

东南大学

硕士学位论文

基于GPS/PDA/TS的地籍测绘新方法的设计与实现

姓名：王彪

申请学位级别：硕士

专业：精密仪器及机械

指导教师：王庆

20090409

摘要

随着国家小城镇建设步伐的加快,城镇地籍测量工作在全国范围内展开。现有技术已日益难以满足工作要求,我国巨大的地籍初始调查及日常变更调查工作与政府对地籍信息现实性的迫切需求之间矛盾的解决,需要一整套快捷的地籍测量技术。本论文以此作为出发点,针对常规地籍调查方法的不足,提出了一套完整的基于 GPS (Global Position System, 全球定位系统)、PDA (Personal Digital Assistant, 个人数字助理)、TS (Total Station, 全站仪) 的地籍测绘新方法及技术系统。

常规地籍测绘方法,按照“先控制测量,后碎部测量”以及“先有已知点,后测未知点”的常规作业模式进行外业地籍测绘,存在程序复杂、作业周期长、数据错漏等缺点。新方法采用自由设站的方式,直接在便于测量地物点的位置架设全站仪,借助 GPS RTK (Real-time Kinematic, 载波相位动态实时差分) 或者已有底图坐标的点作为控制点,将自由设站的测图坐标系通过坐标变换转到成图坐标系,免去地籍测量前期布设控制点的麻烦,实现了控制测量与界址点测绘的一体化作业。

本论文根据提出的地籍测绘新方法,设计并实现了一套完整的地籍调查系统。该系统基于 GPS/PDA/TS, 设计并实现了 PDA 与全站仪通讯用的蓝牙串口模块,将 GPS 接收机和全站仪反射棱镜有机结合,形成同时测量控制点绝对坐标和测图坐标系坐标的超棱镜,搭建了中转服务器实现 PDA 之间的网络通讯,用于传输控制点的 GPS 坐标等。

在地籍调查系统软件的设计上,将地籍调查软件分为主软件和辅助软件:主软件用于地物点的测量,辅助软件用于控制点的测量。本论文基于 ACE(ADAPTIVE——A Dynamically Assembled Protocol Transformation, Integration, and eValuation Environment——Communication Environment, 自适应通信环境网络)开发工具设计了多线程串口通讯和网络通讯结构。采用 ACE Task 类封装了多线程的串口通讯,用于 PDA 和各种全站仪之间的双向通信;采用 ACE Acceptor-Connector 模式和 ACE Reactor 模式,设计了网络通讯的架构,用于移动设备 PDA 和 PDA 之间的网络通讯。本论文基于 GDAL/OGR(Geospatial Data Abstraction Library, 空间数据抽象库)库设计并搭建了符合 Open GIS(Geographic Information System, 地理信息系统)的设计规范嵌入式 GIS 平台,并在此平台上实现了基于 Command 设计模式的地籍测绘工具的设计和编程。

本论文通过对基于 GPS/PDA/TS 的地籍测绘新方法设计的地籍调查系统,在北京市石景山、宣武、丰台三个区县的地籍调查工作的实际应用,检验了新技术方法和系统的稳定性和实用性。通过和常规方法的对比作业,证实了新方法和系统在测量精度上完全满足 1:500 大比例尺地籍测绘要求,在同等条件下地籍调查工作效率提高了 30%。目前的 GPS/TS/PDA 组合地籍调查作业系统性能比较稳定、功能基本齐全、操作较为简便,形成了较为成熟的地籍调查作业系统。

关键词: 地籍, 地籍调查, GPS, PDA, TS, 嵌入式 GIS, 蓝牙, 超棱镜

Abstract

With the rapid development of national urban, the urban cadastral survey work spreads all over the country. The existing technology has become increasingly difficult to meet the demand of the job, the solving method to the problem that the initialization and the routine modification of the cadastral survey work cannot meet the demand of the government for cadastral information, should only be a new effective survey method for the cadastre. As the starting point, this dissertation provides a new method for cadastral survey based on GPS, PDA and TS, by doing research on routine cadastral survey work and high-tech.

The new method provided in this dissertation uses PDA and modern communication technology combined with existing measuring equipments, and changes the traditional cadastral survey method of *first control survey, then detail survey* and *first known, then unknown*. The new method uses the free stationing mode, avoiding the trouble of laying reference point before the survey work. The cadastral field measurement makes the GPS RTK points or known points as control. Through the coordinate transformation, free stationing coordinate system can be transformed to the demanding coordinate system, and integration of control points and boundary points measurement is realized.

Base on the new method provided above, this dissertation designs and realizes a cadastral survey system. The main devices of this system include PDA, Total Station and GPS receiver, besides these, Bluetooth COM module for communication between PDA and TS, Super Prism for control points' measurement, and transfer server as the extension.

The software development is divided into two parts: the main and the secondary. While the main used for the measurement of feature point, the secondary is used for control. This dissertation designs the multithread serial port communication and network communication framework based on ACE network development tools, ACE Task class, ACE Acceptor-Connector and ACE Reactor patterns. Based on GDAL/OGR library, an Embed-GIS platform according with Open GIS design specification is constructed, on which the tools for cadastral survey are designed and programmed based on Command design pattern.

The demonstration application of the new cadastral survey system based on GPS/PDA/TS in Beijing Shijingshan, Xuanwu and Fengtai District, proved new method feasibility and new system practicality. Through the contrast with traditional survey method, the new method and system meet the requirement of 1:500 large scale cadastral survey, and improve the efficiency by 30%. Now, the new cadastral survey system based on GPS/PDA/TS has steady performance, complete functions, and simple operation, and becomes more mature.

Key word: cadastre, cadastral survey, GPS, PDA, TS, embedded GIS, Bluetooth, Super Prism

东南大学学位论文独创性声明

本人声明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，也不包含为获得东南大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志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。

研究生签名： 王彪 日期： 09.4.10

东南大学学位论文使用授权声明

东南大学、中国科学技术信息研究所、国家图书馆有权保留本人所送交学位论文的复印件和电子文档，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，可以公布（包括刊登）论文的全部或部分内容。论文的公布（包括刊登）授权东南大学研究生院办理。

研究生签名： 王彪 导师签名： 王彪 日期： 09.4.10

第一章 绪论

1.1 研究背景及意义

地籍最初是为征税而建立的一种田赋清册或簿册，其主要内容是为应纳课税的土地面积、土壤质量及土地税额的登记。但是，随着社会的发展，地籍的概念和内容有了很大的发展。同时，随着科技的发展和社会的进步，地籍除采用簿册登记外，还编绘地籍图，采用图册并用的手段，并逐步向运用计算机技术建立地籍信息系统的方向发展^[1]。

1995年，在国际测量师联合会第七次委员会工作小组的建议稿《关于地籍的论述》中，地籍被定义为“地籍是由政府监管的，以地块为基础的土地信息系统”，将地籍归纳为：国家为一定目的，记载土地的权属、界址、数量、质量（等级）和用途（地类）等基本情况（或称地籍五大要素）的图簿册。

地籍调查是遵照国家的法律规定，调查土地及其附着物的位置、权属、数量、质量和利用状况等基本情况的调查工作。它既是一项政策性、法律性和社会性很强的基础工作，又是一项集科学性、实践性、严密性于一体的技术工作。地籍调查不是一次性的静态工作，根据调查时间及任务的不同，分为初始地籍调查和变更地籍调查；按区域的功能不同，又可分为农村地籍调查和城镇地籍调查^[1]。地籍调查的内容包括土地权属调查、土地利用调查、土地质量调查、房产调查和地籍测量。为了保证地籍管理工作顺利开展，避免引发不必要的矛盾，地籍调查应遵循以下原则：依法的原则、实事求是的原则、符合地籍管理的原则、符合多用途的原则^[2]。

我国地籍调查的基本技术依据有以下几个方面：《城镇地籍调查规程》、《城镇地籍变更调查技术规定》及《地籍图式》；《中华人民共和国土地管理法》；《城市测量规范》；《全国土地分类》；《确定土地所有权和使用权的若干规定》；其他相关政策、法规、政策性文件，有关部门规范性文件、批复、答复函；各级地方政府制定的政策及技术标准的补充规定等。

地籍测量的目的是为了全面查清城镇土地的属性、位置、面积、用途、经济价值及相互之间的关系，为建立全国土地管理信息系统奠定基础。随着我国国民经济的快速发展，迫切需要摸清土地家底，为政府部门的规划与决策提供翔实的数据支持。为此，国土资源部在《地籍管理“十一五”发展规划纲要》中明确指出，要全面、准确掌握全国土地数据，建立城乡一体化、四级（国家、省、市、县）联网互通的土地数据库，城镇地籍调查覆盖率达到100%，村庄地籍调查覆盖率达到95%。同时，我国地籍数据变化量巨大，如北京市每年约5万余宗地发生变化、至少20万个界址点需要调查。因此，在完成初始调查任务的同时，还要维护地籍数据库的及时更新。

随着国家小城镇建设步伐的加快，城镇地籍测量工作在全国范围内展开。我国巨大的地籍初始调查及日常变更调查工作与政府对地籍信息现实性的迫切需求之间矛盾的解决，需要一整套快捷的地籍测量技术。现有技术已日益难以满足工作需求，常常造成“老帐未清又添新帐”的局面。国土资源部负小苏副部长为此特别指出：在土地调查实际工作中，难度最大、最费人力物力财力的就是城市内部的地籍调查，要花大力气研究解决大比例尺城镇土地调查新技术。

2006年开始我校陆续承担了多个国土资源部国家科技支撑计划重大项目：《农村土地实时监测技术与系统研制》、《土地规划实施监管标准研究》、《精准土地调查技术》中多个子课题等等。各个项目的主题都是围绕掌握准确翔实的土地数据以加强国家土地的监

管,那么认真寻找一种行之有效的全数字化多元数据采集技术并将其应用到实际的地籍测量中去,确保大比例尺下地籍调查任务快速有效的完成,已是当务之急。

本论文以这些课题为依托,通过对地籍调查业务内涵的分析,通过对相关技术和科学领域最新成果的应用研究,通过对现有地籍测量方法的深入研究,探讨了现代数字地籍测量的几个关键问题及解决方法,提出了一套完整的基于 GPS (Global Position System, 全球定位系统)/PDA (Personal Digital Assistant, 个人数字助理)/TS (Total Station, 全站仪) 数字地籍测量的解决方案,并构建出了一套实用的、可靠的地籍调查系统。

1.2 国内外研究现状

20 世纪 50 年代,美国国防制图局开始制图自动化的研究,这一研究同时也推动了制图自动化全套设备的研制,包括各种数字化仪(手扶数字化仪及半自动跟踪数字化仪)、扫描仪、数控绘图仪以及计算机接口技术等。70 年代随着计算机及其外围设备的不断发展、完善和生产,在新的技术条件下,对计算机制图理论和应用问题,如地图图形数字表示和数学描述,地图资料的数字化和数据处理方法、地图数据库和图形输出等方面进行了深入的研究,使制图自动化形成了规模生产,美国、加拿大及欧洲各国,在相关的重要部门都建立了自动制图系统。进入 80 年代,世界上各种类型的地图数据库和地理信息系统相继建立,计算机制图得到了极大发展和广泛应用^[3]。

我国从 20 世纪 60 年代开始进行计算机辅助制图的研究,至今已经历了设备研制、软件开发、应用实验和系统建立等发展阶段。80 年代末以来,随着我国现代化建设事业的不断发展,无论在理论研究、规范制订,还是在实际应用的深度和广度方面,计算机机助制图都得到了全面的发展和提高,为我国开展数字化测图工作创造了良好条件。90 年代初期,先后研制了十几套数字测图系统,并在生产中得到了应用。野外数据采集开始采用国内自行研制的电子手簿进行自动记录、计算和图形信息的输入和修改等。内业图形编辑已有了全部自行研制开发的地图图形编辑系统,可对所测的地形图、地籍图等屏幕上各种编辑。

随着我国大范围数字化测图特别是数字地籍测量的生产和应用,对数字测图提出了一些新的更高的要求。数字化测图不再局限于前一阶段只生产数字化地形图的范围,更多地考虑到数字地图产品与各类专题 GIS(Geographic Information System, 地理信息系统)进行数据交换,并应用数字地图产品进行工程计算。因而,人们开始对前一阶段研制的各种数字化测图系统的数据结构、开发性、可扩充性等进行了新的研究,并进行大范围多种图(地形图、地籍图、管线图、工程竣工图等)的试验和生产,在此基础上,国内推出了成熟的、商品化的数字测图系统,并在生产中得到了广泛的应用。

随着高新测绘技术的开发和应用,数字化测绘技术的应用得到迅速发展。数字地籍测量作为一种先进的测量方法,其自动化程度和测量精度均是其他方法难以达到的。目前,数字地籍测量已逐步成为地籍测量的主流,正处于蓬勃发展的时期,其理论和方法也在实践中逐步得到创新和完善。

数字地籍测量有野外数字测量、数字摄影测量、内业扫描数字化测量 3 种模式。其各有优缺点,能相互补充,从而实现地籍信息的全覆盖采集。

(1) 野外数字测量模式。对于尚未测绘大比例尺地形图的城镇地区,是一种可行和值得推荐的测量模式。所采集的数据经过后续软件的处理,便可得到该地区的大比例尺地形图、地籍图以及其他各种专题图,同时还可以建立该地区的数字化地籍数据库。根据数据采集所使用的硬件不同又可分为如下几种方式。

全站仪加电子记录簿(如 PC-E500,GRE3,GRE4 等)加测图软件。利用全站仪在野外实地测量各种地籍要素的数据,在数据采集软件的控制下,实时传输给电子手簿,经过预处理后,

按相应的格式存储在数据文件中,同时配绘草图,供测图软件进行编辑成图。其优点是技术容易掌握,缺点是草图绘制复杂、容易出错、功效不高。

全站仪加便携式计算机加测图软件。集数据采集和数据处理于一体的数字式地籍测量方式。由全站仪在实地采集全部地籍要素数据,由通信电缆将数据实时传输给便携机,数据处理软件实时处理并显示所测地籍要素的符号和图形,原始采样数据和处理后的有关数据均记录于相应的数据文件或数据库中。由于现场成图,其具有直观、速度快、效率高的优点,缺点是价格昂贵、适应野外环境的能力较差。

全站仪加掌上电脑加测图软件。作业方式与上一种相同。由于掌上电脑价格低廉、操作简便、现场成图、速度和效率都很高,其前景十分广阔。

GPS RTK(Real-time Kinematic, 载波相位动态实时差分)接收机加测图软件。利用 GPS RTK 接收机在野外实地测量各种地籍要素的数据,经过 GPS 数据处理软件进行预处理,按相应的格式存储在数据文件中,同时配绘草图,供测图软件进行编辑成图。GPS RTK 接收机是一种实时、快速、高精度、远距离数据采集设备。其显著的优点是控制点大大减少,测量效率大大提高。缺点是必须绘制测量草图,一些无线电死角和卫星信号死角无法采集数据,必须用全站仪进行补充。

GPS RTK 接收机加全站仪加掌上电脑加测图软件。克服集中数字测量模式的缺点,发挥各自的优点,可适应任何地形环境条件和任意比例尺地籍图的测绘,实现全天候、无障碍、快速、高精度、高效的内外业一体化采集地籍信息。

目前国内国内市场上较为成熟的野外测量软件有南方测绘仪器公司的测图精灵,武汉瑞得信息工程有限责任公司的 RDMS 数字测图系统,北京清华山维的 EPSW 电子平板测图系统等。国外的有美国 Trimble 公司的 MGIS 产品,日本宾得(PENTAX)大地测量仪器公司的 CI TP MAP 成图软件,瑞士徕卡测量系统股份有限公司的 System1200 和 SmartStation 等。

(2) 数字摄影测量模式。以航空像片为数据采集对象,利用数字摄影测量技术在航片上采集地籍数据,并通过电子坐标数据接口与计算机串行接口相连接,由专用测图软件来处理采集的数据,从而获得所需要的基本地籍图和各种专题地籍图。

20 世纪 70 年代,联邦德国就曾用摄影测量的方法测定了 193000 个界址点坐标。20 世纪 90 年代中期由原武汉测绘科技大学和陕西测绘局进行的试验表明,利用 1:3000 摄影比例尺的像片资料和我国的航测内外业作业条件,也能获得士(5-10)cm 的高精度加密结果,因此用摄影测量方法加密界址点坐标进行地籍测量是大有前途的。

(3) 内业扫描数字化测量模式。用扫描数字化方法对已有地形图或地籍图采集数字化地籍要素数据,而界址点的坐标数据则由前述两种模式测量和计算得到,或把已有界址点的坐标数据输入计算机,然后将这两部分数据叠加并在数据处理软件的控制下得到各种地籍图和表册。这种方法要求地形图或地籍图必须现势性较强。

通过对三种数字地籍测量模式的研究,采用内业扫描数字化测量模式已不适合目前地籍初始调查和地籍变更调查;数字摄影模式设备价格昂贵,调查成本高,只能适用于大范围地籍初始调查,不适用于小范围地籍初始调查和日常地籍变更调查。

在实地地籍测量方法上,各国目前普遍采用的方法是:GPS 完成首级控制网布设,利用全站仪通过测角量边布导线或利用 RTK 完成图根点布设,在图根点的基础上利用全站仪进行碎部点坐标采集。一般来说,利用 GPS 进行首级控制网布设时,选点自由,作业速度快,是目前理想的首级网布设方法,特别是随着各地局域连续运行参考站建立,还可以免去 GPS 首级控制网的布设。但在图根点布设阶段,使用全站仪导线方法时,由于地籍调查作业区街巷纵横交错、树木遮挡,严重影响了控制点间通视,对选点和观测都带来了难度。随 RTK 技术的成熟,利用 RTK 进行图根点布设已被越来越多的单位所采用。但是,作业区建筑物、房屋密集、电信线路较多,严重影响了流动站接收机对卫星信号的接收,使得很多情

况 RTK 整周模糊度收敛困难, 作业人员不得不携带 RTK 流动站寻找开阔地方, 期盼实现高精度定位。同时, 为了满足后阶段碎部点测量时全站仪定向的需要, RTK 作业时还必须形成距离不小于技术要求的对点, 这些无疑会导致工作量的增加和工程周期的增长。在图根点基础上利用全站仪进行碎部点测量时, 全站仪必须后视一已知点进行定向, 该已知点的精度和到测站的距离决定了定向的精度, 同时也影响着碎部点的测量精度。因此, 为确保碎部点的测量精度, 在图根点布设时, 既要保证图根点具有一定的密度, 又要考虑图根点间的通视及距离。这也无疑增加了图根点布设的难度。

为了避免地籍调查前期布设控制网的麻烦, 降低全站仪设站的技术要求, 本文选择采用 GPS RTK 接收机、全站仪、掌上电脑加测图软件的工作方式, 使用全站仪自由设站, 现场成图, 实现了全功能、全天候、无障碍、快速、高精度、高效的内外业一体化地籍信息采集。

1.3 本文的研究内容和组织结构

本文通过对现有地籍调查技术、和实地地籍外业工作的实际研究, 发现传统地籍调查存在调查效率低、工作程序复杂、测量要求高等弊端。本文通过研究和地籍测量相关的一些技术, 比如: GPS 卫星定位技术、嵌入式 GIS 技术、网络通讯技术、无线通讯技术等, 并把这些技术与具体地籍测绘工作相结合, 设计了一套完整的基于 GPS/PDA/TS 的地籍测绘新方法, 并根据新方法设计并实现了基于新方法的地籍调查系统。将现代技术成功地运用到生产实践之中去, 通过示范应用, 证明了新方法的可行性, 证实了基于新方法的地籍调查系统的实用性。该系统提高了外业工作效率、简化外业工作流程、达到 1:500 城镇大比例尺地籍测量的测量要求。

本论文以方法的提出、设计、实现、应用为思路, 首先分析了国内外的研究现状, 对地籍调查的迫切需求, 接着提出了地籍测绘的新方法新思路, 并基于新方法设计开发的地籍调查系统。最后, 通过地籍调查系统的示范应用, 证实了新方法的可行性和系统的实用性。据此, 本论文共分为五章:

第一章 绪论: 介绍了课题的研究背景和相关情况。

第二章 地籍测绘新方法的设计: 通过对传统地籍测绘方法的研究, 提出了基于 GPS/PDA/TS 的地籍测绘新方法, 并对新方法所用到的误差理论和数学模型进行公式推导, 设计并实现基于新方法地籍测绘所需的硬件设备。

第三章 基于地籍测绘新方法的软件实现: 通过对新方法的分析, 设计基于 Win CE 平台的 PDA 软件。介绍了和软件开发相关的数字通讯技术和嵌入式 GIS 技术, 并基于这些技术对软件进行编程实现。

第四章 系统在地籍调查中的示范应用: 介绍了系统在示范区进行示范应用的工作过程, 并通过测试数据的精度对比和示范应用分析, 讨论新系统的实用性。

第五章 总结与展望: 总结通过前三章的研究与应用, 在地籍调查中所取得的理论、方法和系统成果, 提出今后需要进一步深入研究的方向。

1.4 测绘专业词汇说明

控制点——在测绘和测设工作中需要一定数量点位(坐标)已知的、埋设稳固的固定点作为展开测量工作的基准点, 这些基准点成为控制点。

图根点——直接为测图目的建立的控制点称为图根点。

碎部点——地形、地貌的平面轮廓由一些特征点决定，这些特征点统称碎部点。

界址点——宗地权属界线的转折点或拐点。

导线——将测区内相邻控制点用直线相连而构成的折线称为导线。

第二章 地籍测绘新方法的设计

传统的平板仪测图和经纬仪（或测距经纬仪）测图通称为白纸测图，主要采用解析法和极坐标法，成果为模拟式的图解图。由于其成图周期长、精度低、劳动强度大等局限，已经逐步被淘汰。随着 GPS、GIS、RS、全站仪等相关技术的广泛应用，数字化测图得到了迅速的发展和应用，使地籍测绘逐步走向数字化和自动化的地理信息时代。

目前在地籍测绘中，GPS、全站仪已经得到普遍的使用，但是还只是各自单独发挥作用，还没有一套完整的技术方案或者完整的系统能将高科技仪器设备有机的组合在一起。本章通过对传统测绘方法的研究，提出了基于 GPS/PDA/TS 的地籍测绘新方法，并分析了基于新方法设计的地籍调查系统的组成，提出了地籍测绘新方法的作业流程。本章研究了新方法的理论基础，测量平差和最小二乘原理，并推导出坐标转换及精度计算公式，为新方法的系统实现提供了理论依据。本章最后介绍了系统设计开发所需的两种设备，蓝牙串口模块和超棱镜。

2.1 传统地籍测绘方法

目前，我国各地区地籍调查的要求各不相同，测量方法、成图比例尺、调查结果也多种多样。根据《地籍测绘规范》，在农村地籍调查中，一般采用 1:2000 或以上的比例尺，测量方法一般采用影像图直接构绘的方法进行测量；在城镇地籍调查中，大比例尺成图的需求越来越高，一般采用 1:500 的地籍图比例尺，测量方法一般采用全站仪现场采点的方法进行测量。

采用全站仪现场采点的地籍测量方法，分为以下几个步骤：

（1）地籍控制测量

在一些大城市中，一般已经建立城市控制网，并且已经在此控制网的基础上做了大量的测绘工作。但是，随着经济建设的迅速发展，已有的控制网的控制范围和精度已不能满足要求，需要利用已经成熟的 GPS 定位技术来加强和改造已有的控制网作为地籍控制网。对于边长小于 8~10km 的二、三、四等基本控制网和一、二级地籍控制网的 GPS 基线向量，一般采用 GPS 快速静态定位的方法。

目前，一、二级地籍控制网导线的平均边长都在 100m 以上，如此的控制点密度用于测定复杂隐蔽的居民地的界址点是远远不够的。为此，还要在二级导线以下，根据需要布设大量的图根导线进行加密。

（2）界址点测量

在已布设图根控制点的基础上，架设全站仪对可视范围内的界址点、地物点进行测量。测量结果保存在全站仪内存之中，测量时还应构绘测区建筑物草图，供内业进行数据处理和地籍成图。

（3）内业成图

导出全站仪外业数据，根据外业构绘的草图，在成图软件上进行展点、构图，然后按照《地籍图图式》编辑地物符号和注记等，生成地籍图。

（4）外业复审

测绘人员拿着生成的地籍图去实地复审，复审后的地籍图入库。

现在的地籍测量方法和过去传统的平板仪测图和经纬仪（或测距经纬仪）测图的白纸测

图相比,有自动化程度高、精度高、现势性强、整体性强、适用性强等优点,但是依然存在以下问题:

(1) 整体工作效率不高。从基本控制到加密控制再到界址点测定,工序多而复杂,而且由于整体作业周期长,花费大量人力物力埋设在地面上的控制点和界址桩常会因工程建设、马路拓宽等遭到破坏,真正到地籍测绘时往往是不停地找点,不停地补点,导致工作效率低下。

(2) 不能现场成图。外业测绘时必须绘制大量的地物关系草图,之后再结合草图进行内业图形编辑,还需要花费大量时间核对数据,而且容易出现数据错漏和相互矛盾,影响内业工作效率。

(3) 难以有效利用已有底图。一般地籍测绘设备,不具有 GIS 功能,现场不能对已有工作底图进行查询和显示,导致地籍调查的外业工作效率低,还容易出错,如常出现所谓的“双眼皮”现象。

2.2 地籍测绘新方法整体方案设计

地籍测量中,前期控制网布设困难、麻烦的问题是首先需要解决的问题。只有解决控制点的问题,才能大幅度提高地籍外业作业效率。为此,本文研究了一种无需布设控制网,通过全站仪自由设站即可进行界址点和地物点测量的新方法。

全站仪在测区自由设站,直接对测区内的界址点和地物点进行坐标测量,获取测图坐标系(或称自由坐标系)下坐标,并现场生成测图坐标系下地籍线划图。然后利用测图坐标系和成图坐标系的几何关系,通过坐标转换的办法将测图坐标系转到成图坐标系,从而得到界址点和地物点的准确坐标和成图坐标系下的地籍线划图。

自由设站进行地籍测量新方法的重点是,确定测图坐标系和成图坐标系之间的关系。测图坐标系和成图坐标系是通过公共点联系在一起的,所谓公共点,是指在两套坐标系下的同一个地理位置。只有获取了公共点在两套坐标系下的坐标,才能得到出两套坐标系的关系,才能进行坐标转换,将测图坐标系转换到成图坐标系。

公共点在测图坐标系下的坐标是由全站仪直接测量得到,公共点在成图坐标系下的坐标获取有两种办法:第一,已知点;第二,采用 GPS RTK 技术测量得到。

2.2.1 系统组成

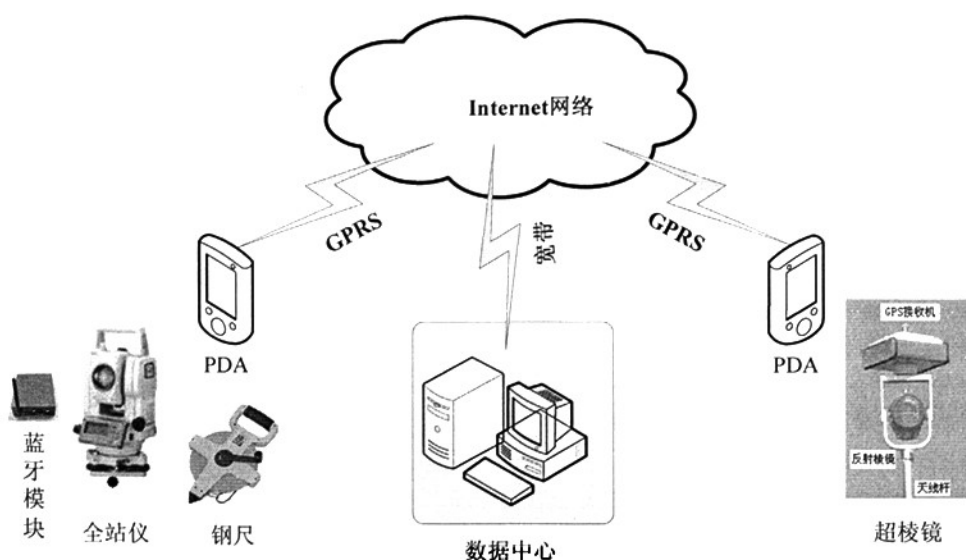


图 2-1 地籍调查系统组成

如图 2-1 所示，地籍调查系统主要有全站仪、钢尺、蓝牙模块、超棱镜、PDA、数据中心六部分组成。全站仪和钢尺作为测绘的常规仪器，主要用于碎部点的测量，钢尺作为全站仪的辅助测量工具，在建筑物密集，全站仪无法通视的情况下使用。PDA 通过蓝牙模块控制全站仪进行碎部测量，实现土地信息采集、显示、编辑、存储的整个过程。超棱镜是东南大学 3S 研发中心根据系统需求自行设计的设备，由 GPS 接收机、棱镜、测量杆组成，用于控制点的测量。PDA 之间通过中国移动通讯 GPRS（General Packet Radio Service，通用分组无线业务）接入 Internet，通过数据中心实现土地测量数据的共享。

2.2.2 工作流程

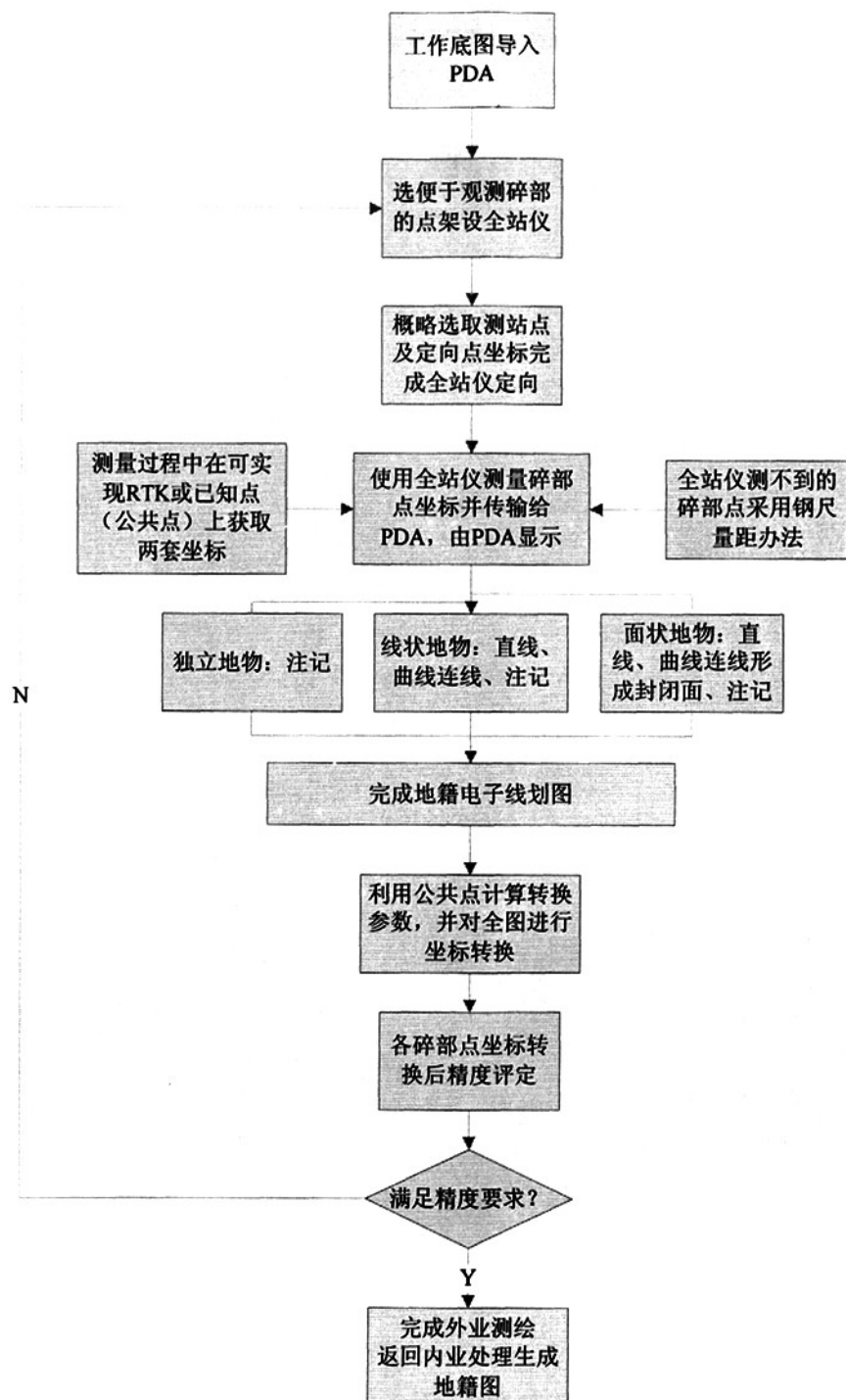


图 2-2 地籍测绘新方法工作流程

本论文设计的地籍测量新方法的工作流程如图 2-2 所示:

(1) 在有外业底图的情况下, 先导入工作底图。工作底图可以是影像图、shape 格式、VCT 格式等。

(2) 将 PDA 和全站仪建立蓝牙连接, 在便于使用全站仪观测碎部点的位置架设全站仪, 使用粗略位置定向, 自由设站形成测站坐标系。

(3) 跑尺人员携带超棱镜到碎部点上配合全站仪进行碎部点测量; 在可以实现高精度 RTK 定位的点上, 利用 GPS 测得成图坐标系下的坐标, 同时用全站仪获得该点在测站坐标系的坐标, 形成第一类公共点;

(4) 测站人员根据 PDA 上显示的所测碎部点进行简单的成图操作, 遇到全站仪无法测量或很难测量的碎部点, 用钢尺测出距离, 然后利用 PDA 地籍调查软件里的成图工具根据实际情况构建成图。

(5) 在 PDA 上获得工作底图上明显碎部点在成图坐标系下的坐标, 并利用全站仪获得该点在测站坐标系的坐标, 形成第二类公共点;

(6) 利用步骤 2 和步骤 4 所得公共点计算测站坐标系至成图坐标系的坐标转换参数, 利用此转换参数完成全部图斑、碎部点的坐标转换, 生成成图坐标系下的地籍线划图;

(7) 根据地籍测量的精度要求, 检验各个图斑、碎部点坐标转换精度是否满足成图要求, 如满足成图要求则外业测站工作结束, 导出数据返回内业使用地籍成图软件生成地籍图; 否则, 利用全站仪支点在支点点设站, 重复步骤 2~6。

该地籍外业作业流程思路清晰, 方法简单易于非专业测绘人员学习掌握。特别是, 该方法采用自由设站的工作方式, 不仅省去了地籍测绘前布设控制网的麻烦, 而且提高了全站仪设站速度。对碎部点的测量, 可以直观的在 PDA 上看出测量结果, 其测量精度是否在精度允许的范围内。测量精度依赖于控制点的精度和坐标转换的精度。

2.2.3 系统特点

新技术方法利用 PDA 和现代通讯技术, 对现有测量的设备进行优化组合和系统集成, 改变了“先控制测量, 后碎部测量”以及“先有已知点, 后测未知点”的常规作业模式, 具有以下四个方面的特点:

(1) 实现 GPS、TS、PDA 有效组合实现无控制点测量

通过 PDA、现代通讯技术将 GPS、全站仪等现有测量仪器设备有机结合起来, 采用坐标转换的方法获取界址点、地物点坐标, 免去了地籍测量前期布设控制点的麻烦, 实现了控制测量与界址点测绘的一体化作业。

(2) 做到 PDA 现场成图

在 PDA 屏幕上实时显示测量结果及精度, 现场构建宗地、录入属性, 以标准数据交换格式 (Shape) 存储等, 必要时可实时回传至信息中心, 实现内业编辑与外业测绘同步进行。

(3) 有效利用已有地籍成果

在地籍调查中, 可将已有地籍成果导入 PDA, 作为测量底图使用, 利用已有地籍数据方便地对新目标的测量, 避免重复测量, 同时也可以检验测量效果。

(4) 基于新技术的地籍调查作业流程

通过北京市石景山区、宣武区、丰台区三个示范区的实际应用, 紧密结合 1: 500 地籍调查业务的实际需求, 形成了新技术应用方法, 对地籍调查的业务流程进行了创新。简化了地籍调查的业务流程, 降低了地籍调查的专业要求, 更加适合非专业技术人员作业。

2.3 坐标转换和精度

地籍测绘新方法的特点是自由设站,省去了前期布设控制网的工作,但是增加了坐标转换这一过程。坐标转换的理论公式的准确性直接影响到地籍外业测量精度,通过坐标转换后的碎部点的测量精度也需要及时了解,防止产生测量废点,提高外业作业效率。

2.3.1 测量平差

测量平差即测量数据调整,是依据某种最优化准则,由一系列带有观测误差的测量数据,求得未知量的最佳估值及精度的理论和方法^[4]。

能够唯一确定一个数学模型所必要的元素,称为必要元素,个数用 t 米表示。必要元素不仅要考虑其个数,而且还要考虑到它的类型。当某个数学模型给定后,能够唯一确定该模型的必要元素的个数 t 及其类型,这与数学模型有关,与实际观测量无关。

对于任意一个数学模型,它的 t 个必要元素之间必须不存在函数关系,亦即其中任一元素不能表达成其余 $(t-1)$ 个元素的函数,也就是说必要元素 t 个量为函数独立量,简称独立量。

在测量工程中,为了求得一个数学模型中各量的大小就必须进行观测。如果总共观测了该模型中 n 个量的大小,若观测个数少于必要元素的个数,即 $n < t$,显然无法确定该模型,即出现了数据不足的情况;若观测量了 t 个独立量, $n = t$,则可以唯一确定该模型。在这种情况下,如果观测结果中含有粗差甚至错误,将都无法发现。为了能及时发现粗差和错误,并提高测量成果的精度,就必须进行多余观测,即,使 $n > t$ 。由于增加一个量,就必然产生一个相应的函数关系式,这种函数关系在测量平差中称为条件方程。

由于观测值不可避免地存在偶然误差,当 $n > t$ 时,数学模型中应该满足的 $n-t$ 个条件方程因实际存在闭合差而并不满足。如何调整观测值,即对观测值合理地加上改正数,使其达到消除闭合差的目的,这是测量平差的主要任务。

2.3.2 最小二乘原理

最小二乘法原理是一种在多学科领域广泛应用的数据处理方法,用于妥善解决参数的最可信估计、组合测量的数据处理、用实验方法拟定经验公式以及回归分析等一系列数据处理问题^{[4][5]}。

为了确定 t 个不可直接测量的未知量 $X_1, X_2, \dots, X_t$ 的估计量 $x_1, x_2, \dots, x_t$, 可对与该 t 个未知量有函数关系的直接测量量 Y 进行 n 次测量,得测量数据 $l_1, l_2, \dots, l_n$, 并设有如下函数关系:

$$\left. \begin{aligned} Y_1 &= f_1(X_1, X_2, \dots, X_t) \\ Y_2 &= f_2(X_1, X_2, \dots, X_t) \\ &\vdots \\ Y_n &= f_n(X_1, X_2, \dots, X_t) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

若 $n = t$, 则可由上式直接求得未知量。由于测量数据不可避免地包含着测量误差,所以求得的结果 $x_1, x_2, \dots, x_t$ 也必定包含一定的误差。为了提高所得结果的精度,应适当增加

测试次数 n ，以便利用抵偿性减少随机误差的影响，因此一般取 $n > t$ 。但此时则不能直接由上式解得 $x_1, x_2, \dots, x_t$ ，最小二乘法原理指出，最可信赖值应在使残余误差平方和最小的条件下求得。

设直接量 $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ 的估计量分别为 $y_1, y_2, \dots, y_n$ ，则有如下关系：

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= f_1(x_1, x_2, \dots, x_t) \\ y_2 &= f_2(x_1, x_2, \dots, x_t) \\ &\vdots \\ y_n &= f_n(x_1, x_2, \dots, x_t) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

而测量数据 $l_1, l_2, \dots, l_n$ 的残余误差应为

$$\left. \begin{aligned} v_1 &= l_1 - y_1 \\ v_2 &= l_2 - y_2 \\ &\vdots \\ v_n &= l_n - y_n \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

即，

$$\left. \begin{aligned} v_1 &= l_1 - f_1(x_1, x_2, \dots, x_t) \\ v_2 &= l_2 - f_2(x_1, x_2, \dots, x_t) \\ &\vdots \\ v_n &= l_n - f_n(x_1, x_2, \dots, x_t) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

若数据 $l_1, l_2, \dots, l_n$ 的测量误差是无偏的（即排除了测量的系统误差），相互独立的，且服从

正态分布，并设其标准差分别为 $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n$ ，则测量结果 $l_1, l_2, \dots, l_n$ 出现于相对真值附近

$d\delta_1, d\delta_2, \dots, d\delta_n$ 区域内的概率分别为

$$P_1 = \frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} e^{-\delta_1^2 / (2\sigma_1^2)} d\delta_1 \quad (5)$$

$$P_2 = \frac{1}{\sigma_2 \sqrt{2\pi}} e^{-\delta_2^2 / (2\sigma_2^2)} d\delta_2 \quad (6)$$

.....

$$P_n = \frac{1}{\sigma_n \sqrt{2\pi}} e^{-\delta_n^2 / (2\sigma_n^2)} d\delta_n \quad (7)$$

各测量数据同时出现在相应区域 $d\delta_1, d\delta_2, \dots, d\delta_n$ 的概率应为

$$P = P_1 P_2 \cdots P_n$$

$$= \frac{1}{\sigma_1 \sigma_2 \cdots \sigma_n (\sqrt{2\pi})^n} e^{-(\delta_1^2/\sigma_1^2 + \delta_2^2/\sigma_2^2 + \cdots + \delta_n^2/\sigma_n^2)/2} d\delta_1 d\delta_2 \cdots d\delta_n \quad (8)$$

根据最大似然原理, 由于事实上 $l_1, l_2, \dots, l_n$ 已经出现, 因而有理由认为这 n 个测量值同时出现于相应区间 $d\delta_1, d\delta_2, \dots, d\delta_n$ 的概率 P 为最大, 由上式可以看出, 要使 P 最大, 应满足

$$\frac{\delta_1^2}{\sigma_1^2} + \frac{\delta_2^2}{\sigma_2^2} + \cdots + \frac{\delta_n^2}{\sigma_n^2} = \text{最小} \quad (9)$$

由此给出的结果只是估计量, 它们以最大的可能性接近真值而并非真值, 因此上述条件应该以残余误差的形式表示, 即,

$$\frac{v_1^2}{\sigma_1^2} + \frac{v_2^2}{\sigma_2^2} + \cdots + \frac{v_n^2}{\sigma_n^2} = \text{最小} \quad (10)$$

考虑到线性参数方程的一般形式及估计量分别为,

$$\left. \begin{aligned} Y_1 &= a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \cdots + a_{1t}X_t \\ Y_2 &= a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \cdots + a_{2t}X_t \\ &\vdots \\ Y_n &= a_{n1}X_1 + a_{n2}X_2 + \cdots + a_{nt}X_t \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1t}x_t \\ y_2 &= a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2t}x_t \\ &\vdots \\ y_n &= a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \cdots + a_{nt}x_t \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

其误差方程为

$$\left. \begin{aligned} v_1 &= l_1 - (a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1t}x_t) \\ v_2 &= l_2 - (a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2t}x_t) \\ &\vdots \\ v_n &= l_n - (a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \cdots + a_{nt}x_t) \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

写成矩阵形式为

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \\ \vdots \\ l_n \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1t} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2t} \\ & & \ddots & \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nt} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad (14)$$

即, $V = L - AX$

最小二乘原理的矩阵形式为

$$V^T D^{-1} V = \text{最小} \quad (15)$$

D 为直接测量结果 $l_1, l_2, \dots, l_n$ 的方差阵, 即,

$$D = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & \cdots & 0 \\ & & \ddots & \\ 0 & 0 & \cdots & \sigma_n^2 \end{bmatrix} \quad (16)$$

对 $V^T D^{-1} V$ 求 $\hat{X}$ 的偏导数, 并令其为 0, 可得,

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} & \cdots & a_{n1} \\ a_{12} & a_{22} & \cdots & a_{n2} \\ & & \ddots & \\ a_{1n} & a_{2n} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & \cdots & 0 \\ & & \ddots & \\ 0 & 0 & \cdots & \sigma_n^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (17)$$

即,

$$A^T D^{-1} V = 0 \quad (18)$$

而, $V = L - A\hat{X}$

所以,

$$A^T D^{-1} (L - A\hat{X}) = 0 \quad (19)$$

$$A^T D^{-1} A\hat{X} = A^T D^{-1} L \quad (20)$$

$$\hat{X} = (A^T D^{-1} A)^{-1} A^T D^{-1} L \quad (21)$$

2.3.3 坐标转换和精度计算

测量中不同平面直角坐标系存在坐标原点差异 (表现为原点矩 δx , δy)、坐标轴不平行差异 (表现为旋转角 θ)、尺度差异 (表现为尺度比 Kx , Ky)。由此, 可建立不同平面直角坐标系间二维坐标转换的合理模式, 即,

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta x \\ \delta y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X' \\ Y' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Kx & 0 \\ 0 & Ky \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X' \\ Y' \end{bmatrix} \quad (22)$$

式中 X, Y 为第 1 个坐标系坐标, X', Y' 为第 2 个坐标系的对应坐标, $\delta x, \delta y$ 为原点矩,

θ 为旋转角, Kx, Ky 为尺度比。将式 (22) 矩阵运算展开, 可得,

$$X = \delta x + X' \cos \theta + Y' \sin \theta + X' Kx \quad (23)$$

$$Y = \delta y - X' \sin \theta + Y' \cos \theta + Y' Ky \quad (24)$$

将 (23)、(24) 再整理, 可得,

$$X = \delta x + X'(\cos \theta + Kx) + Y'\sin \theta \quad (25)$$

$$Y = \delta y - X'\sin \theta + Y'(\cos \theta + Ky) \quad (26)$$

令

$$a_1 = \delta x; \quad a_2 = \cos \theta + Kx; \quad a_3 = \sin \theta$$

$$b_1 = \delta y; \quad b_2 = -\sin \theta; \quad b_3 = \cos \theta + Ky$$

考虑到 $a_3 = -b_2$, 并且 X 轴和 Y 轴的尺度差异大致相当 $Kx = Ky$, 则有,

$$X = a_1 + a_2X' + a_3Y' \quad (27)$$

$$Y = b_1 - a_3X' + a_2Y' \quad (28)$$

将 a_1, a_2, a_3, b_1 用 a, b, c, d 代替并将式 (27)、(28) 用矩阵形式表示, 则有,

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & X' & -Y' \\ 0 & 1 & Y' & X' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix} \quad (29)$$

由式 (29) 可知, 平面直角坐标系转换参数 a, b, c, d 未知, 至少需要两个公共点才能解出这四个参数。在实际工作过程中, 公共点的数量一般是未知的, 公共点数量越多坐标转换的精度就越有保障。假设测有 n 个公共点, 根据式 (29) 可列出如下方程,

$$\begin{bmatrix} x_{g1} \\ y_{g1} \\ x_{g2} \\ y_{g2} \\ \dots \\ x_{gn} \\ y_{gn} \end{bmatrix}_{(2n \times 1)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & x_{q1} & -y_{q1} \\ 0 & 1 & y_{q1} & x_{q1} \\ 1 & 0 & x_{q2} & -y_{q2} \\ 0 & 1 & y_{q2} & x_{q2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 0 & x_{qn} & -y_{qn} \\ 0 & 1 & y_{qn} & x_{qn} \end{bmatrix}_{(2n \times 4)} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix}_{(4 \times 1)} \quad (30)$$

记为, $L = BX$

其中, x_{gn} 表示第 n 个公共点在成图坐标系下 X 轴方向的坐标, y_{gn} 表示第 n 个公共点在成图坐标系下 Y 轴方向的坐标; x_{qn} 表示第 n 个公共点在自由坐标系下 X 轴方向的坐标, y_{qn} 表示第 n 个公共点在自由坐标系下 Y 轴方向的坐标。

第 n 个公共点在成图坐标系下的坐标精度一般可以直接从工作底图或者 GPS 接收机接收的卫星电文中直接获取, 设为 d_{gn} , 考虑到 X 轴和 Y 轴方向上标准差一致, 则 X 轴和 Y

轴方向上的标准差（精度）为 $\frac{\sqrt{2}d_{gn}}{2}$ ，列出方程式（30）中公共点坐标的方差阵为，

$$D = \begin{bmatrix} \frac{d_{g1}^2}{2} & & & & & \\ & \frac{d_{g1}^2}{2} & & & & \\ & & \frac{d_{g2}^2}{2} & & & \\ & & & \frac{d_{g2}^2}{2} & & \\ & & & & \dots & \\ & & & & & \frac{d_{gn}^2}{2} \\ & & & & & & \frac{d_{gn}^2}{2} \end{bmatrix}_{(2n \times 2n)} \quad (31)$$

根据最小二乘原理式（21），可得坐标转换参数 X ，

$$X = (B^T D^{-1} B)^{-1} B^T D^{-1} L \quad (32)$$

带入式（29）坐标转换公式，可得自由坐标系到成图坐标系的转换结果。根据最小二乘原理，转换后坐标的方差阵可表示为：

$$D' = A(B^T D^{-1} B)^{-1} A^T \quad (33)$$

和式（31）类似， D' 为 2×2 的矩阵，转换后坐标的方差为：

$$m = \text{trac}(A(B^T D^{-1} B)^{-1} A^T)_{(2 \times 2)} \quad (34)$$

则转换精度（即标准差）：

$$p = \sqrt{m} \quad (35)$$

2.4 系统硬件实现

根据地籍测绘新方法的设计思路，在系统实现上，所需的硬件设备中除已有的全站仪、PDA、GPS 接收机之外还需要增添 PDA 与全站仪通讯的蓝牙串口模块和同时获取控制点 GPS RTK 坐标与测图坐标的超棱镜。

2.4.1 蓝牙串口模块

现有的全站仪系统一般均具有角度测量、边长测量、坐标测量、坐标放样、悬高测量、对边测量等功能，可以实现在有棱镜或无棱镜条件下界址点和地物点的坐标测量。其显著特点是：自动化程度高，功能多，精度好，通过配置适当的接口，就可使野外采集的测量数据

直接进入计算机进行数据处理。但是,目前的全站仪只支持串口通讯,串口通讯不仅有串口线长度的限制,而且使用起来很不方便。并且地籍测量所用到的 PDA 一般没有串口接口,较为普遍的是采用蓝牙无线通讯技术。为此,需要对全站仪进行升级改造,研制串口转蓝牙模块,使全站仪直接可以和 PDA 进行通讯。

蓝牙串口模块采用的是南京国春电气设备有限公司生产的GC-02 CLASS2贴片式蓝牙模块,GC-02 蓝牙模块设计采用了CSR公司的AUDIO-FLASH 蓝牙芯片,自带高效板载天线,最适合工业数据、语音传输,是高质量的CLASS2 蓝牙模块,具体参数如下^[6]:

电路接口:

USB 口、RS232 串行口 (TTL 电平)、Audio 模拟语音接口 (SPK, MIC), SPI 编程口, 2路AIO 模拟量接口, 9 路数字PIO接口

主要性能:

频段: 2.40GHz—2.48GHz, ISM Band

蓝牙协议: BlueTooth V1.2

功率等级: Class2 (+6dBm)

接收灵敏度: -85dBm

操作电压: 2.7V~3.3V

工作温度: -40℃ 至 +105℃

参考功耗: 待机 0 ~ 6 mA

数据通信 约20 mA

语音通讯 约30 mA

通信距离: 10m

蓝牙串口模块实物图如图2-4所示。经过实际测试,蓝牙串口模块能很好的实现PDA和全站仪之间的通讯。



图 2-4 蓝牙串口模块实物图

2.4.2 超棱镜

在没有合适精度的底图情况下(例如,城镇地籍初始调查),需要用 GPS RTK 采集控制点的绝对坐标,又要用全站仪测量此点的相对坐标。为提高测量精度,提高外业作业效率,特别设计了超棱镜,如图 2-5 所示。



图 2-5 超棱镜和全站仪

超棱镜由在同一中心线上的反射棱镜、测量杆和 GPS 接收机三部分组成。在对控制点进行测量时，使用三脚架或者直接使用测量杆上气泡进行对中，保证 GPS 接收机在测量位置的垂直状态。使用超棱镜组合设备就可同时获取同一控制点的两套坐标，即使用 GPS RTK 获得控制点的绝对坐标，使用反射棱镜获得控制点的测站坐标，为坐标转换提供了准确的参数。超棱镜使用非常方便，在对一般地物点的测量中，配合全站仪作为普通测量棱镜使用；在可以实现 RTK 的地方安装 GPS 接收机，发挥其特有的双坐标测量功能。

2.5 本章小结

本章通过对传统地籍调查技术的分析和对现有技术的研究，提出了一套基于 GPS/PDA/TS 的地籍测绘新方法，该方法省去了地籍测量前控制网布设的麻烦，采用自由设站的方法对测区进行直接测量，测后采用坐标变换的方式获取成图坐标系下的地籍图。该方法解决了目前传统地籍调查技术中存在的技术问题，大大提高了工作效率。

本章通过对测量平差和最小二乘原理的介绍，从理论上推导出坐标转换及其转换精度的公式，为地籍测绘新方法和基于新方法的地籍调查系统提供了理论支持。

根据新方法的设计思想，对基于新方法的地籍调查系统做了整体的设计。在现有仪器设备的基础上，设计并实现了新地籍调查系统所需的新设备：蓝牙串口模块和超棱镜。

第三章 基于地籍测绘新方法的软件实现

地理信息系统(GIS)是随着计算机技术的发展而形成的一门新兴技术,并成为一种主要的信息产业。随着信息技术,尤其随着计算机技术以前所未有的速度快速发展,以及 GIS 的应用深度的不断深入和广度的扩大, GIS 正处于急剧变化与发展之中。随着掌上电脑(PDA)的广泛使用,各种嵌入式 GIS 系统和移动 GIS 系统也应运而生。同时,网络通讯技术、无线通信技术的迅速发展,为信息的传递和共享提供了基础平台。本章将网络通信技术应用到以 PDA 为操作平台的嵌入式 GIS 中去,实现基于 GPS/PDA/TS 的地籍调查新方法。

本章首先介绍了实现地籍调查系统所用到的蓝牙通讯和网络通讯技术,并介绍了 ACE 开发环境及实现系统使用的 ACE 框架,利用工具对数字通讯模块进行了实现。接着,本章介绍了 GIS、嵌入式 GIS、Open GIS 规范的概念与原理,GDAL/OGR 开发库,在此基础上,根据嵌入式平台特点与系统开发目的,设计与构建简单的嵌入式 GIS 的数据模型。随后,本文根据地籍外业调查的工作需要设计并实现了地籍测绘工具。

3.1 软件整体设计

根据地籍测绘新方法的设计思想,重要的是如何获取控制点的两套坐标参数。由于在实际的地籍外业工作中,测站点和控制点的距离不定,有时较远,会达一公里以上。在这种情况下,使用 PDA 通过蓝牙通讯连接控制全站仪从超棱镜获取控制点坐标已不成问题,但是如何又能获取超棱镜 GPS 接收机采集到的控制点的绝对坐标?

如果还用 PDA 通过蓝牙和 GPS 接收机进行通讯的话,由于蓝牙无线通讯距离有限,测站人员需要在测站点和控制点之间来回奔波,还要人为的控制 PDA 绑定或解除和全站仪或 GPS 接收机之间的蓝牙链接。这样一来,不仅操作繁琐,同时也降低了地籍外业测绘的工作效率;如果采用人为输入坐标的办法,一是不能及时地知道控制点的绝对位置坐标,而且人为输入会增加出错的概率,一旦输入错误,将会导致所有的外业地籍测量结果都不可用,致使测量失败。

基于以上的考虑,决定在控制点配备超棱镜的基础上,再配置一台 PDA,专门负责接收超棱镜 GPS 接收机的点位信息,并通过远距离无线通讯技术和测站点 PDA 进行通讯,实时地发送控制点的绝对坐标信息。

因此,根据地籍测绘新方法的设计思想,在新的地籍调查系统中,为测站点和控制点两个 PDA 各设计一套软件,以测站点 PDA 软件工作为主,控制点 PDA 软件为辅。测站点 PDA 控制全站仪进行地物点的测量,并接收控制点 PDA 发送的控制点坐标,实现测图和成图;控制点 PDA 软件只负责接收超棱镜 GPS 接收机的电文信息,通过解析和计算传给测站 PDA。

在软件的设计上,采用模块化的设计思想,尽量减少以上三部分的耦合程度,使得软件编写、测试和修改起来都比较方便。将主软件的设计分为三个模块。第一个模块,解决数据源的获取问题,即解决 PDA 从全站仪和 GPS 接收机获取点位信息,并加以解析的问题;第二个模块,解决移动 GIS 平台的问题,即解决各种外界数据源的读取、分析、计算、编辑、显示、存储等方面的问题;第三个模块,解决地籍测绘中常用功能的实现问题,即解决实际地籍外业测绘工作中所需要的各种辅助工具的实现问题。这三个部分从各自的功能上看相互独立,但是在数据流上却又紧密的联系在一起,共同组成地籍调查系统主软件。系统软件构架如图 3-1 所示。

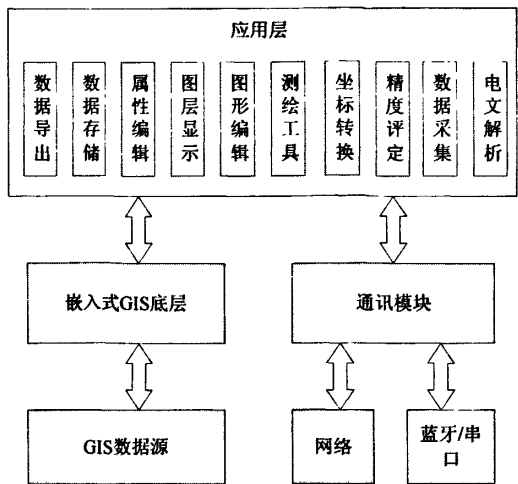


图 3-1 系统软件构架

辅助软件的功能需求相对比较简单，只要求通过蓝牙连接 GPS 接收机，解析 GPS 接收机电文，获取控制点坐标，并发送给主程序 PDA。辅助软件的功能和主程序一些子模块类似，因此辅助软件设计在此就不做详细模块分析。

在软件的程序实现上，采用 Microsoft Visual Studio 2005 作为编译工具，在 Pocket PC 2003 平台上用 C++ 程序语言进行编程。

3.2 数字通讯模块设计

3.2.1 ACE 概述及其体系结构

ACE(ADAPTIVE——A Dynamically Assembled Protocol Transformation, Integration, and eValuation Environment——Communication Environment)自适应通信环境，是可以自由使用、开放源码的面向对象（OO）框架（Framework）和工具包，它为通信软件实现了核心的并发和分布式模式^[8]。ACE 实现了许多用于并发通信软件的核心模式，提供了一组丰富的可复用 C++ Wrapper Facade（包装外观）和框架组件。ACE 包含的多种组件可以帮助通信软件的开发获得更好的灵活性、效率、可靠性和可移植性，可跨越多种平台完成通用的通信软件任务，其中包括：并发和同步、进程间通信(IPC)、内存管理、定时器、信号、文件系统管理、线程管理、事件多路分离和处理器分派、连接建立和服务初始化、软件的静态和动态配置、重配置、分层协议构建和流式框架、分布式通信服务：名字、日志、时间同步、事件路由和网络锁定，等等^{[9][10]}。

如图 3-2 所示，ACE 具有分层的体系结构^[11]。在 ACE 框架中有三个基本层次：OS Adaptation 层、C++ Wrapper Facade 层、Framework 层。ACE 软件包的基础是 ACE OS Adaptation 层和 C++ wrapper facades 的结合，它封装了核心 OS 并发网络编程机制，在此基础上，ACE 提供了可复用的框架（framework）、网络服务组件、基于标准的中间件等。

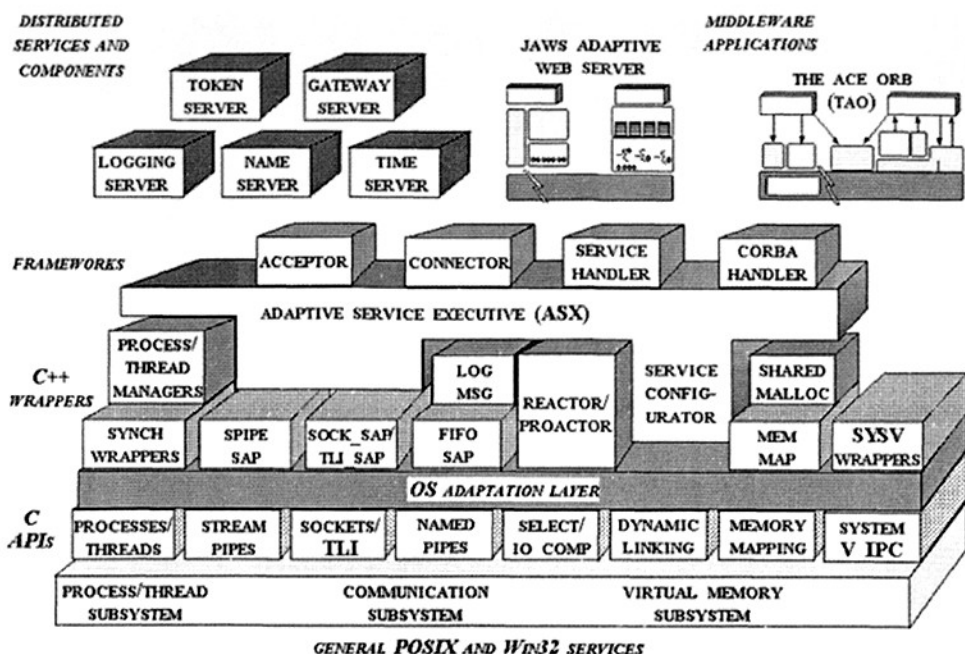


图 3-2 ACE 的体系结构

ACE OS Adaptation 层

ACE OS Adaptation 层是由 ACE_OS 类构成的，包含了 500 多个 C++ 静态方法。这些方法封装了原始的、基于 C 的 OS API，隐藏了“和平台相关”的细节，展示了统一的 OS 机制接口，供高级的 ACE 层使用。ACE OS Adaptation 层使得 ACE 的可移植性和可维护性变得单纯，只有 ACE 开发者才需要了解 ACE 底层的知识。

目前 ACE 适用的 OS 平台包括：实时 OS (VxWorks、Chorus、LynxOS 和 pSoS)、大多数版本的 UNIX (SunOS 4.x 和 5.x; SGI IRIX 5.x 和 6.x; HP-UX 9.x, 10.x 和 11.x; DEC UNIX 3.x 和 4.x; AIX 3.x 和 4.x; DG/UX; Linux; SCO; UnixWare; NetBSD 和 FreeBSD)、Win32 (使用 MSVC++ 和 Borland C++ 的 WinNT 3.5.x、4.x、Win95 和 WinCE) 以及 MVS OpenEdition。

ACE C++ Wrapper Façade 层

ACE C++ Wrapper Façade 层包含了一些 C++ 包装类，用于构建高度可移植的和类型相关的 C++ 的应用，是 ACE 工具包最大的一部分，这些包装类可用于：

- 并发和同步：ACE 提供若干并发和同步包装类，对本地 OS 多线程和多进程 API 进行了抽象。这些包装类封装用于线程和进程的原语，比如信号量、锁、栅栏 (Barrier) 和条件变量。
- IPC：ACE 提供若干 C++ 包装类，封装不同 OS 中不同的进程间通信 (IPC) 接口。ACE 的包装类封装了以下 IPC 机制：BSD socket、TLI、UNIX FIFO、流管道、Win32 命名管道，等等。ACE 还为消息队列提供包装类，包括特定的实时 OS 的消息队列。
- 内存管理组件：ACE 包含的一些类可用于内存动态分配和释放；其中包括允许预分配所有动态内存的类。这些预分配的内存随即通过 ACE 提供的管理类的帮助进行本地管理。
- 定时器类：有多种不同的类可用于处理定时器的调度和取消。ACE 中不同种类的定时器使用不同的底层机制（堆、定时器轮 (timer wheel) 或简单列表）来提供不同的性能特性。

- 容器类：ACE 还拥有若干可移植的 STL 风格的容器类，比如 Map、Hash_Map、Set、List，等等。
- 信号处理：ACE 提供对特定 OS 的信号处理接口进行封装的包装类。这些类使得开发者能够很容易地安装和移除信号处理器，并且可以为一个信号安装若干处理器。
- 文件系统组件：ACE 含有包装文件系统 API 的类。这些类包括文件 I/O、异步文件 I/O、文件加锁、文件流、文件连接包装，等等。
- 线程管理：ACE 提供包装类来创建和管理线程。这些包装还封装了针对特定 OS 的线程 API，可被用于提供像线程专有存储这样的功能。

ACE Framework 层

ACE Framework 是多组集成在一起、相互作用的类，用来为一组相关应用提供可复用的软件架构，他们的基础是若干针对特定通信软件领域的设计模式。设计者可以使用这些框架组件来帮助自己在高的多的层面上思考和构建系统。这一层含有以下一些大型组件：

- 事件处理：大多数通信软件都含有大量处理各种类型事件（比如，基于 I/O、基于定时器、基于信号和基于同步的事件）的代码。软件必须高效地多路分离、分派和处理这些事件。事件多路分离、分派和处理代码全都紧密地耦合在一起，无法彼此独立地使用，ACE 提供了被称为 Reactor（反应器）的框架组件来解决这一问题。反应器提供用于高效地进行事件多路分离和分派的代码，并极大地降低了它们与处理代码之间的耦合，从而改善了可复用性和灵活性。
- 连接或服务初始化组件：ACE 提供 Connector（连接器）和 Acceptor（接受器）组件，用于降低连接初始化与连接建立后应用执行的实际服务之间的耦合。连接首先以应用特有的方式初始化，然后每一连接被相应的处理例程分别处理。因此，如果在随后的阶段开发者发现连接请求数多于或是少于估算，它可以选择使用不同的初始化策略集（ACE 提供了若干可供开发者挑选和选择的策略），以获得所要求的性能水平。
- 流组件：ACE Stream 组件用于简化那些本质上是分层的（layered）或层次的（hierarchic）软件的开发。用户级协议栈的开发是一个好例子；这样的栈由若干互连的层次组成。这些层次或多或少可以相互独立地进行开发。当“数据”通过时，每一层都处理并改变它，并将它传递给下一层，以作进一步的处理。因为各层是相互独立的，它们很容易被复用或替换。
- 服务配置组件：通信软件开发者面临的另一个问题是，很多时候，软件服务必须在安装时配置，或必须在运行时重新配置。ACE Service Configurator（服务配置器）为应用的服务提供动态的启动、挂起和配置。

3.2.2 Socket 技术

在系统通讯过程中，客户端和服务端之间需要不断地进行交互，其中用到的主要网络技术就是 Socket 技术。

Socket 最初是由加利福尼亚大学 Berkeley 分校，为 UNIX 操作系统开发的网络通信端口^[12]。由于 Socket 在网络通讯编程时使用非常方便简洁，同时也随着 UNIX 操作系统的广泛应用，Socket 成为当前最普遍的网络通信应用程序接口。

Socket 套接字是一种双向的通信端口，可以通过这个端口与任何一个具有 Socket 端口的计算机通信。套接字大致位于 OSI 模型的会话层，会话层夹在其上面向应用的层和其下的数据通信层之间，如图 3-3 所示^[13]。会话层为两台计算机之间的数据流提供管理和控制服务。作为该层的一部分，套接字提供一个隐藏从导线上获取比特和字节的复杂性的抽象。换

句话说,套接字允许我们让应用程序表明它想发送一些字节即可传输数据,但是它隐藏了完成该项工作的具体细节。使用 Socket 进行通讯必须包含下面几种信息:双方认可的协议、本地主机的 IP 地址、本进程的协议端口、对方主机的 IP 地址、对方主机的协议端口。

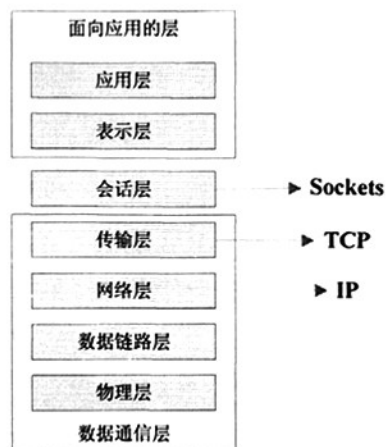


图 3-3 Socket 在 OSI 网络模型中的位置

Socket 套接字主要有两种通信方式:流方式和数据报方式。

(1) 流方式

亦称为面向连接的方式,在这种方式下,两个进行通信的应用程序之间先要建立一种虚拟的连接关系。每次完整的数据传输都要经过建立连接、使用连接和终止连接三个过后层。在数据传输过程中,各数据分组不携带目的地址,而使用连接号。本质上,连接其实是一个管道,收发数据不但顺序一致,而且内容相同。流方式采用 TCP 协议。

(2) 数据报方式

亦称为无连接方式。每个数据分组都携带完整的地址,各分组在系统中独立传输。分组可能会丢失,而且后发出的分组可能会先收到,数据报方式使用的是 UDP 协议。

由于本系统采用的是 TCP/IP 网络传输协议,所以采用 Socket 的流方式来进行程序设计。图 3-4 是一个典型的面向连接的采用流方式的 Socket 通信机制示意图。它是基于客户端/服务器模式的,由服务器方先建立自己的“半相关”(建立 Socket 并将 Socket 连接到某个端口上),并进入监听状态,同时监听是否有与自己端口相对应的连接请求。连接是由客户端发起的,客户端在建立自己的“半相关”后,向服务器发起连接(调用方法 `connect()`),服务器在检测到连接后,接收连接(调用方法 `accept()`),这样就建立起来一个完整的连接。

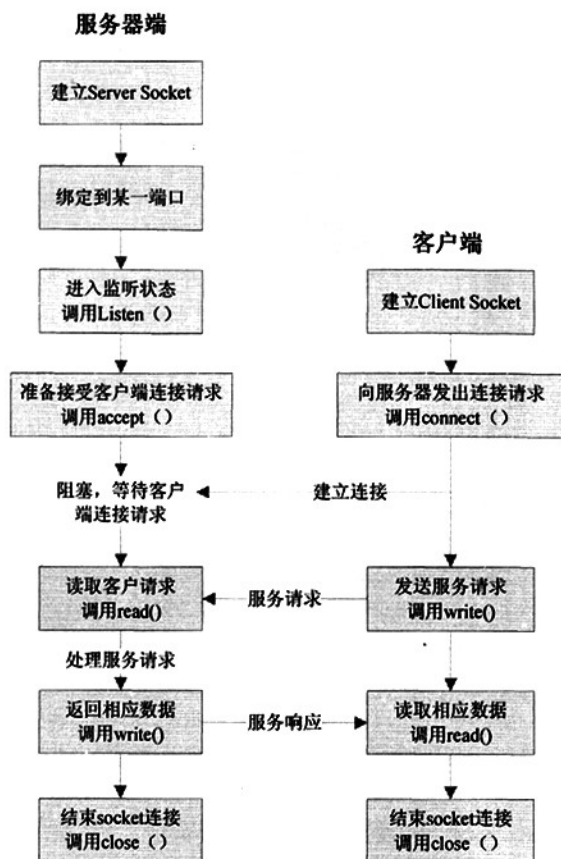


图 3-4 Socket 通信机制示意图

在使用 Sockets 进行网络编程时，使用了许多低级的操作系统调用，比如 `socket()`、`connect()`，等等。直接对 Sockets API 进行编程很麻烦，因为原始的 Sockets API 有以下几个局限性：

(1) 易错的 API。例如：Sockets API 把弱类型化的整数或指针类型用于 socket 句柄，在编译时也没有对句柄的使用是否正确进行确认。例如，如果一个被动侦听句柄正在被传给 `send()` 或 `recv()` 函数，编译器无法检测到这种情况。

(2) 过度复杂的 API。Sockets API 支持许多通信簇和通信模式。同样，要诊断不适当的用法，编译器也无法提供帮助。

(3) 不可移植和不统一的 API。尽管 Sockets API 几乎已是到处都存在，Sockets API 并不完全是可移植的。而且，在许多平台上，有可能混用 Sockets 定义函数和 OS 系统调用（比如：`read()` 和 `write()`），但是这不能移植到所有平台。

ACE 定义了一组 C++ 类，用来解决 Sockets API 的局限。这些类都是根据 Wrapper Façade 模式设计而成的。他们将现有的非面向对象的 API 所提供的函数和数据封装到了简明、健壮、可移植、可维护、一致的面向对象类接口中。这些类主要有：`ACE_Addr`、`ACE_INET_Addr`、`ACE_IPC_SAP`、`ACE_SOCKET`、`ACE_SOCKET_Connector`、`ACE_SOCKET_IO`、`ACE_SOCKET_Stream`、`ACE_SOCKET_Acceptor`。这些类之间的关系如图 3-5 所示：

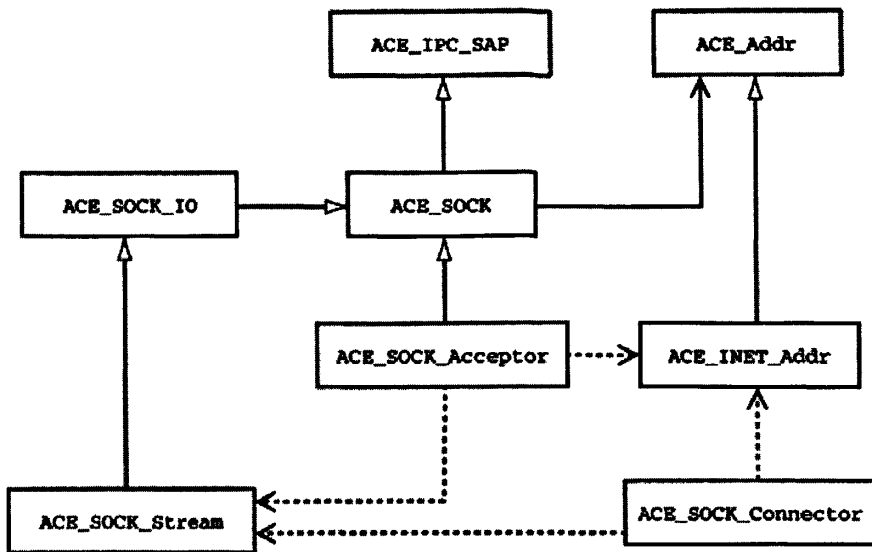


图 3-5 ACE 面向连接的 Socket 类关系图

这些 ACE Socket wrapper facade 提供了一下好处:

- (1) 提高了“类型安全”：可以方便的先应用程序中很多微妙的“类型错误”。
- (2) 保证了可移植性：使用的是跨平台的 C++ 类。
- (3) 简化了常见的使用情况：因为减少了应用程序的代码量，节省了耗费在“低级网络编程细节”上的开发量，开发者可以将注意力集中在高级的、以应用为中心的问题上。

此外，ACE Socket wrapper façade 还保留了效率。它通过使用内联函数，提高了软件质量，但并没有牺牲性能。

3.2.3 ACE Acceptor-Connector 框架

许多网络化的应用，比如电子邮件、远程文件备份以及 Web 服务，使用了面向连接的服务，其中包含的类扮演了以下角色^[10]：

- **连接角色**：决定应用怎样建立连接。
- **通信角色**：决定应用在对等（Peer-to-Peer）配置中是扮演客户角色，还是同时扮演这两种角色。

客户端和服务端之间的不对称角色是通过面向连接协议（例如，TCP/IP）进行通信的网络化应用的典型特征：服务器通过指定的 TCP 端口侦听来被动地等待接受连接；客户端通过连接到服务器的侦听端口来主动发起连接。

ACE Acceptor-Connector 框架实现了 Acceptor-Connector 设计模式，这种模式通过解除“在网络化应用中相互协作的对等服务的连接和初始化所需的活动”与“它们一旦连接和初始化之后所执行的处理”的耦合，增强了软件复用性和可扩展性。ACE Acceptor-Connector 框架类关系图如图 3-6 所示^[10]：

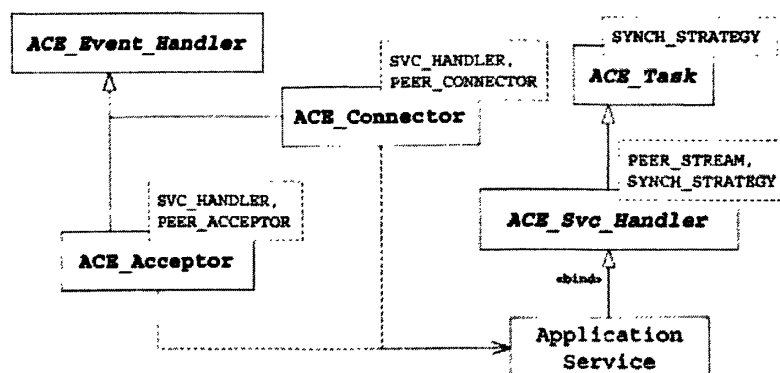


图 3-6 ACE Acceptor-Connector 框架类关系图

ACE Acceptor-Connector 框架提供了以下好处^[10]:

(1) 可复用性和可扩展性:

面向连接的网络化应用常常含有相当数量的用于建立连接和初始化服务的低级代码。这些代码很大程度上独立于已连接的服务处理器在他们所交换的数据上执行的处理。ACE Acceptor-Connector 框架将这些低级代码重构为可复用、不依赖于应用的接收器和接收器类，这样服务处理器可以完全专注于它们的应用所定义的处理。

(2) 可移植性:

框架中的类模板都是通过建立连接和传输数据所需的 IPC 机制的类型来参数化的。Acceptor-Connector 模板的 IPC 类函数可以是任何遵循模板所期望的接口的网络编程类，服务器可以实例化框架类，让它们使用 ACE Socket wrapper façade 或 ACE TLI wrapper façade。对于非 TCP/IP 应用，可以使用 ACE 的许多 IPC wrapper façade 或是任何输出接口的、自行开发的类来对模板进行实例化。

(3) 健壮性

通过彻底地解除服务处理器与其接受器的耦合，该框架可以确保被动模式的传输端点不会在无意中被用于读写数据。这一额外的类型安全性消除了通过弱类型化的网络编程接口（比如，用 C 定义的 Socket 或者 TLI API）进行编程，可能出现的微小但严重的错误。

(4) 高效性

在长延时的广域网上，Acceptor-Connector 模式可以主动、异步、高效地与大量对端建立连接。在这些情况下，异步性十分重要，因为大型网络化应用可能会有数百或数千对端要连接。

3.2.4 ACE Reactor 框架

ACE Reactor（反应器）框架实现了 Reactor 设计模式，允许事件驱动的应用对源自许多不同事件源的事件做出反应，比如：I/O 句柄，定时器，以及信号。ACE Reactor 框架简化了事件驱动程序的开发，而事件驱动是许多网络化应用的特征。常见的事件源包括 I/O 操作的 IPC 流上的活动，POSIX 信号、Windows 句柄激发（Signaling），以及定时器到期。在事件驱动程序的开发中，ACE Reactor 框架负责：

- 检测来自各种事件源的事件的发生。
- 将事件多路分离给其预先登记的事件处理器。
- 分派给处理器所定义的挂钩方法，从而以一种应用定义的方式处理这些事件。

ACE Reactor 框架中包含了以下几个 ACE 类^[11]:

表 3-1 ACE Reactor 框架类

ACE 类	描述
ACE_Time_Value	提供时间 (Time) 和可持续时间 (Duration) 的可移植、规范化的表示, 使用 C++ 运算符重载来简化与时间有关的算术和运算关系。
ACE_Event_Handler	抽象类, 其接口定义的挂钩方法是 ACE_Reactor 回调的目标, 大多数通过 ACE 开发的应用实践处理器都是 ACE_Event_Handler 的后代。
ACE_Timer_Queue	抽象类, 定义定时器队列的能力和接口。ACE 含有多种派生自 ACE_Timer_Queue 的类, 为不同的定时机制提供了灵活的支持。
ACE_Reactor	提供了一个接口, 用来在 Reactor 框架中管理事件处理登记, 并执行事件循环来驱动事件检测、多路分离和分派

ACE Reactor 框架中各个类之间的关系如图 3-7 所示^[10]。

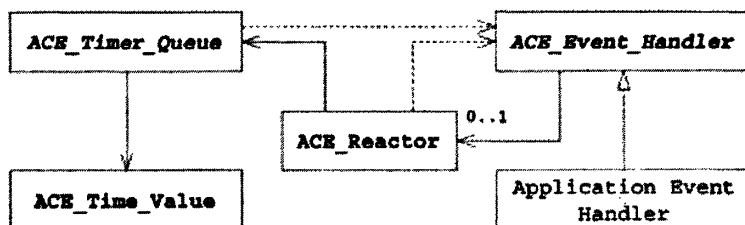


图 3-7 ACE Reactor 框架类关系图

ACE Reactor 框架的能力来自它对“各种操作系统上可用的事件多路分离机制之间的差异”的封装, 以及对“框架类与应用类之间的事务分离”的维持, 通过使“不依赖于应用的事件多路分离和分派机制”与“依赖于应用的时间处理策略”相分离, ACE Reactor 框架提供了以下好处^[10]:

(1) 广泛的可移植性

可以对框架进行配置, 使用多种 OS 事件多路分离机制, 比如 select () 可以在 UNIX、Windows, 以及许多实时操作系统上使用。

(2) 使事件检测、多路分离、以及分派自动化

通过消除对不可移植的本地 OS 事件多路分离 API 的依赖, ACE Reactor 框架为应用提供了统一的面向对象事件检测、多路分离、以及分派机制, 可以向 ACE_Reactor 登记事件处理器对象来处理各种类型的事件。

(3) 透明的可扩展性

该框架通过继承和动态绑定, 采用挂钩的方法, 解除了“较低级的事件机制” (比如检测到对各 I/O 句柄上的事件, 是定时器提前到期, 以及多路分离和分派适当的事件处理器的方法处理这些事件) 与“较高级的应用事件处理策略” (比如连接建立策略、数据整编和解整编, 以及对客户请求的处理) 的耦合。这样的设计使得开发者能够在不修改已有应用代码的情况下, 对 ACE Reactor 框架进行透明的扩展。

(4) 增加复用并使错误减至最少

使用本地 OS 事件多路分离操作来编写程序的开发者必须为每个应用重新实现、调用了和优化同样的地籍代码。相反, ACE Reactor 框架的事件检测、多路分离、以及分派机制是通用的, 因而可以被许多网络化应用复用。这样的事务分离使得开发者能够专注于高级的、应

用所定义的事件处理器策略，而不是反复地与低级机制进行斗争。

(5) 高效的事件多路分离

ACE Reactor 框架能高效地执行其事件多路分离和分派逻辑。这一优化实现基于一种成熟的算法，使用 C++ 异或运算符将运行时间复杂度从 $O(\text{总位数})$ 降低到 $O(\text{已被置位的位的数量})$ ，从而能极大提高大型应用的运行性能。

3.2.5 程序实现

数字通讯模块作为主程序的一部分，通讯过程中，数据的接收和发送无论是通过蓝牙串口还是网络都不能影响整个程序的运行。也就是说，通讯模块必须采用多线程编程的方式，将主程序作为主线程，其它模块都作为子线程。

数字通讯模块分为蓝牙串口通信、网络通讯两个部分。

3.2.5.1 蓝牙串口通讯

地籍调查系统中所用到的蓝牙串口通信有两类，一个是主软件和全站仪之间的通讯。一个是辅助软件和 GPS 接收机之间的通讯。两者从数据通信机制上并没有什么差别，只是在内部数据解析中方法不同，下面以主软件和全站仪之间的蓝牙通讯为例，说明蓝牙串口通讯的软件实现。

首先构造一个串口通讯类 TPSTask，TPSTask 由 ACE_Task 派生出来，负责实现串口参数配置、数据的接收和发送；然后构造和全站仪通信的抽象接口 TPSInterface，通过不同的派生类实现和不同型号全站仪通讯之间的通讯。蓝牙串口通讯程序实现类如下图 3-8 所示。

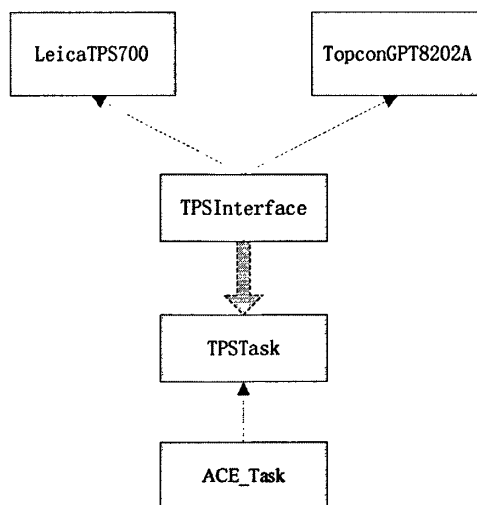


图 3-8 蓝牙串口通讯类

ACE_Task 作为高级面向对象线程类使用，用以编写多线程程序，是 ACE 中的任务或主动对象“处理结构”的基类，所有主动对象都必须从此类派生。传统上，所有的对象都是被动的代码段，对象中的代码是在对它发出方法调用的线程中执行的。而主动对象拥有自己的线程（甚或多个线程）。如果采用调用的是被动对象的方法（常规对象），调用会阻塞（同步）；而如果采用调用主动对象的方法，调用不会阻塞（异步）。

ACE_Task 的结构在本质上与基于 Actor 的系统中的“Actor”的结构相类似。该结构如图 3-9 所示^[11]，每个任务都含有一或多个线程，以及一个底层消息队列。各个任务通过这些消息队列进行通信。但是，消息队列并非是程序员需要关注的对象。发送任务可以使用 putq() 调用将消息插入到另一任务的消息队列中。随后接收任务就可以通过使用 getq() 调用从它自己的消息队列里将消息提取出来。

Tasks in ACE

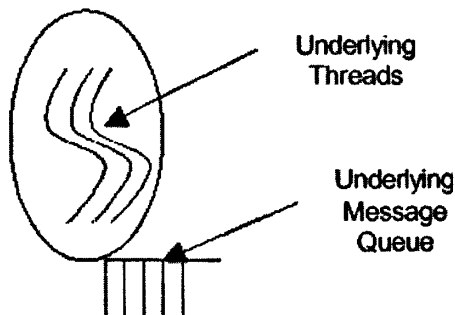


图 3-9 ACE_Task 的结构

因为 ACE_Task 处理的是对象，因此选择构造 ACE_Task 的子类 TPSTask 来作为串口通信类可以产生更好的面向对象软件；而且由于 ACE_Task 的入口是一个常规的成员函数，因此不必关心线程的入口是否是静态的。TPSTask 类的函数声明如下：

```
class TPSTask :
{
public:
    public ACE_Task<ACE_MT_SYNCH>
    {
    public:
        typedef ACE_Task<ACE_MT_SYNCH>    super;
        // 构造函数
        TPSTask(HWND hWnd = NULL);
        // 析构函数
        ~TPSTask();
        // 关闭TPS串口任务的函数
        BOOL close_task();
        // 设置TPS参数
        void set_params(serial_params & params);
        // 注册接收消息的窗口
        void register_hwnd(HWND hWnd);
        // 将需要接收TPSTask数据的任务添加到m_listeningTasks
        void register_listening_queue(ACE_Message_Queue<ACE_MT_SYNCH> *pQueue);
        // 外部任务向TPS设备写入数据的接口函数
        void send_data(ACE_Message_Block *blk);
        // 启动TPS串口任务的外部入口
        int open(void *args = 0);
        // svc 退出后，该close函数将会被回调
        int close(u_long);
        // TPS 串口任务
        int svc(void);
```

```

// TPS运行状态
BOOL is_running()
{
    return m_bThreadAlive;
}
// 获取串口句柄
HANDLE getporthandle()
{
    return m_hPort;
}
protected:
// 配置TPS 串口
int config_com_port(int nPort, int nBaud, int nDataBits,
    int nParity, int nStopBits);
// 从TPS串口接收数据
int receive_data_i(vector<ACE_Message_Block*> *dataVector);
// 向TPS串口发送数据
void send_data_i(ACE_Message_Block * blk);
private:
// 窗口应用程序中需要的HWND
HWND m_hParentWnd;
// 保护串口句柄的同步对象
ACE_Thread_Mutex m_csCommunicationSync;
// 用于重叠IO 的OVERLAPPED成员
OVERLAPPED m_ovlp;
// 控制串口读写和结束的信号
HANDLE m_hEventArray[3]; // 0: Kill Event -- m_hShutdownEvent
// 1: Read Event -- Event of m_ovlp
// 2: Write Event -- m_hWriteEvent
HANDLE m_hWriteEvent;
HANDLE m_hShutdownEvent;
// 串口句柄
HANDLE m_hPort;
// 该任务是否在进行
BOOL m_bThreadAlive;
// 串口的配置参数
serial_params m_params;
int m_nstatist;
// 与此任务进行通信的其它任务的引用
ACE_Message_Queue<ACE_MT_SYNCH> *m_pReceiverMQ;
};

```

TPSTask 类中新线程的创建和使用包含了以下三个基本的步骤:

(1) 实现服务初始化和终止: `open()`方法包含所有专属于任务的初始化代码, 其中包含了蓝牙串口参数的初始化函数`config_com_port()`和新线程派生、启用的`activate()`函数。`close()`方法是相应的终止方法。

(2) 调用启用(Activation)线程: 在主动对象实例化后, 通过调用`open()`函数里的`activate()`启用它。在主动对象中创建的线程的数目, 以及其他一些参数, 被传递给`activate()`方法。`activate()`方法会使`svc()`方法成为所有它生成的线程的启动点。

(3) 实现服务专有的处理: 如上面所提到的, 在主动对象被启用后, 各个新线程在`svc()`方法中启动。`svc()`函数中包含了串口消息队列的序列化、发送、接收和主线程的通讯等。

ACE 中每个任务都有一个消息队列(见图 3-8), 利用这个消息队列作为进程之间通讯的方法。当主线程需要与蓝牙串口(也就是全站仪)通讯时, 只要创建一个消息, 并将其放入任务的消息队列; 接收任务时, 直接从接收的消息队列里提取消息即可。不同厂家的全站仪和不同型号的全站仪的通讯格式都有所不同, 但是和全站仪之间进行通讯的功能大多都类似, 所以要设计一个抽象的接口类 `TPSInterface`, 将此作为基类派生出包含不同全站仪类型的子类, 不同种类全站仪的通讯格式在子类中实现。这样一来, 程序设计变得简单明了, 易于添加和维护。更重要的是, 在调用的时候只要使用基类的指针, 基类指针会自行调用子类函数的实现。`TPSInterface` 类的函数声明如下:

```
class TPSInterface
{
public:
    //设置站点的东向与北向坐标
    virtual bool SetStation(double easting, double northing, double elevation) = 0;
    *//设置旋转角度
    virtual bool SetTheta(double theta) = 0;
    //实时监测串口的分析全站仪数据方法
    virtual bool AddTPSData(const char * pData, int nLen, vector<stTPSPoint> *Points) = 0;
    //将从串口收到的报文加入进来, 待分析
    virtual void AddNewData(const char *pData, int nLen) = 0;
    //启动TPS的分析引擎, 开始分析
    virtual UINT Parse() = 0;
    //对全站仪应答消息
    virtual const char * GetReponse() = 0;
    //获取测站点坐标的指令
    virtual const char * GetStationENIns() = 0;
protected:
    TPSInterface(){}
    // 全站仪抽象为一个交互式的串口设备
    InteractiveCOM * m_TPS;
    TPSTask * m_TPSTask;
};

class LeicaTPS700: public TPSInterface{.....};
class TopconGPT8202A: public TPSInterface{.....};
```

如图3-7所示, 目前软件中实现了与两种系列全站仪型号的通讯, 徕卡TPS700系列全站

仪和拓扑康GPT8200系列全站仪的通讯接口类通过TPSInterface派生,并在其成员函数中对基类接口函数加以实现。具体实现代码在此就不一一详述了。

在地籍调查系统辅助软件的设计中,通讯方法与上述主软件通讯方法类似。在PDA接收到GPS接收机发送的电文信息后,根据电文格式选择解析模块进行解析,并将解析出的概略位置实时的通过移动通信网络(GPRS)接入Internet网,与远程基站控制中心服务器建立TCP/IP连接进行网络通讯,实时上传移动站PDA用户的概略位置和接收实时差分校正信息,从而实现实时高精度GPS差分定位。GPS定位模式如图3-10所示^[14]。

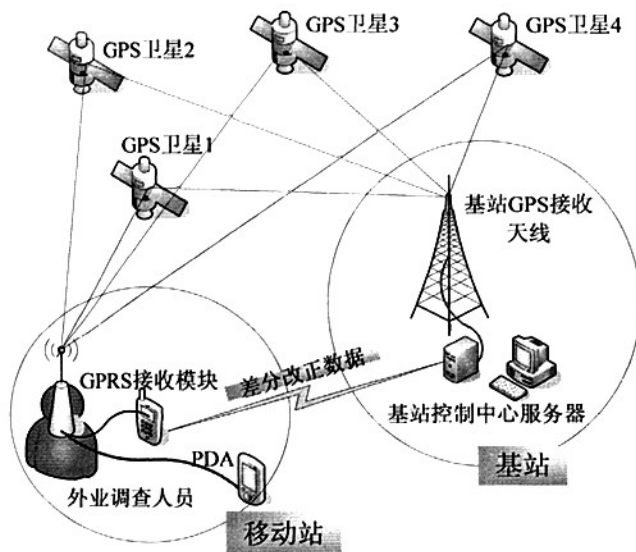


图3-10 GPS定位模式

3.2.5.2 网络通讯

在新的地籍调查系统中,控制点PDA需要向测站点PDA发送控制点的GPS定位信息。控制点和测站点位置关系不确定,采用蓝牙通讯模式不能满足远距离数据传输要求,采用电台通讯模式一方面增加了系统的成本,另一方面增加了地籍外业工作人员的负荷。为此,专门为系统设计了网络通讯模块。由于两台PDA都通过GPRS或CDMA无线网络连接到互联网,两PDA没有固定的IP地址,而且无线网络太宽有限,通讯不稳定,因此无法直接建立稳定的通讯线路,需要通过专门的中转服务器进行通讯。

网络通讯模块从应用上分由三部分组成,控制点PDA、数据中转服务器和测站点PDA,将控制点PDA和测站点PDA都看作客户端,数据中转服务器看作服务器端,是一个典型的基于客户端/服务器的即时通讯架构。事实上,中转服务器并不是专门独立为两台PDA之间传输GPS定位信息所设计和开发的,在许多需要即时网络通讯的系统中都有应用需求,特别是基于非固定IP的无线网络通讯中,如《天津市国土资源与房屋管理局车载土地执法系统》。

3.2.5.2.1 中转服务器的设计

中转服务器需要的处理多个I/O事件,也就是要同时处理多个网络连接。传统的做法都是需要创建新进程(每个连接一个进程模型)或新线程(每个连接一个线程模型),尽管这样处理多个并发的网络连接可以提供有效的解决办法,但是,进程和线程的创建和维护的开销

将会非常大,令人无法接受。而且,在许多应用中,线程或进程管理及控制会增加代码的复杂度,编程起来非常困难也非常耗时。

为了轻松而高效地处理多个事件,需要采用事件处理机制。事件处理机制常常会采用事件循环(event loop)的形式,持续地等待事件的发生,决定需要采取的动作,把控制分派给适于处理该事件的其他函数或方法。ACE Reactor框架实现了一种灵活的事件处理机制,使我们无需编写平台相关的中心代码。使用Reactor框架也非常方便,只要实现其事件处理所需要的三件事情:

(1) 从ACE_Event_Handler派生一个或多个类,并给各个虚回调方法增加应用特有的事件处理行为。

(2) 向ACE_Reactor类登记应用的事件处理对象,把每个事件处理对象与它感兴趣的事件关联起来。

(3) 运行ACE_Reactor事件循环。

首先从ACE_Svc_Handler里派生出和具体事件处理相关的类PDA_GPS_Server和GPSClietService。PDA_GPS_Server是控制点PDA连接对象的事件处理器,GPSClietService是测站点PDA连接对象的事件处理器,两者在构造上基本相同,只是函数功能实现上稍有不同。以PDA_GPS_Server为例,说明服务器中事件处理器的构造和调用方法。在PDA_GPS_Server::open()函数中对网络中的READ事件进行登记新处理器,将新的连接对象在反应器中进行登记。因为新的连接对象为每个新服务处理器都设置了reactor()指针,所以不管使用哪个ACE_Reactor实例,都正好是需要调用的那个;当反应器检测到所登记连接对象事件处理器有数据接收的时候,反应器会根据消息句柄自行调用对象事件处理器中的PDA_GPS_Server::handle_input()函数,在此函数中服务器就可以接收到由客户端发来的数据,并在此对数据进行处理。例如,在PDA_GPS_Server::handle_input()里,服务器接收到控制点PDA发来的数据,就可以将数据放到测站PDA连接对象的发送队列中,等待反应器进行处理;当反应器检测到连接对象处理器的发送队列中有数据时,会自行调用对象事件处理器中的PDA_GPS_Server::handle_output()函数,并在此函数中完成数据的发送;当连接对象断开时,反应器会回调PDA_GPS_Server::handle_close(),并对连接对象事件处理器进行清理,并在反应器上注销,如图3-11所示^[8]。PDA_GPS_Server类和函数声明如下:

```
class PDA_GPS_Server :
    public ACE_Svc_Handler<ACE_SOCKET_STREAM, ACE_MT_SYNCH>
{
    typedef ACE_Svc_Handler<ACE_SOCKET_STREAM, ACE_MT_SYNCH> super;

public:
    // 默认的构造函数, 缺少参数, 抛出诊断
    PDA_GPS_Server():m_notifier(NULL, this, ACE_Event_Handler::WRITE_MASK),
        m_netRecord(this)
    {
        m_identitystatus = false;
    };
    // 访问数据队列的接口
    ACE_Message_Queue<ACE_MT_SYNCH> *get_gps_queue()
    {
        return &m_GPSQueue;
```

```

}
// 当服务器接收到一个客户时，调用此函数，进行服务的初始化动作。
int open (void * = 0);
// 当服务器接收到数据的时候，调用此函数，对接收到的数据进行处理。
virtual int handle_input (ACE_HANDLE fd = ACE_INVALID_HANDLE);
// 当服务器需要输出数据的时候，调用此函数。
virtual int handle_output (ACE_HANDLE fd = ACE_INVALID_HANDLE);
// 和服务断开连接时，调用此函数，在反应器上注销处理器。
virtual int handle_close (ACE_HANDLE handle,
                          ACE_Reactor_Mask close_mask);
protected:
    // 读取报文头部
    int read_header(command_header * header);
    // 读取报文内容
    int read_payload(ACE_Message_Block *blk, int payload_length);
private:
    // 保存GPS数据的队列
    ACE_Message_Queue<ACE_MT_SYNCH> m_GPSQueue;
    // 反应器的通知策略，用于策略化数据队列
    ACE_Reactor_Notification_Strategy m_notifier;
    NetRecord m_netRecord;
public:
    BOOL m_identitystatus;
    CString m_szUserName;        //用户名
    CString m_szUserPassword;    //密码
};

```

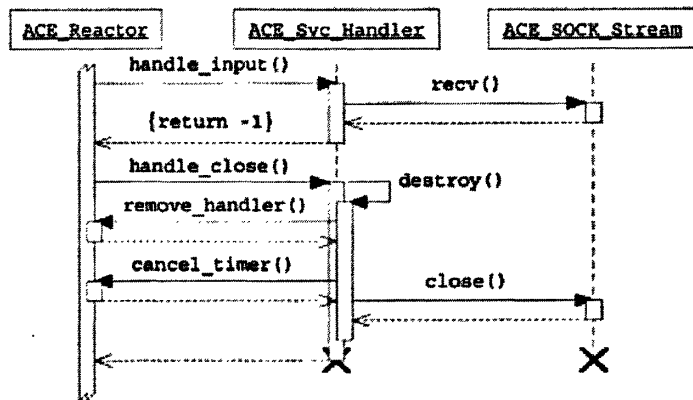


图3-11 一个ACE_Svc_Handle的反应器关闭

事件处理对象采用ACE Acceptor-Connector框架中的ACE_Acceptor来构造实现，因为此时服务器作为被连接的对象存在的。于是，构造了GPS_Acceptor和GPSClientAcceptor，说明ACE_SOCK_ACCEPTOR是用来接受新服务连接的类，并指明了每个服务要有其专有的事件处理器（PDA_GPS_Server，GPSClientService）的一个新实例来处理。在创建实例之后，

ACE_Acceptor会调用新服务处理器的open()挂钩方法,这个调用会通知反应器,它已经连接好了,应该开始做它需要做的任何事情了。连接接受过程中的步骤如图3-12所示^[8]。

```
class GPS_Acceptor: public ACE_Acceptor<PDA_GPS_Server, ACE_SOCKET_ACCEPTOR>{};
class GPSClientAcceptor: public ACE_Acceptor<GPSClientService, ACE_SOCKET_ACCEPTOR>{};
```

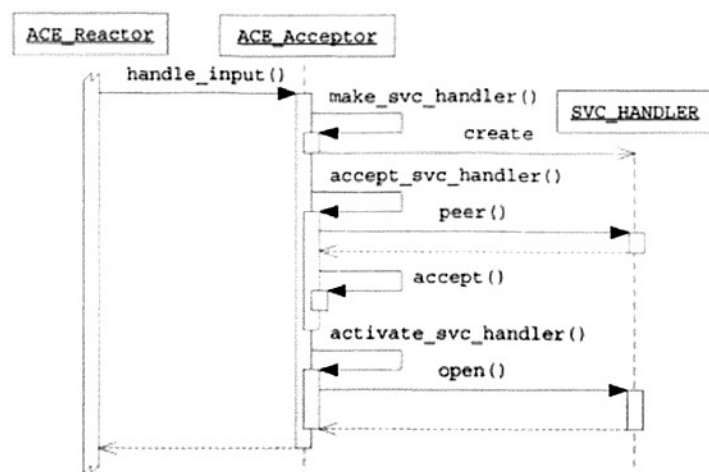


图3-12 ACE_Acceptor连接接受过程中的步骤

在程序启动运行的主线程中,使用构造的GPS_Acceptor和GPSClientAcceptor类的open()函数打开网络端口,开始侦听,并向反应器进行登记,请求它在可以接受新连接时回调自己。主程序随即进入反应器事件循环run_reactor_event_loop(),持续地处理事件,直到有错误发生阻止它继续处理,或是end_reactor_event_loop()被调用为止。

中转服务器需要运行在一台有固定IP的计算机上,软件程序的采用Windows服务的方式进行运行。程序运行如图3-13所示。

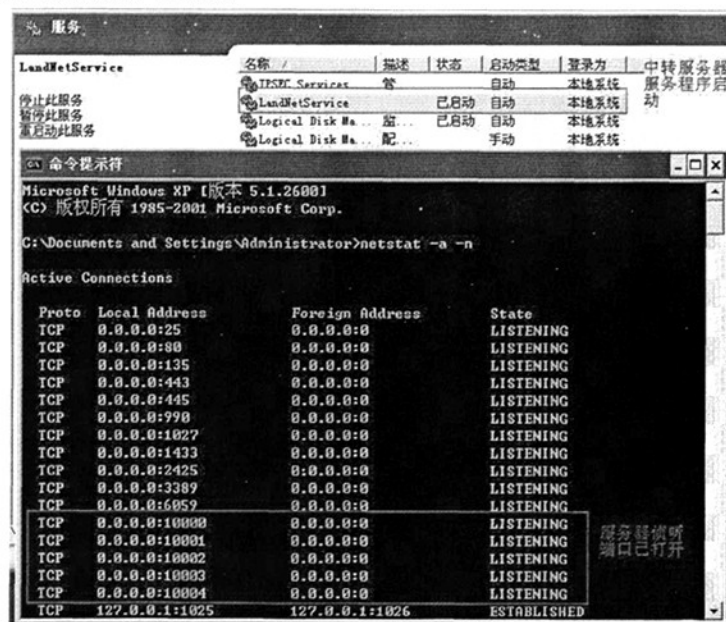


图3-13 中转服务程序运行痕迹

3.2.5.2.2 PDA 客户端的设计

PDA客户端的设计相对比较简单,和服务器不同的是PDA客户端需要主动的发起网络连接。因此,客户端事件处理对象使用的是ACE_Acceptor-Connector框架中的ACE_Connector来构造实现。和ACE_Acceptor一样,它也产生一个从ACE_Svc_Handler派生的对象,用于在连接建立后运行服务,它的特性与ACE_Acceptor非常相像。连接接受过程中的步骤如图3-14所示^[8]。

以本文地籍调查系统为例,主程序端(测站点PDA)构造出SuperPrismConnector类, class SuperPrismConnector: public ACE_Connector<SuperPrismService, ACE_SOCKET_CONNECTOR>, 在需要连接中转服务器时,调用SuperPrismConnector::connect()函数连接中转服务器,并在Reactor反应器中注册。当收到中转服务器转发来的控制点GPS定位数据时,反应器会回调处理器的handle_input方法进行接收。辅助程序端(控制点PDA)也是同样,连接上中转服务器后,将接收到的GPS定位信息放入反应器的发送消息队列,由反应器调用handle_output方法将其发送到中转服务器。

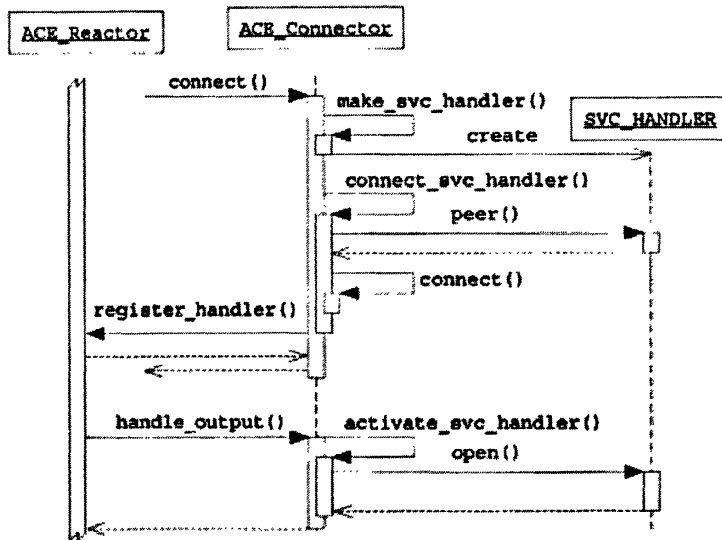


图3-14 ACE_Connector主动连接建立中的步骤

基于中转服务器的网络通讯模块的设计还包含了许多设计细节,例如数据传输格式、数据加密解密、安全验证、网络超时、数据库存储等等。由于涉及到多个系统内核,在此就不做详细的介绍。控制点处PDA和测站点处PDA通过网络发送、接收GPS定位信息的程序界面如图3-15和图3-16所示:



图3-15 控制点PDA发送GPS定位信息

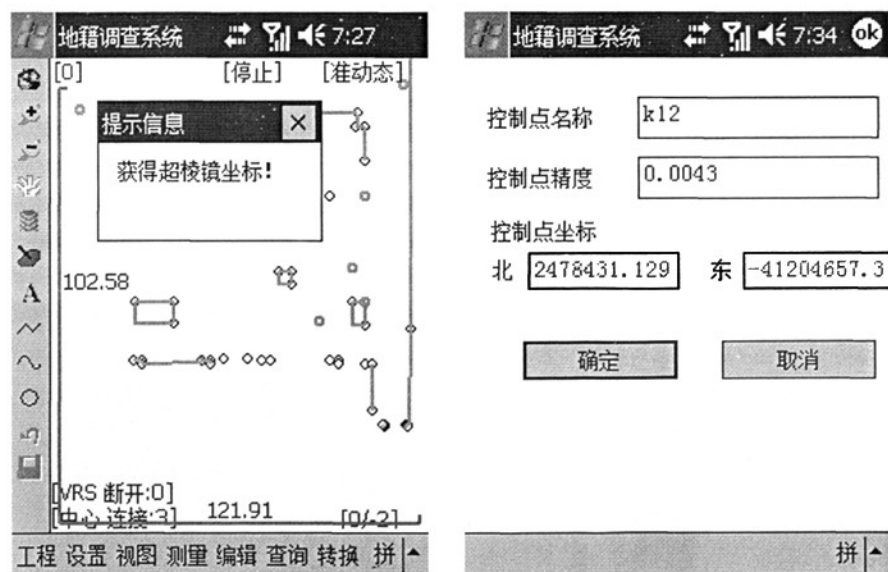


图3-16 测站点PDA接收GPS定位信息

3.3 嵌入式 GIS 平台的设计与搭建

3.3.1 地理信息系统 GIS 概述

3.3.1.1 GIS 的概念与特点

地理信息系统(Geographic Information System, 简称 GIS) 是 20 世纪 60 年代以来迅速发展的一门综合了经济管理学、运筹学、计算机科学和地理学等内容的新兴学科。它是以地

理空间数据库为基础,在计算机硬、软环境的支持下,对与空间相关的数据进行采集、管理、操作、分析和显示,实时地提供空间和动态的地理信息,以便为决策服务的一类信息系统。

GIS 通常具有以下三个方面的特征:

- (1) 具有采集、管理、分析和输出多种地理空间信息的能力,具有空间性和动态性;
- (2) 以地理研究和地理决策为目的,以地理模型方法为手段,具有区域空间分析、多要素综合分析和动态预测能力,产生高层次的地理信息;
- (3) 由计算机系统支持进行空间地理数据管理,并由计算机程序模拟常规的或专门的地理分析方法,作用于空间数据,产生有用信息,完成人类难以完成的任务。

地理信息系统 GIS 从外部来看,它表现为计算机软硬件系统;而其内涵是由计算机程序和地理数据组织而成的地理空间信息模型,是一个逻辑缩小的、高度信息化的地理系统。

3.3.1.2 GIS 的应用现状

由于 GIS 是用来管理、分析空间数据的信息系统,所以几乎所有使用空间数据和空间信息的部门都可以应用 GIS。目前,GIS 系统已经被应用到环境模型建立、城市规划与管理、社会经济统计与分析、土地管理、地理测绘与管理、交通与管道管理等与空间信息密切相关的各个方面^{[15][16][17]}。

GIS 的主要应用领域有:

(1) 城市基础设施管理。城市基础设施主要是指城市地下管道(包括自来水管、污水排放管道、煤气管道等)、城市供电网、通信网络、邮政网点、道路与交通设施等。由于这些设施同时具有与几何和空间位置相关的特性,建立基于 GIS 系统的信息系统能够提高对这些设施的管理水平,同时还能极大地提高设计与施工、设备维护与故障排除、线路改造等方面的效率,从而产生巨大的经济效益和社会效益。

(2) 环境保护与管理。主要用 GIS 系统建立环境模型和环境信息系统,对环境的变化及发展趋势进行预报分析,同时通过统计分析及模拟研究为环境保护提供决策依据。此外,GIS 系统技术也被用来建立植物种类与栖息地及环境因素有关的信息系统。

(3) 社会调查与统计分析。GIS 系统在国外已被广泛应用于人口学、选举、人文地理等方面,我国也开始开展这方面的研究和应用工作。

(4) 土地信息系统的建立。GIS 系统最早是从土地信息系统 LIS 建立过程中发展起来的,大量高质量 GIS 系统软件平台的出现又促进了土地信息系统的建立。目前基于 GIS 系统软件平台的土地信息系统,无论是图形处理、空间分析与统计、属性信息存储与查询、统计报表生成、决策支持等方面都比早期的土地信息系统有较大的改进。

(5) 在军事领域中的应用。GIS 系统已被广泛地应用到军事领域,包括数字化军事地图和定位系统、集团军可视化指挥、模拟训练等。最典型的范例是美国工程兵地形研究室开发的三维地形模拟 GIS 系统,已被成功地运用于美军在世界范围的导弹制导体系中。

3.3.2 嵌入式 GIS 概述

3.3.2.1 嵌入式系统的概念与特点

嵌入式系统是以嵌入式计算机为核心,软硬件可裁减的,使用于对功能、可靠性、成本、功耗等综合严格要求的专用计算机系统。

嵌入式系统通常具备良好的软硬件可扩充能力,同时还具备移动性和便携性,使得人们可以突破基于个人电脑的地理信息系统使用的限制,为在野外环境中的 GIS 实时数据采集与更新带来了极大的方便性和实用性。尤其是掌上电脑 PDA,集成了计算、电话、传真、串口/蓝牙通讯支持、有线或无线方式连接互联网等多种功能,为导航、定位、地图查询和

地理信息采集与处理提供一种较理想的硬件平台。

然而嵌入式系统与桌面计算机 PC 在硬件配置以及操作系统上存在较大的差异。以掌上电脑 (PDA) 为例, 目前市场上常见的 PDA CPU 有 Intel Strong ARM、Intel Xscale, AMD Au1000、摩托罗拉龙珠 DragonBall MX 系列和德州仪器 TI 的 TMS320VC5470 等, 这些 CPU 的特点是功耗较低、运算速度慢, 远不及台式机的 Intel、AMD 等芯片。PDA 的存储机制与 PC 机有着很大的差别, PDA 中没有硬盘, 内存分为 ROM 和 RAM 两部分, ROM 用来存放系统文件、系统自带的应用软件以及备份数据, 而 RAM 是用户数据区, 其中一部分空间用来保障系统的正常运行, 剩余的 RAM 由“存储”和“程序”共用, “存储”指的是用户在 RAM 中存放的数据、程序、文件等, “程序”是运行应用程序时占用的内存。此外, 如果存储空间还不够用, 可用 CF 卡及 SD 卡增加记忆容量。PDA 的屏幕较 PC 机要小得多, Windows CE 系统的 PDA 屏幕的分辨率一般是 240×320 , Palm OS 系统的 PDA 屏幕更小, 因此, 嵌入式系统的可视范围很小^{[18][19][20]}。

3.3.2.2 嵌入式 GIS 的概念与特点

嵌入式 GIS (Embedded GIS) 就是在嵌入式设备上运行的 GIS, 是系统设计与开发层次上的应用, 是一个软硬件结合的系统。

嵌入式 GIS 的最新形式是移动 GIS (Mobile GIS)。移动 GIS 是在嵌入式 GIS 系统的基础上, 集成先进的个人化计算机技术 PDA、移动通信技术(GSM/GPRS)和卫星导航定位系统(GPS)技术, 以拓展 GIS 系统的应用领域, 提高 GIS 信息采集和数据处理的方便性和实时性。移动 GIS 优点在于它能够随时随地为客户提供一种方便、快捷和可靠的信息查询和决策手段。

嵌入式 GIS (或移动 GIS) 与一般的桌面平台 GIS 不同, 由于它是运行在资源紧缺的嵌入式设备上, 因此嵌入式 GIS 应用程序必须考虑如何合理利用资源, 尽量减少资源的消耗, 包括 CPU 运算量、内存和外存的消耗, 尽可能地提高效率。因此嵌入式 GIS 通常具有运行在嵌入式计算机系统上、内存需求小、存储空间需求小等特点^[21]。

3.3.2.3 嵌入式 GIS 数据结构的设计原则

根据以上分析, 嵌入式 GIS 数据结构的设计原则主要有:

(1) 图形结构简单, 冗余度小

电子地图主要包含点、线、面等空间对象, 简单的图形结构具有数据量小、运行速度快、图形裁减方便等特点; 冗余度小将使信息查询的速度提高, 也将减少数据的存储空间。

(2) 拓扑关系简单

在嵌入式 GIS 中, 拓扑关系可用于空间对象之间的交互、空间数据分析。简单实用的拓扑关系可利于嵌入式 GIS 的运行效率和空间分析查询功能。

(3) 空间信息查询与分析速度快

空间信息查询主要包括单个空间对象的查询和多个空间对象的查询, 良好的数据结构将使空间查询和空间分析的速度快捷, 结果准确。

(4) 开放的数据接口

嵌入式 GIS 的数据结构应具有良好的数据接口, 使之能够兼容更多已定型的数据。

3.3.3 Open GIS 概述

3.3.3.1 Open GIS 涵义与内容

根据开放 GIS 协会 OGC 定义, Open GIS 规范是指“开放的地理学数据互操作规范的最

高层规范”^[22]。Open GIS, 就是使不同的空间数据处理系统实现数据互操作、在异构分布数据库中实现信息共享的途径。技术的发展使空间数据的采集、处理与存储技术的日益全面化和系统化, 以往是地理信息系统的一个模块承担的功能, 现在可以成为一个高度集成的软件系统。网络化环境和分布式计算与对象服务实现了各种系统之间的数据与操作的交换。多种系统的协同工作, 促进了地理信息的分布式处理。地理信息标准与接口规范可以降低数据交换与操作的代价, 推动地理信息的共享。利用开放接口的各种专业空间信息处理系统构成地理信息应用平台, 不仅能充分发挥各种系统的功能和性能优势, 而且能降低整个系统的建设成本。

Open GIS 的特点是:

- (1) 互操作性: 不同的信息系统之间连接和交换没有障碍;
- (2) 开放性: 接口规范公开, 其它系统可方便地进行调用;
- (3) 可移植性: 平台无关性, 跨越多种硬件、操作系统、软件环境;
- (4) 兼容性: 兼容其它广泛应用的工业标准。

Open GIS 框架^[22]包括三部分: 开放的地理数据模型(Open Geodata Model, OGM)、开放服务模型(Open Services Model, OSM)和信息群模型(Information Communities Model, ICM)。

(1) 开放的地理数据模型 OGM 包括特征 (Feature)、图层 (Layer)、空间参考系统和元数据的定义;

(2) 开放服务模型 OSM 定义了地理学数据服务的对象模型, 由一组相互可操作的软件组件集构成, 提供了空间对象的管理、获取、操作、交换等服务;

(3) 信息群模型 ICM 主要包括实体(Feature)的建立过程、获取地理数据的方法、时空参数系统获取和转换、语义转换。

Open GIS 规范包括一个抽象规范(Abstract Specification)及一组用于在当前主要分布式计算平台上实现的实现规范(Implementation Specification) 用来定义上述 Open GIS 框架。目前 OGC 所发布的实现规范共有 8 个, 即关于 OLE/COM、CORBA、SQL、Catalog Interface、Coordinate Transformation Services、Grid coverage、Web Map Server Interface 和 Geography Markup Language (GML) 的简单特征规范 (Simple Feature Specification, SFS)。

3.3.3.2 Open GIS 中的简单特征 (Simple Feature) 描述

Open GIS 将现实世界中所有地理元素抽象为实体和现象, 其中实体是指可识别的、离散的对象, 并且具有已确定的边界和空间范围; 现象是指连续的空间, 它没有明确的范围和边界, 如温度、日照等。Open GIS 中基本对象被命名为特征(Feature), 多个特征可复合构成集合(Feature Collection)。所有的特征都配置在一定的时空参考系统中, Open GIS 提供了时空参考系统的定义、属性、精度控制等方法。

Open GIS 的简单特征 Simple Feature 规范^[23]的一个特征要素由相应的几何体对象 (Geometry) 和对象属性 (Field) 构成, 通常内部嵌有简单的几何操作。一个图层则由若干个特征要素和相应的图层属性构成。

图 3-17 为 Simple Feature 规范提出的二维空间几何体的基本构件及其相互关系^[24]。最为通用的形状是由“空间表示体系”所描述的“几何体”来表示的, “空间表示体系”是一个坐标系统, 类似于经度纬度或其他公认框架。“几何体”分为 4 类: 点 (point)、线 (curve)、面 (surface) 和几何体集合 (geometry collection)。点描述一个零维对象的形状, 例如世界地图上的城市中心。线对象通常用线串 (linestring) 来近似表示, 它由两个或更多的点表示。最简单的线串是一条连接两个或更多点的直线段。面则描述了二维对象的形状, 例如世界地图上的国家。面通常用多边形建模。几何体集合表示复合形状, 诸如油井的集合, 一群岛屿等。几何体集合有三种类型, 即多点 (multipoint)、多线 (multicurve) 和多面 (multisurface)。几何体集合空间数据类型保证了 Open GIS 空间数据类型在几何操作上的闭合性, 这些操作

包括几何并、几何差或几何交操作。

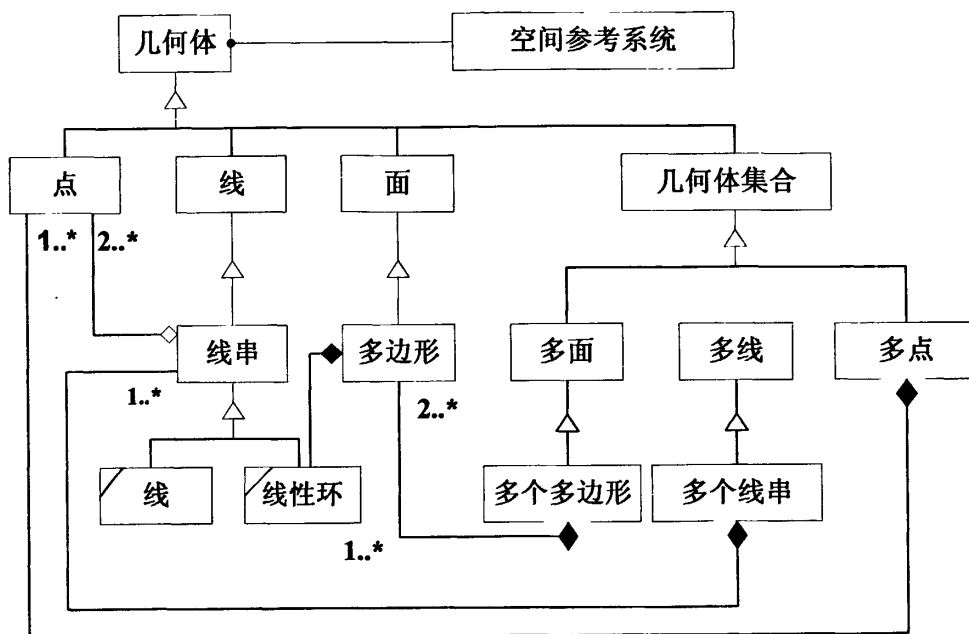


图 3-17 Open GIS 提出的关于空间几何体 (Geometry) 的基本构件

3.3.4 GDAL 和 OGR

GDAL(Geospatial Data Abstraction Library)是一个在 X/MIT 许可协议下的开源栅格空间数据转换库。它利用抽象数据模型来表达所支持的各种文件格式。它还有一系列命令行工具来进行数据转换和处理^[25]。

OGR 是 GDAL 项目的一个分支, 功能与 GDAL 类似, 只不过它提供对矢量数据的支持。有很多著名的 GIS 类产品都使用了 GDAL/OGR 库, 包括 ESRI 的 ArcGIS 9.2, Google Earth 和跨平台的 GRASS GIS 系统。

3.3.4.1 GDAL

GDAL 提供对多种栅格数据的支持, 包括 Arc/Info ASCII Grid(asc), GeoTiff (tiff), Erdas Imagine Images(img), ASCII DEM(dem) 等格式。

(1) GDAL 抽象数据模型

GDAL 使用抽象数据模型(abstract data model)来解析它所支持的数据格式, 抽象数据模型包括以下几个重要组成部分:

数据集(dataset): 一系列相关的栅格波段集合, 它也负责坐标系统的定义, 它含有相关的元数据, 用名称/值 (name/pair) 对表示。坐标系统用 WKT 格式来表示, 其中包含坐标系统的名称、水准面的 ID、投影的类型和参数等。数据集有两种方式来描述栅格坐标和地理坐标之间的转换。第一种, 也是最常用的, 是仿射地理坐标转换 (Affine GeoTransform), 它利用 GDALDataset::GDALSetGeoTransform () 函数返回的六个系数来进行投影转换:

//P,L表示栅格坐标系到地理坐标系的转换参数

//(Xp,Yp)表示地理坐标系下的坐标

Xp = padfTransform[0] + P*padfTransform[1] + L*padfTransform[2];

Yp = padfTransform[3] + P*padfTransform[4] + L*padfTransform[5];

在北向为上的地图中, padfTransform[2]=0, padfTransform[4]=0, padfTransform[1]代表像素宽度, padfTransform[5]代表像素高度, 左上角坐标为(padfTransform[0],padfTransform[3])。第二种, 利用控制点(GCPs)来进行地图坐标转换。所有的控制点共享一个空间参考系统, 控制点结构的声明如下:

```
typedef struct
{
    /** Unique identifier, often numeric */
    char      *pszId;
    /** Informational message or "" */
    char      *pszInfo;
    /** Pixel (x) location of GCP on raster */
    double     dfGCPPixel;
    /** Line (y) location of GCP on raster */
    double     dfGCPLine;
    /** X position of GCP in georeferenced space */
    double     dfGCPX;
    /** Y position of GCP in georeferenced space */
    double     dfGCPY;
    /** Elevation of GCP, or zero if not known */
    double     dfGCPZ;
} GDAL_GCP;
```

栅格波段(Raster Band): 在 GDAL 中栅格波段用类 GDALRasterBand 来表示, 它表示单一的栅格波段, 不一定是整个图像。例如 24 位的 RGB 图像通常用三个波段的数据集来表示, 分别是红、绿、蓝。一个波段通常有如下属性: 像素的宽度和长度、块大小、元数据、波段的颜色释义、颜色表等。其中颜色表结构的声明如下:

```
typedef struct
{
    /**! gray, red, cyan or hue */
    short      c1;
    /**! green, magenta, or lightness */
    short      c2;
    /**! blue, yellow, or saturation */
    short      c3;
    /**! alpha or blackband */
    short      c4;
} GDALColorEntry;
```

(2) GDAL 的核心类结构关系如图 3-18 所示^[26]:

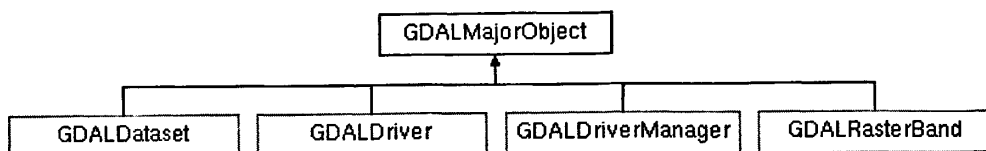


图 3-18 GDAL 核心结构

其中的类说明如下：

GDALMajorObject 类：带有元数据的对象。

GDALDataset 类：通常是从一个栅格文件中提取的相关联的栅格波段集合和这些波段的元数据；GDALDataset 也负责所有栅格波段的地理坐标转换(georeferencing transform)和坐标系定义。

GDALDriver 类：文件格式驱动类，GDAL 会为每一个所支持的文件格式创建一个该类的实体，来管理该文件格式。

GDALDriverManager 类：文件格式驱动管理类，用来管理 GDALDriver 类。

3.3.4.1 OGR

OGR 提供对矢量数据格式的读写支持，它所支持的文件格式包括：ESRI Shapefiles, S-57, SDTS, PostGIS, Oracle Spatial, Mapinfo mid/mif, Mapinfo TAB^[25]。

(1) OGR 体系结构

OGR 包括如下几部分：

Geometry: 类 Geometry (包括 OGRGeometry 等类)封装了 OpenGIS 的矢量数据模型，并提供了一些几何操作，WKB(Well Known Binary)和 WKT(Well Known Text)格式之间的相互转换，以及空间参考系统(投影)。

Spatial Reference: 类 OGRSpatialReference 封装了投影和基准面的定义。

Feature: 类 OGRFeature 封装了一个完整 feature 的定义，一个完整的 feature 包括一个 geometry 和 geometry 的一系列属性。

Feature Definition: 类 OGRFeatureDefn 里面封装了 feature 的属性，类型、名称及其默认的空间参考系统等。一个 OGRFeatureDefn 对象通常与一个层(layer)对应。

Layer: 类 OGRLayer 是一个抽象基类，表示数据源类 OGRDataSource 里面的一层要素(feature)。

Data Source: 类 OGRDataSource 是一个抽象基类，表示含有 OGRLayer 对象的一个文件或一个数据库。

Drivers: 类 OGRSFDriver 对应于每一个所支持的矢量文件格式。类 OGRSFDriver 由类 OGRSFDriverRegistrar 来注册和管理。

(2) OGR 的 Geometry 模型

OGR 的 Geometry 模型是建立在 OpenGIS 的简单要素数据模型之上的。如图 3-19 所示^[26]：

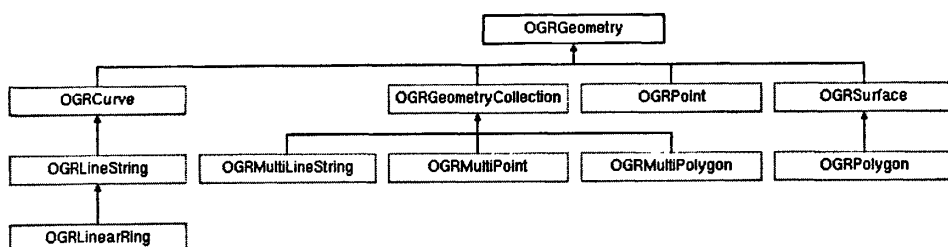


图 3-19 OGR 的 Geometry 模型关系图

OpenGIS 的简单要素数据模型，其关系图 3-20 所示：

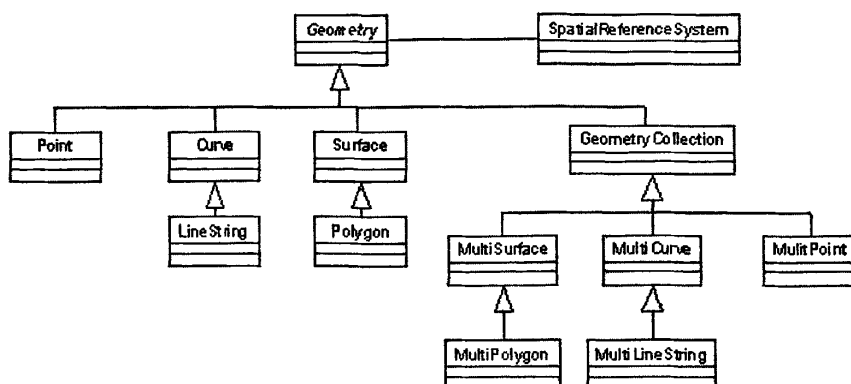


图 3-20 OpenGIS 的简单要素数据模型

由上面两图的对比，可以清楚的看到，OGR 的 Geometry 模型是严格遵循 OpenGIS 的简单要素数据规范的。OGR 的 Geometry 模型不仅在继承体系上与 OpenGIS 的简单要素数据模型一致，在函数接口上也向其靠拢，从基本的获取 Geometry 对象信息的方法如 Dimension()、GeometryType()、SRID()、Envelope()、AsText()、Boundary()等到判定空间未知关系的方法如 Equals(anotherGeometry:Geometry)、Disjoint(anotherGeometry:Geometry)、Intersects(anotherGeometry:Geometry)、Touches(anotherGeometry:Geometry)等都是符合其标准的。

3.3.5 程序实现

根据地籍调查程序的业务需求，嵌入式 GIS 平台主要实现以下几个方面的功能：空间地理数据的存储、获取、编辑、显示，以及常用 GIS 数据格式之间的相互转换。使用 GDAL/OGR 库开发，OGR 的 Geometry 模型解决了 GIS 平台对空间数据对象建模的问题，使我们不需要关注 GIS 平台底层数据的存储管理方式，只要针对所设计的系统功能进行二次开发。

工程数据源采用了 shapefile 文件存储的方式来进行管理，ESRI Shapefile (.shp) 是一种美国 ESRI 公司开发的开放格式，目前，该文件格式已经成为了地理信息软件界的一个开放标准。shapefile 格式属于一种向量图形格式，它能够保存几何图形的位置及相关属性。该种文件格式是由多个文件组成的：.shp 文件用于保存元素的几何实体；.shx 文件用于保存几何实体索引；.dbf 文件用于保存关于元素的属性信息。

对于地籍外业采集数据的存储，在程序实现中分为以下几个步骤：

首先，创建目标存储图层，如图 3-21 所示。这一过程分为三步：第一步，使用 OGRDataSource::CreateLayer() 函数来创建目标图层；第二步，使用新图层的 OGRLayer::CreateField() 函数，为新图层创建属性表；第三步，调用 CLayersControlManager::AddLayer() 函数将新创建的图层加入层管理器中。

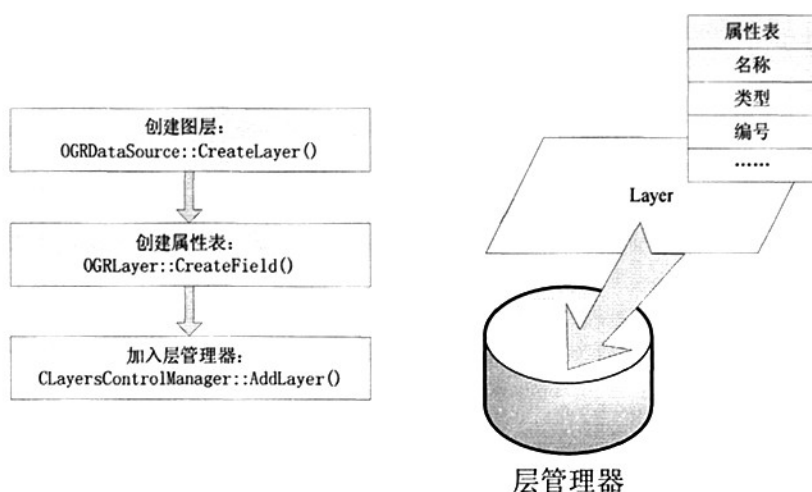


图 3-21 创建新图层过程

其次，创建并保存外业采集图斑，如图 3-22 所示。外业采集图斑包括：点 Point（TPS 点、GPS 点、底图取点等）、线 Line（由点组成的线状图斑）、面 Polygon（由线构成的封闭图斑）。通过使用地籍测绘工具，在屏幕上现场构建图斑，这一过程分为四步：第一步，通过 OGRDataSource::GetLayer()或者 OGRDataSource::GetLayerByName()函数的调用，获取需要创建保存图斑的目标图层 OGRLayer 的指针；第二步，使用 new OGRFeature(OGRLayer::GetLayerDefn())的方法，创建一个新图斑，并使其继承目标层的所有属性；第三步，通过调用 OGRFeature::SetGeometryDirectly()给新创建的图斑赋予空间几何信息，调用 OGRFeature::SetField()给新创建的图斑赋予属性信息；第四步，通过调用目标图层的 OGRLayer::CreateFeature()函数将新创建的图斑保存到图层中；第五步，调用 OGRLayer::SyncToDisk()函数将新图层序列化，并删除第二步动态创建的 OGRFeature，防止内存泄漏。

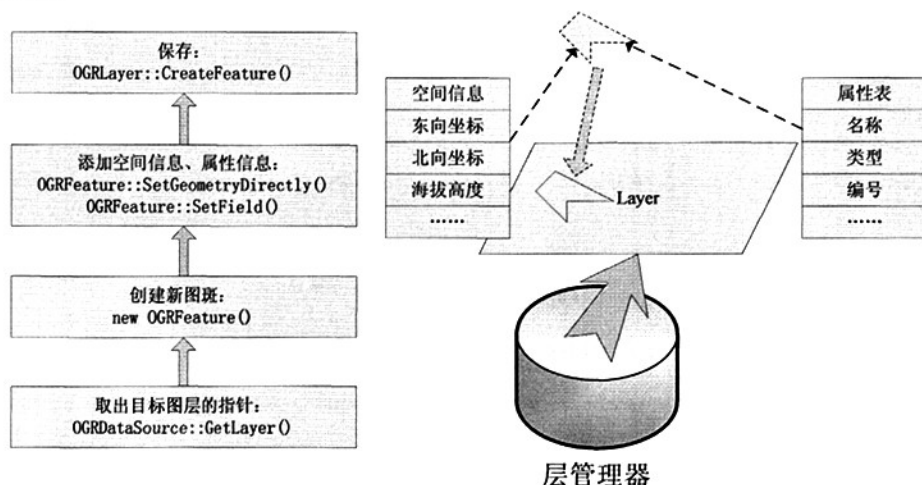


图 3-22 外业图斑创建、存储过程

对于地籍外业数据的获取和编辑，需要先找到图斑所属的图层（通过

OGRDataSource::GetLayer()或者OGRDataSource::GetLayerByName()的方法), 然后循环调用OGRLayer::GetNextFeature(), 直到找到目标图斑Feature。修改图斑空间几何信息和修改图斑的属性信息分别调用OGRFeature::SetGeometry()和OGRFeature::SetField()函数, 需要删除图斑时, 直接调用图斑所属图层的OGRLayer::DeleteFeature()函数即可。最后和创建新图斑一样需要对新图层进行序列化和清理。

由于地籍外业数据的空间几何信息使用的都是地理坐标系, 而采集图斑显示、绘图使用的是屏幕坐标系。因此, 显示地图数据时需要一个地理坐标和屏幕坐标相互转换的过程, 不仅如此, 在屏幕上对地图数据进行放大、缩小操作时, 还会改变地图显示的比例尺。

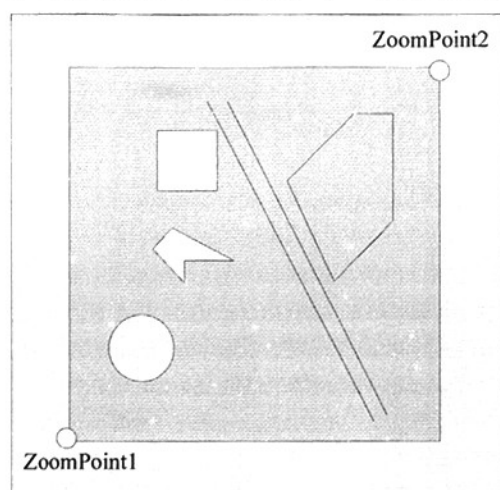


图3-23 地图放大说明

如图3-23所示, 现在要把屏幕内矩形地图区域放大到整个屏幕上, 假定需要放大的地图区域左下角点为ZoomPoint。实现放大功能就是使ZoomPoint1点成为屏幕左下点, 即计算出ZoomPoint1的实际坐标作为地图显示的起始点(startX, startY), 并且调整显示比例尺scale, 使矩形地图区显示到屏幕内。因为使用纵横同比缩放, 算法要保证放大倍数变化较小的方向正好填满屏幕。

```
startX=startX+ZoomPoint.X*scale;
startX=startX+(ScreenHight-ZoomPoint1.Y)*scale;
scale=min(Xscale,Yscale);
Xscale=ScreenWide/( ZoomPoint2.X- ZoomPoint1.X);
Yscale=ScreenHight/( ZoomPoint2.Y- ZoomPoint1.Y);
```

使用调整后的起始点(startX, startY)、显示比例尺scale重新绘制地图, 就实现了地图放大的功能。同样的原理, 全图显示也是一样, 地图缩小功能也类似。软件界面如图3-24所示:

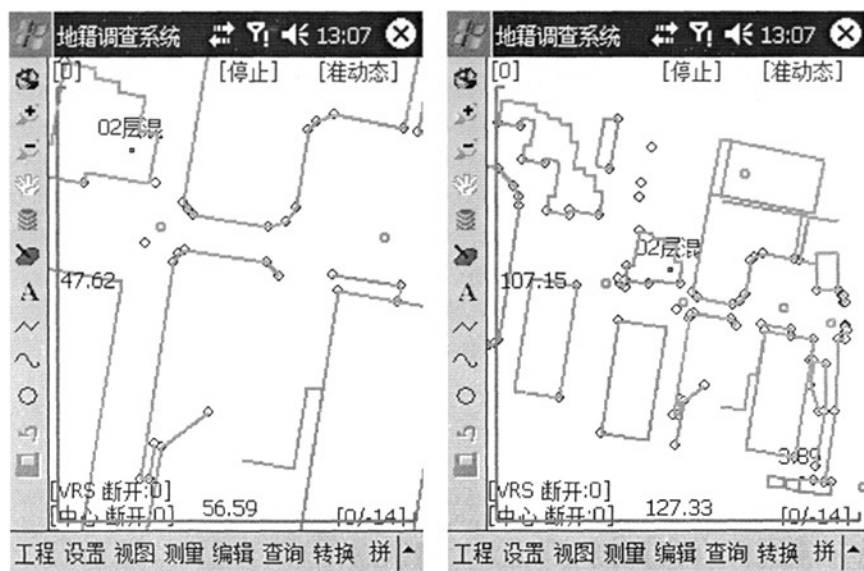


图3-24 地图的放大和缩小

利用GDAL/OGR搭建的嵌入式GIS平台使用shape格式进行存储,但是有些内业成图软件不直接支持shape文件的读写操作。为此,在嵌入式GIS平台中又加入了导出数据类型的功能,用来和内业地籍成图软件交互。目前,系统支持的导出格式有南方CASS7.0格式、广州开思交换文件。

3.4 地籍测绘工具的设计

在进行外业地籍测量时,很多地物点坐标无法用全站仪进行直接测量,需要钢尺辅助测量,有时甚至地物点无法直接测量。这时,就需要一些测绘工具进行辅助,比如利用距离交会、直线交会等办法,或者根据待测点位置和已测点位置的几何关系,间接求出地物点坐标。

经过数次实地的调研和示范应用,地籍测绘工具的功能设计分为两部分,辅助测点和勘丈构图。辅助测点包括极坐标、距离交会、直线交会、内外分点、垂直量距、间隔垂直等功能;勘丈构图包括两点房、三点房、四点房、三点圆、两点连线等功能。

极坐标——如图 3-25 所示,已知 P_1 、 P_2 、旋转角度 θ , P_3 到 P_2 的距离 L , 求 P_3 。

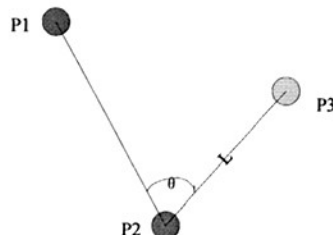


图 3-25 极坐标示意图

距离交会——如图 3-26 所示,已知 P_1 、 P_2 , L_1 , L_2 , 求 P_3 (得出两点, 手动选择)

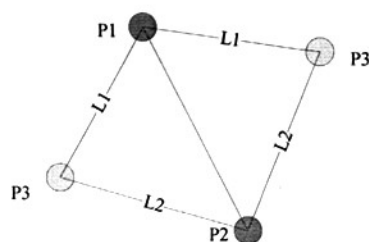


图 3-26 距离交会示意图

直线交会——如图 3-27 所示，已知 P_1 、 P_2 、 P_1' 、 P_2' ，求 P_3

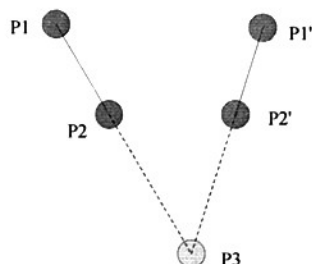


图 3-27 极坐标示意图

内外分点——如图 3-28 所示，已知 P_1 、 P_2 、 L_1 或 L_2 、 P_3 在直线 P_1P_2 上，求 P_3

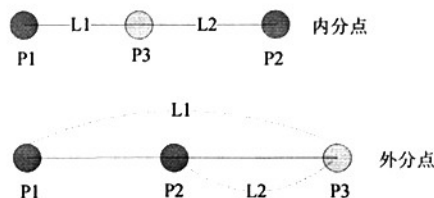


图 3-28 内外分点示意图

垂直量距——如图 3-29 所示，已知 P_1 、 P_2 、 L ， $P_3P_2 \perp P_1P_2$ ，给定方向，求 P_3

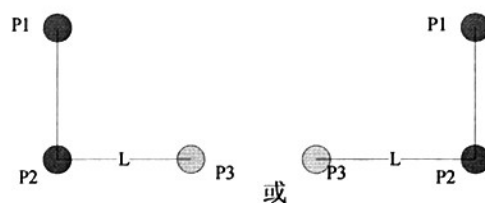


图 3-29 垂直量距示意图

间隔垂直——如图 3-30 所示，已知 P_1 、 P_2 、 P_3 ，求一点 P_4 ，使得 $P_4P_2 \perp P_1P_2$ ， $P_3P_4 \perp P_4P_2$

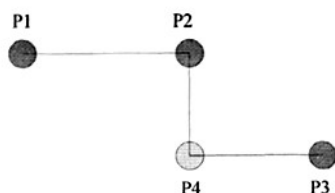


图 3-30 间隔垂直示意图

测绘工具可能会随着地方地籍测绘的需要而进行增添新的功能,另一方面从软件的开发角度上说,要求功能的实现和界面相互分离,这样才能符合封装的特性,降低软件中各模块之间的耦合度,有利于代码的健壮性、可维护性 还有复用性。测绘工具的使用依赖于 GUI 设计,即人机交互图形化用户界面设计。经过反复的测试与示范应用,寻找出一条方便地籍外业测绘人员操作的工作方式——先在菜单中选择功能,再在触摸屏幕上操作。所有的测绘工具的实现都依照这种高效的工作方式来实现。以“极坐标”功能为例,如图 3-24 所示,在菜单栏里选择“极坐标”功能,在界面上顺序选取两个点 P1、P2 后,即弹出参数输入对话框,输入距离和夹角之后,生成新的点 P3。程序界面如图 3-31 所示:



图 3-31 地籍测绘工具“极坐标”

为此引入 Command 模式,该模式的意图是将一个请求封装为一个对象,从而可用不同的请求对客户进行参数化。如图 3-32 所示,本文将屏幕操作封装在抽象的 Command 类中,它定义了一个执行操作的接口“Execute”。各子类 ConcreteCmd 通过接口具体实现各种操作,可以由自己独立实现,也可以将工作委托给一个 Receiver 接收者对象来实现。有时一个界面操作需要执行一系列命令,例如将某一图元放大居中,可由 ZoomInCmd 对象和 MovemapCmd 对象构建。这时可以定义一个 MacroCmd 子类,使其在接口中执行一个命令序列,依次调用序列中各命令的 Execute 接口。

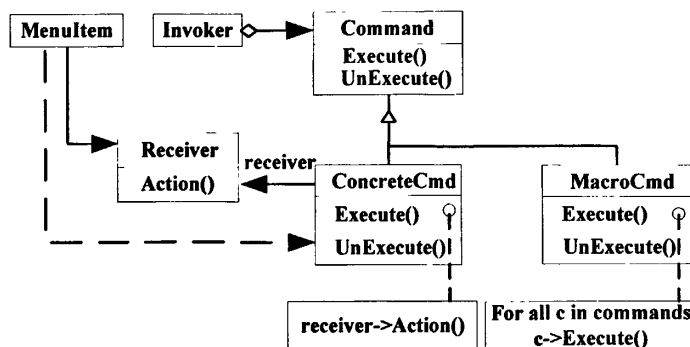


图 3-32 Command 模式结构

给每个测绘工具配置一个合适的 Command 子类实例，并指定其对应的 Receiver 对象。当用户点击菜单再进行屏幕操作时，屏幕点击响应函数担当起 Invoker 的作用，通过调用统一接口 Execute 来执行具体请求。Invoker 并不知道它调用的是 Command 的哪一个子类，实现了调用操作的对象和执行该操作的对象之间的解耦。

为了实现撤销和重做请求，系统在进行界面操作的同时，维护一个历史命令表列。历史列表存储了已被执行的命令序列。可通过向后和向前遍历这一表列，并分别调用命令对应的 UnExecute() 和 Execute() 接口来实现撤销和重做。

从以上分析看出，界面类基本只和 Execute 接口交互而不与具体实现交互，降低了界面类和工具类之间的耦合度，增强了软件的稳定性。增加新的屏幕操作时，只需增加一个命令子类，而不必修改界面类中的代码，方便进行后续的功能添加和后续版本的推出。

3.5 本章小结

通过对新方法的深入分析，从软件设计和开发的角度出发，将地籍调查系统的软件实现分为主软件和辅助软件两部分，分别进行软件设计与开发。从软件开发上，系统软件分为三个部分进行了设计和实现：

通过对 ACE 体系架构、基于 ACE 的 C++ 网络通讯技术和 ACE 模式、类库和框架的研究学习，实现了基于 ACE_Task 的多线程串口通讯编程，用于 PDA 通过蓝牙串口模块与全站仪和 GPS 接收机之间的通讯；实现了基于 ACE Acceptor-Connector 框架和 ACE Reactor 框架的网络通讯编程，用于 PDA 和 PDA 之间的无线信息传输。

通过对嵌入式 GIS 技术、Open GIS 规范和 GDAL/OGR 类库的研究学习，实现了基于 GDAL/OGR 开发库开发的符合 Open GIS 规范的 Simple Feature 简单特征描述的嵌入式 GIS 的数据模型。

通过对地籍测绘工作的实际调研，通过对 GUI 图形用户界面设计的研究学习，设计了地籍外业测绘工作常用的几种测绘工具和工作模式。通过对 Command 设计模式的研究学习，采用了 Command 设计模式来开发，简化的界面类和功能类的交互，增强软件的稳定性。

第四章 GPS/PDA/TS 地籍调查系统的示范应用

前文所述的地籍调查系统,集成了 GPS、PDA、TS 等高科技测量设备,并借助网络通讯及其它辅助手段,实现地籍外业测绘数据的实时高精度采集、几何测绘结果的所见即所得。为了检验地籍调查新方法的可行性,检测基于 GPS/PDA/TS 地籍调查系统稳定性、实用性等,从 2007 年底开始将该系统应用于北京市石景山区、宣武区、丰台区等地的地籍调查业务中。

本章将介绍地籍调查系统在地籍调查中的实际工程应用情况,对基于 GPS/PDA/TS 的地籍测绘新方法和基于新方法的地籍调查系统进行了验证,展示了地籍调查系统在地籍外业测绘中发挥的重要优势。本章先对示范应用工作的内容和要求,示范区的情况做了介绍;接着介绍了根据示范应用的要求和采用新系统所需的准备工作;再此基础上进行了地籍调查工作;通过与专业测绘队伍的调查数据精度对比,即采用 GPS RTK 测量控制点和已有底图界址点进行坐标转换后的测量结果与河北第二测绘院的测量结果进行比较。并在示范应用中,不断总结新方法和新系统存在的问题和不足,并加以完善。

4.1 示范工作及要求

4.1.1 测区概况

石景山区是一个山水相依、城乡一体、经济发达的新城区。该区土地总面积 85.74 平方公里,山地约占全区面积的三分之一,区内地籍管理以拥有众多的大型单位宗地为特色。该区具有较好的地籍工作基础。在地籍调查登记发证方面是将集体土地与国有土地的地籍调查登记发证工作相接轨,形成城乡土地登记全覆盖及一体化地籍数据库,具备了新技术示范应用的条件,是新技术示范应用的首个试点区。

宣武区是北京市中心城区之一,也是历史悠久、繁华兴盛的著名商业区。全区土地总面积约 19.04 平方公里。区内建筑密度大、建筑外形各异为特色,地籍测绘难度较大。该区具有较好的地籍工作基础,同时,分局目前承担的地籍业务主要有城区地籍调查(含变更地籍调查)、权属审核土地登记发证及地籍档案管理、权属纠纷调解等。

丰台区位于北京西南郊的城乡结合部,是北京市重点开发建设区。全区土地面积 304.2 平方公里,土地权具有两个特点:一是国有和集体土地交错,地籍状况复杂,国有土地 137.52 平方公里,集体土地 168.13 平方公里;二是工矿仓储用地、住宅用地、交通运输用地、公共设施与公共服务用地较多,该类用地总计 166.7 平方公里,占全区用地面积的 54.54%。

4.1.2 工作任务

1. 检验新技术的稳定性及实用性,特别是新技术在免图根点布设、界址点测绘、数字化成图等方面的功能;
2. 利用新技术,完成石景山、宣武、丰台三个示范区 2~3 个街坊的地籍调查(外业测绘、内业成图)工作;
3. 通过应用示范,评价新技术在北京市地籍调查应用中的效率与效益。总结新技术系统在城乡地籍调查工作中的技术方法和业务流程;

4. 通过项目的实施,使相关技术人员掌握高精度、网络化土地调查新技术,培养出一支地籍测绘专业技术队伍。

4.1.3 示范区应用情况

按照北京市国土资源局 2007 年至 2008 年科技计划要求,2007 年 11 月至 2008 年 7 月分别在石景山、宣武、丰台三区进行了示范应用。针对在这三个区实际应用过程中暴露的问题和示范应用单位所提出的建议或意见,在 PDA 成图功能、全站仪设站方式、作业流程等方面进行了改进和完善。目前的 GPS/TS/PDA 组合地籍调查作业系统性能比较稳定、功能基本齐全、操作较为简便,初步形成了较为成熟的地籍调查作业系统。

在石景山分局示范应用中,实现了基于北京市 VRS 网络下的用两个 GPS 实时定位点反推全站仪坐标及后视方位的功能,无需事先进行地面控制测量,简化了常规地籍调查的作业流程。同时针对 PDA 软件中发现的测图功能不完善,增加了“作垂边到”、“三点弧”等实用功能模块;针对石景山区信息中心采用的是 SHP 格式数据入库,在 PDA 中增加了 SHP 数据格式,使之兼容数据库建库软件(广州开思软件和南方 CASS 软件)。

在宣武分局示范应用中,针对建筑密集区难以同时获取两个 GPS 实时定位点的问题,提出一个 GPS 实时定位点、多测站联合的全站仪自由设站作业方法,降低了设站点对作业环境的要求,避免了同一测站至少要有两个 GPS 定位点的技术局限性。针对该分局使用的徕卡 700 系列全站仪,在 PDA 软件中增加了相应的接口,使之可以兼容拓普康以外的其它型号全站仪。同时,通过改进矩阵算法,解决了 PDA 图形坐标转换参数取位不同而带来的精度损失问题。

在丰台分局示范应用中,重点解决了常规设站方式与自由设站方式、PDA 现场连续性成图与间隔性成图的选择问题。针对特殊情况下地籍测绘需要高程信息的实际情况,在 PDA 软件中增加了全站仪、GPS 测点坐标的高程信息,拓宽了 PDA 软件的应用范围。同时,针对石景山及宣武示范区对新技术系统的改进意见进行了实际应用检验。

4.2 准备工作

新技术试点的准备工作包括:试点区已有基础资料的收集、现有地籍业务流程的了解、试点人员的技术培训等。

4.2.1 已有基础资料的收集

收集调查区已有的地形图或地籍图作为地籍测绘工作底图,已有的权属调查资料作为界址点测定的依据,已有的 GPS 控制点成果表及点之记用于控制点坐标联测。该项工作由国土分局协作单位河北省第二测绘院、北京新兴华安测绘公司配合完成。

收集的基础资料应满足以下要求:已有图件应该是现势性最好且比例尺最为接近的;已有的权属资料应该是近期经过权属调查或核对无误的;已有的 GPS 控制点应该是等级在四等以上且分布较为均匀的点位。

4.2.2 现有地籍业务流程的调研

为了使新技术方法能够与现有的地籍发证业务流程很好地对接,所测的地籍图件能顺利地进库,示范应用前向北京市国土资源局各分局信息中心调研了土地发证工作流程、地籍数据库格式以及测绘队伍数据入库的方法,为尽快建成北京市地籍管理信息系统做技术准备。

4.2.3 试点人员的技术培训

在 GPS/TS/PDA 地籍系统应用之前,对各个分局参与试点的有关技术人员进行了为期 1~2 天的技术培训工作。培训对象主要是各分局机关、地籍科、基层土管所、专业测绘单位等相关人员,三个分局累计培训 20 余人。培训内容是 GPS/TS/PDA 地籍系统简介、技术要求与作业流程,通过现场讲解与操作练习,使他们加深了解新技术系统,能进行新技术方法下的 PDA 操作,为试点应用做好技术准备。

4.2.4 坐标联测

GPS/TS/PDA 组合地籍调查作业系统直接利用北京市 VRS 网络资源,获得的 GPS 成果属于 WGS-84 坐标系统。通过一次性的高等控制点坐标联测,求解出坐标转换参数,该参数存储在 PDA 内,现场定位时,实时地将所测 GPS 位置自动地转换到与底图一致的坐标系统。

该项工作其实质就是:寻找 WGS-84 坐标与北京 54 坐标(或西安 80 坐标或北京地方坐标)之间的坐标转换参数。目前北京地区难以获取全市统一的坐标转换参数,三个示范区必须分别进行坐标联测工作,获取示范区各自的坐标转换参数。该参数一次测量,可长期使用。

4.3 地籍测绘

地籍调查分为权属调查和地籍测绘,权属调查按照国家有关要求进行。地籍测绘工作外业使用基于 GPS/TS/PDA 的地籍调查系统,自由设站,无需控制测量;内业使用南方 CASS7.0 地形地籍数字化成图软件在外业的基础上生成地籍图。

4.3.1 外业测绘

新技术系统最大的技术特色在于可以采取自由设站方式进行外业测绘,同时也兼顾了常规设站方式。新技术系统的自由设站方式,是指全站仪可以选择在最有利于宗地测绘的地点进行设站,如图 4-1 所示,直接在屋檐下进行设站测量。采用自由坐标或底图坐标进行测绘,观测中随机联测 2 个以上的超棱镜 GPS RTK 点,通过坐标变换将所测的自由坐标转换到与现有地籍成果一致的成图坐标。



图 4-1 新技术系统在屋檐下自由设站进行地籍测绘

采用新系统进行地籍调查的外业测绘工作步骤如下：

1. 底图导入——将调查区影像图或地籍数据导入 PDA 内作为工作底图，同时用于制定调查和测绘计划，如没有地籍数据，该项工作可借助纸质工作图进行。
2. 自由设站——在测区选择最有利于测量界址点的地方，架设全站仪并整平，以自由坐标方式进行界址点与地物点测绘，并在其可视范围内随机进行超棱镜 RTK 定位，也可分别在支站点上实现 RTK 定位，一般只需 2 至 3 个均匀分布的 RTK 定位点。
3. PDA 成图——在界址点与地物点测绘中，所有实测数据均在 PDA 内以图形的方式显示，通过人工现场构图，并加注属性。对自由设站的模式，利用 PDA 软件，在现场实现测图坐标系到成图坐标系的自动转换，如图 4-2 所示。

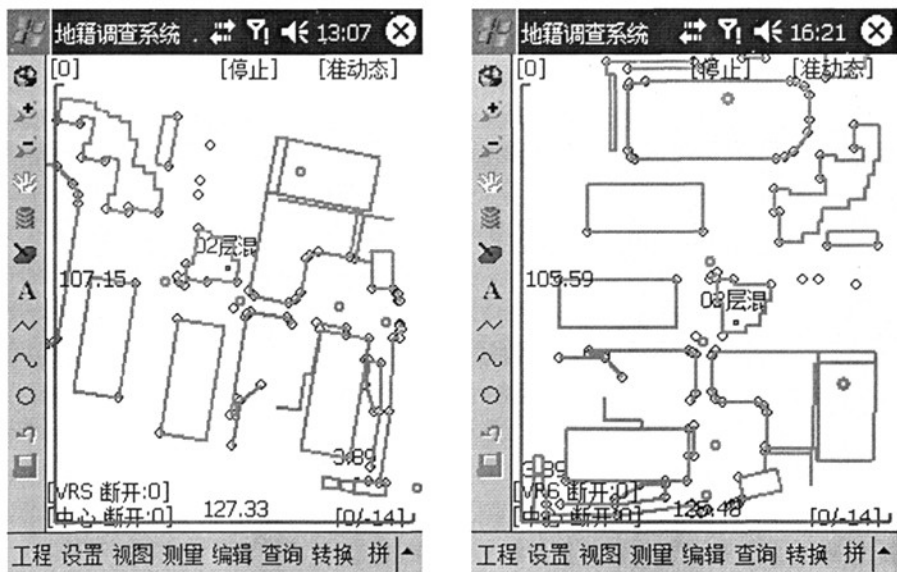


图 4-2 PDA 现场成图 坐标转换前（左），坐标转换后（右）

4.3.2 内业编绘

内业编绘是要将外业地籍采集数据通过内业成图软件编辑生成符合国家地籍测绘标准的地籍图。利用本课题的新技术系统，借助 PDA 已完成了大部分的现场成图工作，内业只需将 PDA 记录的数据调入到地籍成图软件，进行必要的图形编辑，如绘制界址点和界址线，添加地物符号和文字注记，录入宗地属性，统计各种地籍表格，输出地籍图与宗地图等。三个示范区的地籍内业编绘工作，统一采用基于 AutoCAD 的南方 CASS7.0 地形地籍数字化成图软件进行，生成地籍图如图 4-3 所示。

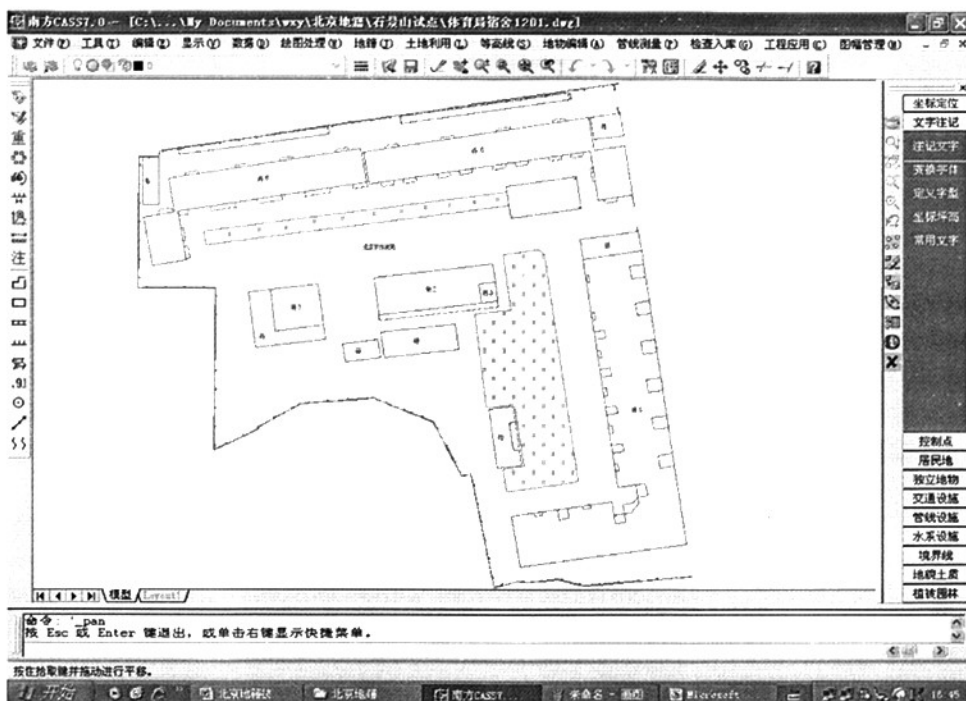


图 4-3 石景山区北京体育局宿舍地籍图

4.3.3 测绘成果

石景山区选择了八大处科技园区与老山街道为主要示范区域。在完成该区坐标联测后，开始进行新技术系统的地籍测绘对比试验，示范小组历时 16 个工作日，共完成了前进大学、天山公司、京宝公司、普利门公司、迪亚赫斯公司、双鹭公司、体育局宿舍、礼文中学、佳汇中学、时代庐峰等 10 个单位宗地，涉及测绘面积 15 万平方米。图 4.4 为石景山科技园区部分图件。

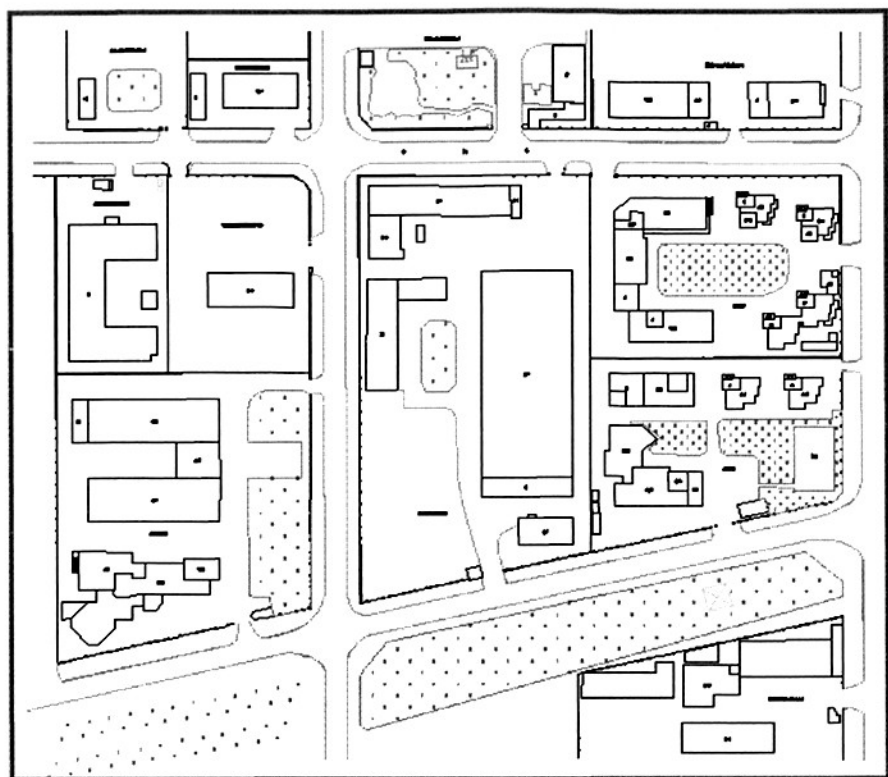


图 4-4 科技园区部分图件。

在宣武区,选择广安门周边为主要示范区域。在完成该区坐标联测后,开始进行新技术系统的地籍测绘对比试验。示范小组历时 5 个工作日,共完成了广外第一小学、六十六中、红莲幼儿园、红莲小学、天宁寺小学等 5 个单位的宗地测绘,宗地面积 4 万平方米,图 4-5 为宣武试点外业 PDA 现场成图结果。

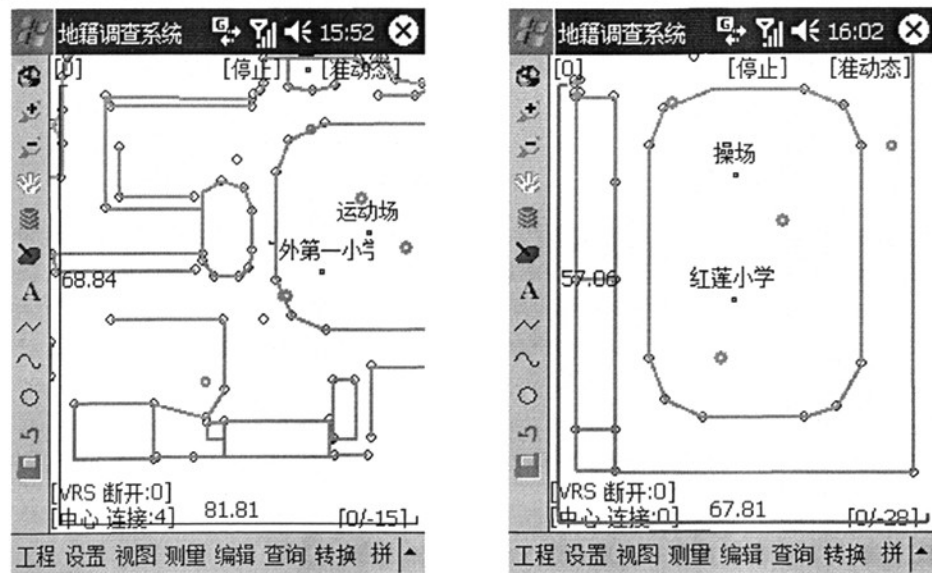


图 4-5 宣武试点区外业 PDA 现场成图

丰台区选择永定河西部的太子峪和南宫村进行地籍调查测绘。在完成该区坐标联测后,示范小组历时6个工作日,共完成了太子峪村委会、太子峪超市、太子峪小区、南宫小区等4个宗地的外业测绘,涉及测绘面积5万平方米,图4-6为丰台区外业PDA现场成图。

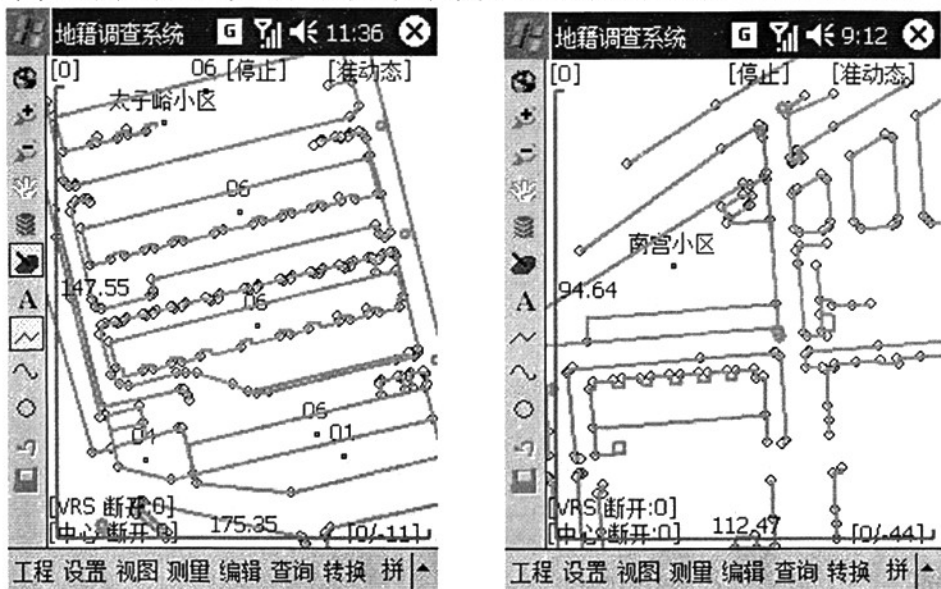


图 4-6 丰台试点区外业 PDA 现场成图

4.4 精度及效率对比

基于 GPS/PDA/TS 的地籍调查系统在北京市三个示范区开展了多次实际的工作应用,在不同地形、不同环境下,进行了实地测量,并取得了预期示范效果。通过与河北第二测绘院采用传统方法进行地籍测绘做了对比测量,证实了地籍测绘新方法的有效性和地籍调查系统的实用性、稳定性。

4.4.1 精度对比

新技术方法优化了常规地籍测绘技术流程,减少了测量误差的积累,同样带来了整体精度的提高。

(1) 控制点精度校核

三个示范区坐标联测后,控制点精度校核误差最大为 $\pm 3.7\text{cm}$,能满足 1:500 地籍测绘所要求的 $\pm 5.0\text{cm}$ 的指标要求,从而验证了坐标转换参数的可靠性。

(2) 界址点和地物点精度比较

选取各宗地以围墙拐点为主的界址点和明显地物点(如房角点、门墩拐点等),与原有或新测的地籍图进行比较,如表 4-1 所示。在高新技术开发区的示范应用采用的是无底图, GPS RTK 测量控制点,进行坐标转换的方式。

表 4-1 高科技园区测量结果对比

点序号	点类别	新测坐标	原图坐标	坐标差
1	围墙拐点	307879.794	307879.822	-0.028
		485819.131	485819.152	-0.021
2	围墙拐点	307880.028	307880.026	0.002
		485629.724	485629.718	0.006
3	围墙拐点	307885.970	307885.970	0.000
		485624.010	485624.061	-0.051
4	门墩拐点	307880.115	307880.155	-0.040
		485551.417	485551.436	-0.019
5	围墙拐点	307880.184	307880.161	0.023
		485503.828	485503.786	0.042
6	门墩拐点	307644.001	307644.012	-0.011
		485494.149	485494.148	0.001
7	门墩拐点	307665.070	307665.060	0.010
		485573.156	485573.050	0.106
8	围墙拐点	307673.912	307674.012	-0.100
		485264.561	485264.148	0.413
9	围墙拐点	307721.718	307721.708	0.010
		485819.051	485818.945	0.106

选取时代卢峰测量部分数据与北京市国土资源局石景山分局的底图数据,对比如表 4-2 所示。在时代卢峰的示范应用采用的是有底图,直接在底图上选取明显界址点作为控制点,进行坐标转换的方式。

表 4-2 时代卢峰测量结果对比

点号	底图坐标		测量坐标		测量标准差
	X	Y	X	Y	ΔS
P1	304368.923	487853.358	304368.922	487853.355	0.002
P2	304320.660	487932.405	304320.659	487932.403	0.001
1	304388.028	487924.087	304388.007	487924.035	0.031
2	304368.948	487924.088	304368.909	487924.014	0.035
3	304368.904	487914.315	304368.903	487914.761	0.445
4	304358.730	487854.216	304358.768	487854.233	0.021
5	304341.423	487854.207	304341.355	487854.276	0.001

6	304341.356	487859.305	304341.375	487859.325	0.001
7	304332.844	487859.278	304332.412	487859.256	0.410
8	304321.430	487851.195	304321.425	487851.215	0.015
9	304322.661	487860.791	304322.623	487860.787	0.034
10	304322.615	487863.180	304322.633	487863.146	0.016
11	304322.610	487919.080	304322.643	487919.053	0.006
12	304321.533	487919.080	304321.534	487919.063	0.016
13	304321.530	487926.494	304321.516	487926.470	0.010
14	304321.460	487928.635	304321.480	487928.612	0.003
15	304320.659	487938.518	304320.649	487938.487	0.021

在选取高科技园区和时代卢峰的测量数据中，有部分点位坐标差别较大，如表 4-2 中 3 号点和 7 号点。通过讨论与现场调查发现，这些点的粗大误差主要是由于棱镜立位不同造成的，属于人为误差，与系统无关。

各区抽查结果统计见表 4-3 所列。由表 4-3 可以看出：界址点点位坐标差大多在 10cm 以内，个别在 10cm 以上（有些界址点实地已没有界址桩）；同名地物点点位坐标大部分相差在 20cm 以内，满足规范中地物点中误差不超过±20cm，极限误差不超过±40cm 的指标要求。个别相差较大的点，经对比分析，发现是因为现场对界址点的选择（墙角还是墙边，墙外侧还是墙内侧）、棱镜自身几何结构产生的偏心误差有关。

表 4-3 同名界址点和地物点检核结果表

示范区	抽查 总点数	点位 差值	0~10 (cm)	10~20 (cm)	20~30 (cm)	30~40 (cm)
石景山	50	个 数	35	10	5	0
		百分比	70%	20%	10%	
宣武	23	个 数	18	3	2	0
		百分比	78%	13%	9%	
丰台	36	个 数	25	8	3	0
		百分比	69%	22%	9%	
备 注			界址点、明 显地物点	界址点、明 显地物点	一般 地物点	一般 地物点

(3) 地物间距精度检核

为了检核宗地内部不相关地物间的符合关系，在测绘过程中用钢卷尺随机检查了所测宗地中部分地物间距，差值最小为 0cm，最大为 16cm，优于 1:500 地籍图地物间距中误差±20 cm，极限误差±40 cm 的精度要求。具体数据统计如表 4-4 所示。

表 4-4 地物间实地距离与图上距离差值统计

示范区	抽查边 总条数	距离 差值	0~5 (cm)	5~10 (cm)	10~15 (cm)	>15 (cm)
石景山	27	条数	8	15	3	1
		百分比	30%	56%	11%	3%
宣武	23	条数	7	13	2	1

		百分比	30%	57%	9%	4%
丰台	27	条数	10	12	4	1
		百分比	37%	44%	15%	4%

4.4.2 效率对比

采用常规技术方法时，必须先控制测量再地籍测绘。首先，必须在较为分散的测区统一布设四等或一级 GPS 控制网和图根控制网（即在地面上埋设测量标志，标号登记，从全站仪或者 GPS 现场逐一测量这些点准确的坐标值），此项工作称为控制测量。其次，在进行地籍测量时，需要实地找到这些控制点，在这些控制点上安置全站仪，整平、对中（这个步骤往往需要数分钟，而且技术性很强）之后才能进行外业地籍细部测量、绘制地物关系草图，内业进行地籍图编绘。

新技术方法使控制点测量和界址点测绘实现了一体化作业。首先，利用北京 VRS 网络的高精度 GPS 定位，用两个 GPS 实时定位点现场反推全站仪坐标及后视方位，省去了寻找或加密控制点的工作。其次，PDA 与 GPS、全站仪连接，实现可现场构图与属性录入，不必绘制地物关系草图，内业编绘工作全部为数字化，简化了内业工作流程，降低了差错率。

在人员和仪器数量相同条件下，常规方法和新方法对比分析如下表 4-5 所示。

表 4-5 各示范区两种技术方法用时对比

示范区	常规方法所需时间（天）			新技术方法所用时间（天）			节约时间（天）	提高效率（%）
	加密控制选埋、观测	地籍细部测量	地籍图编绘	坐标联测	地籍细部测量	地籍图编绘		
石景山	5	16	4	1	16	3	5	25
宣武	3	5	3	1	5	2	3	37
丰台	4	6	3	1	6	2	4	44

由此计算，采用新技术系统后，整体工作效率平均可以提高 30%以上。

4.5 本章小结

本章介绍了基于 GPS/PDA/TS 的地籍调查系统在北京市石景山区、宣武区、丰台区三个示范区的实际地籍调查工作的应用情况。从实际地籍调查工作的任务出发，制定了使用地籍调查系统进行实地测量的工作准备、工作方法与作业流程，完成了预期地籍调查工作的任务。将地籍测绘工作分为外业测绘和内业编绘两部分，外业测绘工作采用新系统自由设站的方式直接进行地物点的测量，观测中随机联测 2 个以上的超棱镜 GPS RTK 点，通过坐标变换将所测的测图坐标系转换到成图坐标系；内业编绘工作只需将 PDA 记录的数据调入到地籍成图软件，在外业地籍线划图成果的基础上，进行必要的图形编辑、属性录入，生成符合地籍测绘规范的标准地籍图。

本章从效率和精度两方面，对基于 GPS/PDA/TS 的地籍调查新方法和传统地籍调查方法做了对比。在测绘精度方面，新技术系统采用 VRS 网络 RTK 直接控制替代常规技术模式下的多层次加密控制，减少了精度损失，实现了地籍测绘免控制点测量，通过实际测试，控制点精度校核点位中误差为±0.037m，能够满足 1:500 比例尺地籍调查所规定的界址点和地物

点的精度要求。在整体工作效率方面,新技术方法利用 PDA、无线通讯技术将全站仪、GPS 等设备进行了有机集成,实现了系统集成创新,并优化了地籍测绘的作业流程,作业方式机动灵活、高效实用,在同等条件下地籍调查工作效率提高了 30%。

第五章 总结与展望

随着技术的发展和社会的进步,人们迫切希望将高科技技术手段利用到生产和实践中去,改进传统的方法,在提高生产效率的同时减轻劳动强度。特别是,随着国家小城镇建设步伐的加快,城镇地籍测量工作在全国范围内展开,我国巨大的地籍初始调查及日常变更调查工作与政府对地籍信息现实性的迫切需求之间矛盾的解决,需要一整套快捷的地籍测量技术。本文利用嵌入式技术、卫星定位技术结合全站仪设备,提出了一套完整的地籍测绘新方法,组合出一套新型的地籍测量系统,将现代高科技技术应用到传统的地籍调查工作中去,为地籍外业测绘提供全新的作业模式。

本论文首先探讨了基于 GPS/PDA/TS 的地籍测绘新方法。常规地籍测绘方法,按照“先控制测量,后碎部测量”以及“先有已知点,后测未知点”的常规作业模式进行外业地籍测绘,存在程序复杂、作业周期长、数据错漏等缺点。针对传统地籍测绘方法的不足,本论文通过对 GPS、全站仪等常规测绘技术的研究,提出了地籍测绘新方法,该方法省去了地籍测量前控制网布设的麻烦,采用全站仪自由设站的方法对测区进行直接测量,在测量中将 GPS RTK 点或已有底图点作为控制点,采用坐标变换的方式获取成图坐标系下的地籍图,实现了控制测量与界址点测绘的一体化作业。

本论文根据地籍测绘新方法的技术流程及特点设计了集成 GPS/PDA/TS 的地籍调查系统。GPS 用于控制点在成图坐标系下的坐标测量,全站仪用于可视地物点坐标的测量,PDA 用于将 GPS 接收机和全站仪采集的土地信息进行显示、图斑构建、编辑和存储。为实现 PDA 与全站仪之间的数据通讯,设计开发了蓝牙串口模块;将 GPS 接收机与棱镜组合构成“超棱镜”,实现控制点测图坐标和成图坐标的同时采集;开发了网络中转服务器软件,放置在具有独立 IP 地址的服务器上,即可实现控制点(超棱镜)和测站点(全站仪)PDA 之间的 GPS 定位信息传递。

本论文基于地籍测绘新方法设计了地籍调查系统软件。该软件在结构上由主软件和辅助软件两部分组成。主软件工作在测站点位置,主要用于控制全站仪进行土地信息采集,并将采集信息显示、编辑、存储,生成地籍测绘外业成果。辅助软件工作在可以实现 GPS RTK 的控制点位置,用于控制点绝对坐标的测量,并将测量结果通过网络发给主软件进行处理。从软件设计角度,地籍调查系统软件由数字通讯模块、嵌入式 GIS 平台和地籍测绘工具三大模块组成。本论文基于 ACE 类库开发了数字通讯模块:基于 ACE_Task 的多线程串口通讯编程,实现了 PDA 通过蓝牙串口模块与各种型号全站仪和 GPS 接收机之间的通讯;基于 ACE Acceptor-Connector 框架和 ACE Reactor 框架的实现了网络通讯编程,用于 PDA 之间的无线信息传输。基于 GDAL/OGR 开发库开发的符合 Open GIS 规范的 Simple Feature 简单特征描述的嵌入式 GIS 的数据模型实现了嵌入式 GIS 平台的开发。通过对地籍测绘工作的实际调研,设计了地籍外业测绘工作常用的几种测绘工具和工作模式,并采用 GUI 图形用户界面设计和 Command 设计模式实现了地籍测绘工具的开发。

基于 GPS/PDA/TS 的地籍调查系统在北京市石景山区、宣武区、丰台区三个示范区,做了实际地籍调查工作的应用,完成了预期地籍调查工作的任务,验证了系统达到设计要求。通过与传统方法的对比测试,在测绘精度方面,控制点精度校核点位中误差为 $\pm 0.037\text{m}$,地物点精度基本在 10cm 以下,能够满足 1:500 比例尺地籍调查所规定的界址点和地物点的精度要求。在工作效率方面,新技术方法利用 PDA、无线通讯技术将全站仪、GPS 等设备进行了有机集成,实现了系统集成创新,并优化了地籍测绘的作业流程,作业方式机动灵活、高效实用,在同等条件下地籍调查工作效率提高了 30%。新方法为地籍外业调查提供了可

靠、快捷、高精度的数据采集与处理手段，大大减少了外业调查时间，降低了劳动强度，提高了外业调查效率。系统操作简单、实用性较强，能够较好地用于日常的地籍调查工作及相关的地籍管理业务。

存在的不足与展望：

（1）系统外业采集成果仅为 shape 格式线划图，但目前内业地籍图软件处理都是基于 CAD 进行二次开发的成图软件，导入内业处理之前还需进行数据格式的转换；下一步应该设计并开发一套和外业地籍调查相匹配的内业处理软件。

（2）嵌入式 GIS 平台的设计中没有符号库等地籍图成图软件功能，并且属性的设置也比较单一；下一步应该对嵌入式 GIS 平台进行进一步优化。

（3）在对网络通信的设计中，没有采用标准的即时通信协议，因此需要独立建立服务器；下一步应该考虑兼容国际标准 XMPP 协议，使之通过 Internet 中 XMPP 服务器进行通信，降低系统费用。

（4）新技术系统目前主要针对地籍测绘技术进行创新性集成，以解决目前地籍测绘精度与效率不高的问题，但在权属调查方面尚没有进行针对性的探索突破，这是系统下一步在电子化调查方面研究的重点（即电子确权技术）。

致谢

本论文是在导师王庆教授悉心指导和热情关怀下完成的。王老师渊博的知识、严谨的治学态度和执著、务实的工作作风令学生敬佩至深，是学生终生学习的楷模。两年多的研究生学习期间，王老师循循善诱的教诲、无微不至的关怀和指导使学生受益终生。在此向王老师表示衷心的感谢和崇高的敬意！

特别感谢吴向阳、于先文、喻国荣三位老师的指导和帮助，在系统研发和系统示范应用过程中，三位老师从专业测绘方向上给予大力的支持，没有他们的帮助，是不可能完成这项系统设计和开发的。在论文撰写期间，吴、于两位老师也给予了大力帮助。再次向三位老师表示深深的谢意。

特别感谢何军博士在我整个硕士学习阶段对我的悉心指导、热情帮助和严格要求。何军博士亦师亦友，他严谨的治学态度、刻苦钻研的学术精神、循循善诱的指导方法，特别是他严于律己、宽以待人、谦虚和善的为人态度，值得我终生的学习。

感谢 3S 技术研发中心王慧青老师、潘树国老师、李传君老师、关增社博士、郑子扬博士、赵毅博士、柯福阳博士在项目开展期间对我的帮助和指导。感谢同窗学友蔡文雯、李非、严伟、胡晓晶、顾广清、张熹彦两年多来的关心和支持。感谢同在空间信息组的张寅、毕亮、于冠男、高斌、吴雅丽等师弟师妹以及殷为林、张峰、温华伟、唐春林、朱琪、寇海棠、周静等工作人员，他们对我的课题研究和工作的给予了大力支持。

东南大学仪器科学与工程学院给我创造了良好的学习环境，使我得以顺利完成学业。在此，对学院领导和各位老师表示衷心的感谢！

最后，感谢含辛茹苦养育我的双亲，感谢他们的无私奉献和支持理解，是他们给予了我前进的力量。

王彪

二〇〇九年二月二十二日于东南大学礼西

参考文献

- [1] 林增杰, 谭峻, 詹长根, 等. 地籍学[M]. 北京: 科学出版社, 2006
- [2] 李天文, 张友顺. 现代地籍测量[M]. 北京: 科学出版社, 2004
- [3] 詹长根. 现代地籍技术[J]. 测绘信息与工程. 2004, (1)43-45, (2)44-46, (3)42-44
- [4] 武汉大学测绘学院 测量平差学科组. 误差理论与测量平差基础[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2003
- [5] 费业泰. 误差理论与数据处理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.6
- [6] 南京国春电气设备有限公司. GC-02 蓝牙模块数据手册 2008.7
- [7] 佚名. Bluetooth (蓝牙) 技术简介[EB/OL]. <http://bbs.cnitr.com/thread-50699-1-1.html>, 2006.5.24
- [8] Stephen D.Huston, James CE Johnson, Umar Syid. ACE 程序员教程[M]. 马维达译. 北京: 中国电力出版社, 2004.11
- [9] Douglas C.Schmidt, Stephen D.Huston. C++网络编程 卷一 运用 ACE 和模式消除复杂性[M]. 於春景译. 武汉: 华中科技大学出版社, 2003.12
- [10] Douglas C.Schmidt, Stephen D.Huston. C++网络编程 卷二 基于 ACE 和框架的系统化复用[M]. 马维达译. 北京: 电子工业出版社, 2004.1
- [11] Umar Syid. ACE 自适应通信环境中文技术文档 中篇: ACE 程序员教程[M]. 马维达译.
- [12] 蒋东兴, 林鄂华. Windows Sockets 网络程序设计指南. 北京: 清华大学出版社 1996年9月
- [13] 执木. Socket 编程入门[EB/OL]. http://tech.ccidnet.com/art/5929/20080122/1349691_1.html, 2008.1.23
- [14] 孙玲玲. 基于 GPRS/Internet 的 GPS 信息服务系统的设计与实现[D]:[硕士学位论文]. 南京: 仪器科学与工程学院, 2006.12
- [15] 吴信才. 地理信息系统原理与方法[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002
- [16] 龚健雅. 空间信息系统原理[M]. 北京: 北京: 科学出版社, 2001
- [17] 王家耀. 空间信息系统原理[M]. 北京: 科学出版社, 2001
- [18] 史剑珺. 基于 PDA 的空间信息应用技术研究[D]. 合肥: 国防科学技术大学, 2003
- [19] 李玉. 嵌入式 GIS 及其应用[D]. 郑州: 中国人民解放军信息工程大学, 2004
- [20] 裴凌, 王庆, 王慧青. 嵌入式 GIS 的数据模型构造方法[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2005,35(3): 480-483.
- [21] 蔡苗红. 基于嵌入式 GIS 的 GPS/PDA 数据采集系统的设计与实现[D]:[硕士学位论文]. 南京: 仪器科学与工程学院, 2007.3
- [22] Open GIS Consortium (1999). OpenGIS simple features specification for SQL. [EB/OL]. <http://www.opengeospatial.org/docs/99-054.pdf>
- [23] Open GIS Consortium. The OpenGIS Abstract Specification Topic 12: OpenGIS Service Architecture Version 4.3[EB/OL]. <http://www.opengeospatial.org>
- [24] S.Shekhar, S.Chawla, 空间数据库[M]. 谢昆青, 马修军, 杨东青等译. 北京: 机械工业出版社, 2004: 27-58, 99-127
- [25] zhujin2006 开源栅格 / 矢量空间数据转换库 -GDAL/OGR[EB/OL]. <http://hi.baidu.com/zhujin2006/blog/item/10c7b335922ae88aa71e12af.html>, 2007.4
- [26] OSGE. GDAL - Geospatial Data Abstraction Library[EB/OL]. <http://www.gdal.org>, 2008.12

- [27] 曾志明, 朱江, 张立立等. 设计模式在可复用GIS 软件开发中的应用[J]. 计算机工程, 2006, 33(7): 67-77.
- [28] 彭琳. 全球定位系统在地籍测绘中的应用[D]. 武汉: 武汉大学学位论文, 2004.
- [29] 贾方涛. 基于AEC和设计模式的XMPP/Jabber 服务器设计与实现[D]. 武汉: 武汉大学学位论文, 2005.
- [30] 归庆明, 郭建峰, 病态平差模型直接解算方法的研究[J], 大地测量与地球动力学, 2004(24):15~18.
- [31] Erich Gamma, Richard Helm, Ralph Johnson, Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software, China Machine Press, 2000.
- [32] He Jun, Wang Qing, Li Zigang, Tai Yingying, "ELSDE: A Lightweight Spatial Data Engine for Mobile GIS". Proc. of the 14th International Conference on Geo informatics, October 2006, Wuhan, China.
- [33] 胡志刚, 花向红, 韩红超, 等. GPS-RTK技术在地籍测量中的应用[J]. 测绘信息工程. 2007, 32 (5)
- [34] He Jun, Wang Qing, Li Zigang, "A Multi-scale Representation Framework for Efficient Mobile GIS Integration", preprint, 2007.
- [35] 王云鹏, 王家军. 病态方程之改进的正则化解法中正则参数的后验选取法[J]. 河南师范大学学报(自然科学版). 2001, 29(3): 104~105.
- [36] 沈云中, 许厚泽. 不适定方程正则化算法的谱分解式[J]. 大地测量与地球动力学. 2002, 22(2): 10~14.
- [37] 李功胜, 袁忠信. 求解病态问题的一种新的优化正则化方法[J]. 郑州大学学报(自然科学版). 1999, 31(4): 21-23.
- [38] 马志敏, 李海生. 数字化测绘技术在城镇变更地籍测量中的应用[J]. 测绘与空间地理信息. 2007, 30(5)
- [39] 周卫娟, 徐幼中. 全站仪+OLE 自动实现宗地图地籍图的内外业一体化技术[J]. 北京测绘. 2000, (2): 13-16
- [40] 黄轶, 龚丽芳. 基于 PDA 的地籍测量数据采集系统的设计与实现[J]. 四川测绘. 2003, 26(3) 107-110
- [41] 季顺海. 城镇地籍测量中的技术应用[J]. 现代测绘. 2007, 30(4) 26-27
- [42] 姜发明. 数字化测绘技术在城镇地籍测量中的应用[J]. 资源与产业. 2007, 9(3) 81-83
- [43] 万义有, 胡国红, 罗一明. 多种软件协同作业在地籍更新测绘中的应用[J]. 西部探矿工程. 2007, (6) 114-115
- [44] 金炎, 刘加生. 数字化地籍测绘方法的探讨[J]. 测绘与空间地理信息. 2007. 30 (4): 78-81
- [45] James Hobart 出色图形用户界面 (GUI) 设计规范[EB/OL]. spark.bbs@bbs.nankai.edu.cn 译 <http://www.cyberpunk.cn/n221c40.aspx>, 2005.4

攻读硕士学位期间发表的论文及科研成果

1. 王彪，王庆，何军。基于 NTRIP&XMPP 协议的网络通信技术在土地执法巡查系统中的应用 小型微型计算机 2008.8
2. 王 庆；裴 凌；喻国荣；王 彪。基于无线通讯网络的移动基站定位方法 中国专利 200710025461.4

参与课题：

1. 国家科技支撑计划重大项目《农村土地实时监测技术研究 with 系统研制》(课题编号：2008BAJ11B02)
2. 国家科技支撑计划重点项目《精准土地调查技术》(课题编号：2006BAB15B01)