

5.6.1 数据转换

由于本文使用符合 OGC 标准的 WKB 矢量存储标准，在与其他 GIS 系统进行数据更新时首先需要进行数据转换，将 WKB 格式的矢量空间数据转换为 Geodatabase 数据，分别将 wkbPoint、wkbLineString、wkbPolygon 等几何类型转换为对应的 IPoint、IPolyline、IPolygon 等。

(1) WKB 矢量数据

本文以矢量点为例来介绍 WKB 矢量存储格式的基本结构，线、面等其他地理空间要素的结构与点的结构类似。

矢量点的 WKB 存储结构如下结构体定义所示：

```
struct WKBPoint{
    char    byteOrder;

    int     wkbType;

    Point   point;
};
```

WKBPoint 内存结构如图 5-21 所示：

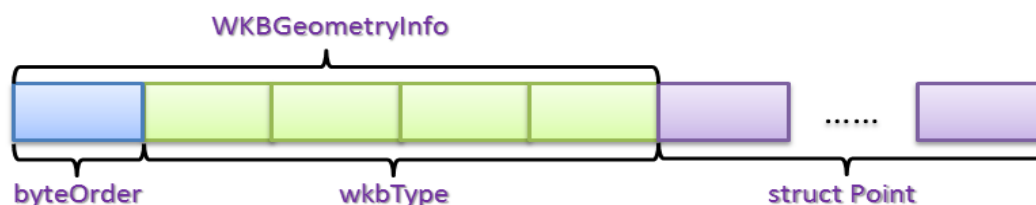


图 5-21 WKBPoint 存储结构

1) byteOrder

字节序用来表达数据结构如何在计算机内存排列，不同计算机系统里对于数据结构的地址位排列顺序并不相同。字节排列顺序主要有由高地址位向低地址位排列，或者反过来由低地址位向高地址位排列，这两种排列方式分别对应 Big Endian 和 Little Endian 字节序。

WKBPoint 的第 1 个字节是字节序，描述了 WKBPoint 内存的排列是 Big Endian 还是 Little Endian。当 WKB 的字节序与当前系统的字节序不同时，为了保证 WKB 被正确的解析，需要将 WKB 的字节序进行逆序变换，与当前系统所使用的字节序相一致。

2) wkbType

紧邻字节序之后的是 WKB 类型变量, 用来描述 WKB 的几何类型。wkbType 在 wkbGeometryType 中定义。值为 1-7, 分别对应 Point, LineString, Polygon, MultiPoint, MultiLineString, MultiPolygon, and GeometryCollection。

3) Point 结构体

对于 WKBPoint 结构来说, 在 wkbType 字段之后是一个点类型数据结构。点类型数据结构定义如下所示:

```
struct Point{
    double x;
    double y;
};
```

对于其他类型的地理空间要素, 其对应的 WKB 结构比较类似, 如图 5-22 所示为面要素对应的 WKB 结构。其中, B=1 表示字节序为 Big Endian 字节序, T=3 表示 WKBType 为 Polygon, NR=2 表示该面要素由两个环构成, NP=3 表示内外环上各有三个点。

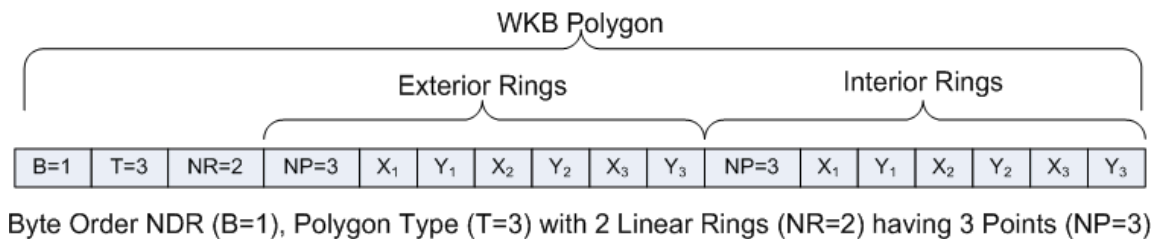


图 5-22 WKB Polygon 存储结构

WKB 所有空间要素的数据结构中, 共同拥有 byteOrder 和 wkbType 结构, 在数据转换过程中, 可通过编写通用结构体的方式用以存储 WKB 的基本信息, 对 WKB 数据进行预处理。

```
struct WKBGeometryInfo{
    char    byteOrder;
    int     wkbType;
};
```

数据转换过程中通过 WKBGeometryInfo 结构体信息, 可以判断出 wkb 的类型, 然后针对不同的类型编写不同的转换函数进行处理即可。

(2) Geodatabase 数据库

Geodatabase 是一种利用现有的标准关系型数据库技术存储复杂空间对象的数据模型^[79]。Geodatabase 支持将地理空间信息存储于标准的数据库管理系统之中, 并进行数据管理, 同时支持多用户访问技术。Geodatabase 从小型的单用户数据库到企业级的多用户数据库都支持^[80]。

Geodatabase 是一种采用面向对象技术构建的数据模型^[81], 将复杂的地理空间信息通过面向对象的思想组织成数据对象。Geodatabase 使用要素类存储地理空间信息, 使用对象类存储相应的属性信息, 同时只有一致的空间形状才能存储于同一个要素类中^[82], 构成相应的点要素类、线要素类以及面要素类等。

(3) 数据转换流程

数据转换思路主要为: 根据 wkbType 字段判断需要转换的类型, 如果为点类型, 读取相应的点坐标利用 ArcGIS Engine 提供的点构造函数转换成 Geodatabase 中的点即可; 对于线、面类型, 读取相应节点的坐标构成点集, 再利用 ArcGIS Engine 提供的线和面构造函数生成 Geodatabase 中的相应的线与面。

变更数据转换流程, 如图 5-23 所示:

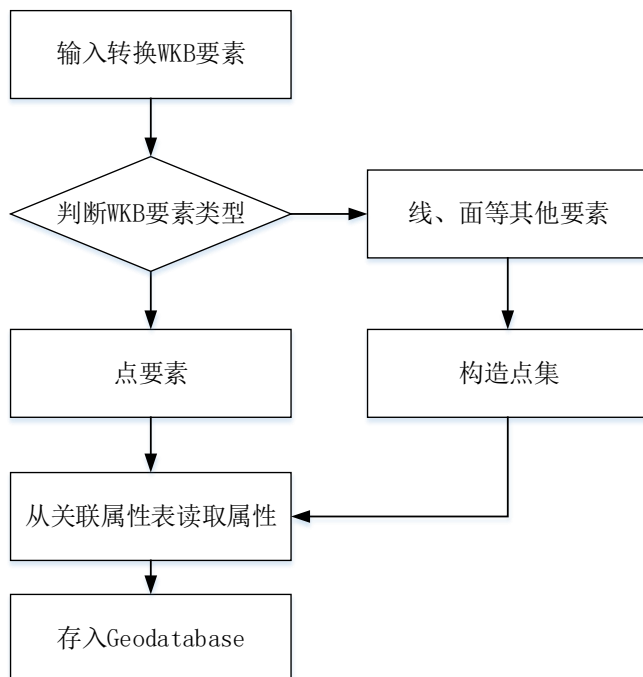


图 5-23 数据转换流程

5.6.2 数据更新

(1) 增量识别导出

根据选定的日期确定导出数据的日期范围, 即从选定时间开始到最新时间之内的所有变更数据都会被组织成增量数据包。判断要素是否为变更要素的依据为要素变更码字段中存储的属性信息, 对其进行读取判断即可。



图 5-24 导出数据

(2) 增量融合

针对本文所提的基于变更码的增量数据更新机制, 数据增量融合也被适当简化。对于新增的图斑, 只需将增量包中的数据转移到目标数据库中即可; 对于属性变更的图斑, 由于唯一标识码未发生改变, 只需同步更改相应的属性信息即可; 对于灭失的图斑, 根据标识码将目标数据库中相应图斑删除并记录作为历史查询; 对于图形变更的图斑, 可将变更过程分解为删除与新建两个过程, 即先删除原有图斑, 再将变更的图斑转移至目标数据库中即可。

5.7 本章小节

本章在前文的研究基础之上, 设计实现了基于 Android 平台的土地利用变更调查数据采集原型系统, 从系统开发实现的角度验证了前文所提面向土地利用变更调查移动 GIS 的关键技术的可行性。

第六章 总结与展望

6.1 研究总结

本文从土地利用变更调查的实际需求出发,研究了移动 GIS 在土地利用变更调查中的应用方式,着重研究了面向土地利用变更调查移动 GIS 的部分关键技术,涉及移动 GIS 在移动终端进行栅格瓦片存储、矢量空间数据组织与管理以及移动终端矢量数据的同步更新机制。研究设计了基于 Android 移动平台以及 ArcGIS api for Android 的土地利用变更调查原型系统,用于验证以上的关键技术。本文研究成果总结归纳,主要涉及以下三个方面:

(1) 参照栅格瓦片存储规范 MBTiles 改进实现了基于嵌入式数据库 SQLite 的栅格瓦片存储方式,支持对任意投影、任意比例尺的栅格瓦片进行数据库存储,提高了栅格数据在移动终端之间的传输便捷性以及显示性能。

(2) 采用基于四叉树与 R 树混合空间索引技术——QR 树空间数据索引,根据开放地理空间联盟(OGC)制定的几何对象存储规范 WKB,实现了基于嵌入式移动数据库 SQLite 的矢量空间数据组织与管理方式,并借助于 ArcGIS api for Android 设计实现了基于 Android 移动平台的土地利用变更调查移动 GIS 系统,完成了其中的空间数据操作功能。

(3) 根据土地利用变更数据存在唯一标识码的特点,通过对其另外添加变更码的方式,利用标识码与变更码相结合的办法,建立了基于标识码与变更码的土地利用变更数据的更新流程与机制。在保证数据质量的前提下,完成了土地利用数据从移动 GIS 终端设备中更新到现有土地数据管理系统的过程。

6.2 研究展望

土地利用变更调查是一项巨大的工程,移动 GIS 在其中的应用也非常广泛,现阶段本文重点偏向于针对移动 GIS 在土地利用变更调查中三个关键技术的研究。在本文目前的研究基础之上,接下来的主要研究方向有以下几点:

(1) 在利用嵌入式数据库 SQLite 进行瓦片数据存储技术中, 下一步将在本文研究基础之上添加栅格瓦片的缓存机制, 对于需要频繁调用的瓦片数据存入缓存, 从而提高栅格地图的浏览体验。

(2) 本文设计的基于变更码的土地利用变更数据更新机制, 目前仍处于需要人工选择变更码的初级阶段, 下一步将在此基础上, 根据图斑要素发生的变化自动判断变更码, 从而实现数据更新过程中的数据变更智能识别。

参考文献

- [1] 国土资源部关于开展2012年度全国土地变更调查与遥感监测工作的通知[J]. 国土资源通讯. 2012(24): 19-32.
- [2] 吕运森. 基于MapGIS土地调查图斑更新算法研究与系统开发[D]. 中南大学, 2009.
- [3] 土地调查条例实施办法[J]. 国土资源通讯. 2009(12): 10-12.
- [4] 王世元. 建设具有中国特色的地籍管理制度[J]. 资源·产业. 2001(01): 12-17.
- [5] 土地调查条例[J]. 国土资源通讯. 2008(03): 4-6.
- [6] 国土资源部办公厅关于开展2008年度土地变更调查工作的通知[J]. 国土资源通讯. 2008(17): 22-27.
- [7] 国土资源部关于开展2011年度全国土地变更调查与遥感监测工作的通知 国土资发〔2011〕155号[J]. 国土资源通讯. 2011(19): 22-33.
- [8] 冯秀丽. 基于SPOT5影像的1: 1万土地利用更新调查关键技术研究[D]. 浙江大学, 2006.
- [9] Solberg A H S, Jain A K, Taxt T. Multisource classification of remotely sensed data: fusion of Landsat TM and SAR images[J]. Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on. 1994, 32(4): 768-778.
- [10] 冯筠, 黄新宇. 遥感技术在资源环境监测中的作用及发展趋势[J]. 遥感技术与应用. 1999(04): 59-70.
- [11] Mendez-Toribio M, Zermeno-Hernandez I, Ibarra-Manriquez G. Effect of land use on the structure and diversity of riparian vegetation in the Duero river watershed in Michoacan, Mexico[J]. PLANT ECOLOGY. 2014, 215(3): 285-296.
- [12] Lee J D. Wavelet transform for 3-D reconstruction from series sectional medical images[J]. MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELLING. 1999, 30(1-2): 1-13.
- [13] Verstegen J A, Karssenbergh D, van der Hilst F, et al. Identifying a land use change cellular automaton by Bayesian data assimilation[J]. ENVIRONMENTAL MODELLING & SOFTWARE. 2014, 53: 121-136.
- [14] Wenhua Z, Xia C, Xiangnan L, et al. Remote Sensing and GIS for Identifying and Monitoring the Environmental Factors Associated with Vector-borne Disease: An Overview[C]. Denver, CO: 2006.
- [15] 沈润平. 土地利用遥感监测的关键技术及其应用研究——以江西鄱阳湖地区为例[D]. 浙江大学, 2002.
- [16] 严永斌, 吴健平. 基于.NET Compact Framework的移动GIS软件开发[J]. 测绘与空间地理信息. 2008(04): 37-41.
- [17] 钱毅. 基于Android的电力通信无线巡视终端的方案设计[J]. 电力学报. 2011(01): 60-63.
- [18] 刘新平. 基于移动GIS的土地动态巡查监管系统研究与应用[D]. 南京师范大学, 2011.
- [19] 圣荣, 刘友兆, 王庆, 等. 基于3S技术的土地利用巡查系统研究[J]. 测绘科学. 2009(02): 103-105.
- [20] 严长清, 袁林旺, 陆效平, 等. 基于GPS-PDA的土地变更调查数据采集系统集成设计[J]. 南京师范大学学报(工程技术版). 2005(04): 77-81.
- [21] 王元波, 张锋, 雷伟伟. 3S技术在土地变更调查中的应用探析[J]. 现代农业科技. 2008(07): 203-204.
- [22] 何国栋, 张岩. 利用3S技术进行土地利用现状变更[J]. 电脑开发与应用. 2002(08): 27-28.

- [23] 李超岭, 杨东来, 于庆文, 等. 数字区域地质调查基本理论与技术方法研究[J]. 计算机工程与应用. 2001(20): 43-47.
- [24] Darwish K M, Kawy W. Land suitability decision support for assessing land use changes in areas west of Nile Delta, Egypt[J]. ARABIAN JOURNAL OF GEOSCIENCES. 2014, 7(3): 865-875.
- [25] 李超岭, 张克信, 于庆文, 等. 数字地质填图PRB粒度理论框架研究[J]. 地质通报. 2008(07): 945-955.
- [26] Tian G, Tong X H, Liu M L. A new method integration of "3S" for mobile landscaping survey and update - art. no. 64180F[J]. Geoinformatics 2006: GNSS and Integrated Geospatial Applications. 2006, 6418(64180F): F4180.
- [27] Kurnaz S, Rustamov R B. Earth Observation Remote Sensing and GIS Services for Monitoring of Integration Systems[C]. Istanbul: 2007.
- [28] 李安龙, 赵广涛, 韩宗珠, 等. 数字化填图技术在地质本科教学实习中的应用[J]. 中国地质教育. 2008(02): 67-70.
- [29] 金浩军, 刘成忠. 基于Android平台移动GIS在农业气象服务中的应用研究[J]. 农业网络信息. 2013(02): 21-24.
- [30] <http://baike.baidu.com/view/2919338.htm>[Z].
- [31] 许颖, 魏峰远. 移动GIS关键技术及开发模式探讨[J]. 测绘与空间地理信息. 2008(04): 45-47.
- [32] 陈华, 梅晓丹. 基于PDA的移动GIS开发[J]. 测绘与空间地理信息. 2008(06): 75-76.
- [33] 陈飞翔. 移动空间信息服务关键技术研究[D]. 中国科学院研究生院(遥感应用研究所), 2006.
- [34] Di B F, Zhang K S, Tang Y, et al. The development of a geographic information system (GIS) database for Jiuzhaigou national nature reserve and its application[J]. JOURNAL OF MOUNTAIN SCIENCE. 2013, 10(3): 398-409.
- [35] Schall G, Zollmann S, Reitmayr G. Smart Vidente: advances in mobile augmented reality for interactive visualization of underground infrastructure[J]. PERSONAL AND UBIQUITOUS COMPUTING. 2013, 17(7SI): 1533-1549.
- [36] Raizman E A, Rasmussen H B, King L E, et al. Feasibility study on the spatial and temporal movement of Samburu's cattle and wildlife in Kenya using GPS radio-tracking, remote sensing and GIS[J]. PREVENTIVE VETERINARY MEDICINE. 2013, 111(1-2): 76-80.
- [37] 罗名海. Mobile GIS技术在加拿大的应用与发展[J]. 测绘科学. 2007(05): 134-135.
- [38] 王丹, 李欣, 朱美正. 移动式地理信息系统体系结构的研究[J]. 计算机工程与设计. 2006(20): 3835-3837.
- [39] Cioffi-Revilla C, Rogers J D, Hailegiorgis A. Geographic Information Systems and Spatial Agent-Based Model Simulations for Sustainable Development[J]. ACM TRANSACTIONS ON INTELLIGENT SYSTEMS AND TECHNOLOGY. 2012, 3(101).
- [40] 王方雄, 吴边, 怡凯. 移动GIS的体系结构与关键技术[J]. 测绘与空间地理信息. 2007(06): 12-14.
- [41] Velaga N R, Nelson J D, Edwards P, et al. Development of a Map-Matching Algorithm for Rural Passenger Information Systems through Mobile Phones and Crowd Sourcing[J]. JOURNAL OF COMPUTING IN CIVIL ENGINEERING. 2013, 27(6): 732-742.
- [42] Zhang H C, Zheng J Q, Dorr G, et al. Testing of GPS Accuracy for Precision Forestry Applications[J]. ARABIAN JOURNAL FOR SCIENCE AND ENGINEERING. 2014, 39(1): 237-245.
- [43] 徐琳. 基于互联网的移动GIS及其在测量标志信息管理中的应用[J]. 现代测绘. 2011(04): 46-48.

- [44] 罗文彬. 基于位置服务的移动GIS关键技术研究[D]. 西南交通大学, 2006.
- [45] 赵大龙, 孙恒宇. 地图切片技术分析 with 简单实现[J]. 测绘与空间地理信息. 2010(01): 116-118.
- [46] 康宁. 基于GPU的全球地形实时绘制技术[D]. 解放军信息工程大学, 2007.
- [47] 梁峰. 基于网络的国土资源空间数据一体化集成研究[D]. 成都理工大学, 2011.
- [48] 罗智勇, 黎小东. 基于数据库存储方案的高性能瓦片地图服务研究[J]. 地理与地理信息科学. 2013(03): 48-51.
- [49] 杨志高, 易衡. 基于Web地图瓦片服务(WMTS)的林区三维场景构建[J]. 中南林业科技大学学报. 2013(06): 33-36.
- [50] 周强, 宋志峰, 刘易鑫, 等. 一种适用于多移动终端的地图瓦片格式的研究与应用[J]. 测绘与空间地理信息. 2013(S1): 70-76.
- [51] 张山山. 地理信息系统时空数据建模研究及应用[D]. 西南交通大学, 2001.
- [52] 崔珂瑾, 程昌秀. 空间数据模型研究综述[J]. 地理信息世界. 2013(03): 31-38.
- [53] 蔡浴泓. 空间数据库索引技术的研究与探索[D]. 华东师范大学, 2008.
- [54] 范馨亚, 丁青. 基于SVG/Oracle Spatial的WebGIS地图编辑的实现[J]. 科学技术与工程. 2010(06): 1500-1505.
- [55] Al-Ageili M, Mouhoub M, Piwowar J. Integrating remote sensing, GIS and dynamic models: Cellular automata approach for the simulation of urban growth for the city of Montreal[C]. Regina, SK: 2013.
- [56] 刘伟, 汤大立. 可伸缩矢量图形技术在WebGIS中的应用研究[J]. 电脑与信息技术. 2009(04): 20-21.
- [57] 张燕, 李景文, 程小凯, 等. 面向对象空间数据模型的结构设计[J]. 地理空间信息. 2010(03): 93-95.
- [58] 谢跟踪, 苏江文. 空间数据索引技术及其在GIS软件中的应用[J]. 海南师范学院学报(自然科学版). 2005(04): 372-376.
- [59] 吴敏君. GIS空间索引技术的研究[D]. 江苏大学, 2006.
- [60] Bentley J L. Multidimensional Binary Search Trees in Database Applications[J]. Software Engineering, IEEE Transactions on. 1979, SE-5(4): 333-340.
- [61] Yu B G, Bailey T. Processing partially specified queries over high-dimensional databases[J]. DATA & KNOWLEDGE ENGINEERING. 2007, 62(1): 177-197.
- [62] 舒忠玲, 汪林林, 王佐成. 利用层次网格索引提高WebGIS性能[J]. 计算机应用. 2004(09): 150-152.
- [63] 韩秋英. 基于混合聚类的空间索引算法研究及应用[D]. 河南大学, 2010.
- [64] 卢廷军, 黄明. 海量栅格数据空间索引与存储的研究[J]. 测绘通报. 2010(10): 24-26.
- [65] 贾婷. 空间索引技术在电力GIS中的研究与应用[D]. 电子科技大学, 2010.
- [66] Skopal T, Hoksza D, Pokorny J. Construction of tree-based indexes for level-contiguous buffering support[J]. Advances in Databases: Concepts, Systems and Applications. 2007, 4443: 361-373.
- [67] 田慧贞. 一种基于STR R-tree空间索引的研究[D]. 电子科技大学, 2012.
- [68] 孙卓成. GIS中几种空间数据索引方法探究[J]. 科协论坛(下半月). 2008(02): 97-98.
- [69] Huang P W, Lin P L, Lin H Y. Optimizing storage utilization in R-tree dynamic index structure for spatial databases[J]. JOURNAL OF SYSTEMS AND SOFTWARE. 2001, 55(3): 291-299.
- [70] 于金羽. 地籍数据库动态更新原型系统的研究与实现[D]. 电子科技大学, 2012.
- [71] 邓福军. 基于GIS的土地调查数据管理系统设计与实现[D]. 东北大学, 2009.
- [72] 张嫣然. 地籍数据库增量更新机制的研究与实现[D]. 浙江大学, 2012.
- [73] 朱丹, 苏念, 刘剑岚. 基于业务驱动的空间数据更新技术与实现[J]. 国土资源信息化.

2013(04): 63-65.

[74] 杨宝尧. 基于空间聚合的土地利用数据组织与更新方法研究[D]. 浙江大学, 2012.

[75] 曹金莲, 王莲玉, 张燕梅. 基于MAPGIS建立土地利用数据库数据变更方法探讨[J]. 青海国土经略. 2009(03): 31-33.

[76] 谈媛媛. 土地调查数据库更新模型研究[J]. 国土资源信息化. 2009(05): 29-32.

[77] 林娜, 王斌. 空间数据库增量式更新机制的研究[J]. 测绘科学. 2008(03): 198-200.

[78] 姚封. 基于GML的土地利用数据共享研究[D]. 中南大学, 2010.

[79] 郭勇. 基于ArcGIS的省级基础地理信息数据库系统的设计与实现[D]. 长安大学, 2010.

[80] 吴丹. 基于Geodatabase的上海市信息基础设施空间数据库设计与实现[D]. 华东师范大学, 2007.

[81] 宋杨, 万幼川. 一种新型空间数据模型Geodatabase[J]. 测绘通报. 2004(11): 31-33.

[82] 杜娟. 基于GIS的森林资源管理系统的研究与实现[D]. 华北电力大学(北京), 2007.

攻读硕士期间参加科研工作和发表学术论文情况

参加科研工作

1. 南京市水利局长江河道水下地形图数字化项目一期、二期（2010 年 2 月——2013 年 6 月）
2. 日照市电力数据库生产（2012 年 1 月——2012 年 6 月）

发表学术论文

1. 孙咸磊, 许捍卫. 基于移动设备的定位跟踪系统研究与实现[J]. 地理空间信息, 2014 (02): 第 112-114 页
2. 孙咸磊, 许捍卫. OSM buildings 在三维电子地图中的应用研究[J]. 测绘与空间地理信息, 录用待刊
3. 孙咸磊, 许捍卫等. ArcPy 在长江河道水下空间数据批量处理中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 录用待刊

致谢

光阴荏苒，岁月如梭，在河海大学的七年学习生活即将结束，在举笔写下这篇致谢的时候，以往的每一幕都不停地在我脑海中闪现。回想这些年在河海的求学经历，我对那些曾经帮助过我、鼓励过我的人充满感激。值此研究生毕业论文即将成稿之际，我谨向所有帮助、激励过我的人致以最诚挚的感谢。

首先感谢我敬爱的导师许捍卫老师。许老师谦逊宽容的人格和勤奋严谨的作风为我树立了一生的榜样，在我研究生三年的学习和生活中，深深受益许老师的关心和爱护。硕士研究生论文从选题到定稿期间，许老师花费了大量时间与精力，时刻修正我在研究和写作过程中的方向。许老师严谨的治学之风和为人处事的态度将会影响我一生，在此，我谨向许捍卫老师致以由衷的感谢。

感谢河海大学地球科学与工程学院地理信息科学系的每一位老师，你们在科研上指引着我前进，在生活上给予我呵护，在此衷心感谢所有老师对我的帮助。

感谢我的师兄房晓亮、刘志辉、卜德锋、师姐李梅香，你们的悉心指导，让我在科研学习上少走了许多弯路；感谢我的同门李文博、邵瀚、江涛、刘思思，你们踏实严谨的学风和扎实的专业技能让我受益颇多；感谢我的师弟张明希、于艳超、李振源、李正学、师妹徐静波，你们的蓬勃朝气欢声笑语让我的研究生生涯更加丰富多彩。无论以后身在何处，我都会怀念和你们一起相处的开心日子。

感谢男生宿舍的兄弟余其鹏、陈远、徐晓峰、尹新沆、安卫辉、殷晓飞、张道祥等等，有了你们才有了科研生活以外的欢声笑语；感谢 11 级地图学与地理信息系统专业的全体同学，三年同窗，与你们相识将会是我值得珍藏一生的财富。感谢遇见你们每一个人，研究生时光因为有你们而更加精彩。

感谢父母和姐姐，感谢你们这些年来对我在学习和生活上的最无私的支持和照顾，感谢身边每一位亲人朋友对我的关心和爱护。

衷心感谢评阅本论文的专家教授、答辩委员会的各位老师，你们的宝贵建议不断指引着我前进；感谢文中所有参考文献的作者，正是在你们的间接帮助之下，我才得以顺利完成此文，感谢你们的努力和付出。

孙威磊 2014年4月于河海大学