



独创性（或创新性）声明

本人声明所提交的论文是本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中所罗列的内容以外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得北京邮电大学或其他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。

申请学位论文与资料若有不实之处，本人承担一切相关责任。

本人签名： 刘兵 日期： 2010.3.8

关于论文使用授权的说明

学位论文作者完全了解北京邮电大学有关保留和使用学位论文的规定，即：研究生在校攻读学位期间论文工作的知识产权单位属北京邮电大学。学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许学位论文被查阅和借阅；学校可以公布学位论文的全部或部分内容，可以允许采用影印、缩印或其它复制手段保存、汇编学位论文。

本学位论文不属于保密范围，适用本授权书。

本人签名： 刘兵 日期： 2010.3.8

导师签名： 武永清 日期： 2010.3.10

基于 AGPS 的智能导航系统软件开发与研究

摘要

车辆的大量普及在人们的生活带来便利的同时也不可避免地引入了诸如道路网络复杂化, 交通堵塞日趋严重等许多道路交通问题。这些问题给出行者在道路选择上带来很多的困惑, 大大影响了他们的出行效率, 导致不能按时到达目的地, 某些时候甚至会出现开车不如走路快的现象。智能导航系统是解决上述问题的利器, 目前已经引起各国交通部门的重视, 成为各国政府在智能交通领域的研究热点。

智能导航系统是把先进的全球定位技术、地理信息技术、多媒体技术和现代通信技术综合到一起的高科技系统, 它能够实时、高效地向驾车员提供多种重要信息, 引导驾驶员从一地到达另一地。该系统首先要借助定位技术获得车辆的当前位置信息, 根据当前位置及目的地位置, 综合考虑电子地图中的城市路网结构和一些实时的路况信息来帮助驾车者选择一条最佳的行车路线, 它旨在借助数字通讯、车辆定位、计算机网络等现代高科技手段来改善交通状况, 合理利用道路交通, 充分发挥现有道路交通的潜力, 提高通行能力, 综合解决交通运输问题。

本课题依托于实验室横向研发项目“混合导航定位系统”, 主要涉及导航系统软件方面的研究, 包括软件架构设计, 地图数据的分析及处理、诸如道路匹配等关键导航算法的研究与实现等等。论文首先介绍导航系统的研究背景及该项技术的国内外发展现状; 接下来具体介绍导航系统的概念及其相关知识, 包括系统的结构、模块划分, 各个模块的功能等; 之后阐述我们项目中成功研究开发的一种基于 AGPS 的混合定位技术, 详细介绍了技术细节及相关的研究成果; 在此基础上给出整个系统的软件架构设计及系统的实现思路; 之后利用论文第四和第五章内容具体阐述了系统中所采用的电子地图数据处理技术、地图数据结构设计、地图数据的存储以及导航系统中关键算法的研究与实现, 比如地图匹配算法、路径规划算法、道路状态判断算法等; 最后是对整篇论文研究工作的总结及对项目未来的展望。

关键词 导航系统 道路匹配 电子地图 混合定位 数据处理

RESEARCH AND DEVELOPMENT ON A AGPS BASED VEHICLE NAVIGATION SYSTEM

ABSTRACT

The popularity of household vehicles do have facilitated people's daily travels but at the same time have involved many traffic issues such as increasingly complex road network, serious traffic congestion and so on. These issues always make drivers puzzled on route selection, largely lower the traffic efficiency. People usually are not able to arrive at destination on schedule and sometimes even slower than walking. For these problems, Intelligent Vehicle Navigation System(VNS) is indeed a good solution for which it has drawn many nations' attention and now become a hot research in the field of Intelligent Transportation System(ITS).

VNS is a novel system that combines technologies of Global Positioning, Geographic Information, Multi-media and Modern Communication. It can provide drivers an appropriate way from one position to another timely and efficiently. Positioning module in VNS is firstly used to get the current position of the car in terms of longitude and latitude, then according to the road network architecture stored in map database and real time road conditions, it finally works out a best path from current point to destination. VNS aims to use several modern high technologies such as digital communication, vehicle positioning, computer network etc to improve traffic condition, make full use of transport resources to solve kinds of traffic problems.

This topic relies on a lab Cross-cutting project called "Hybrid Vehicle Navigation System". It mainly focus on research of the system software including software architecture design, part of the code implementation, map data analysis, data structure design, data processing, research on critical navigation algorithms such as map matching algorithm, optimal path algorithm and so on.. In this thesis, we first introduce the research background, significance, development status of VNS and then detail it by describing its

system architecture, module division, module function etc. Afterwards, a novel AGPS based hybrid positioning technology developed by us is illustrated. On this basis, we finish the whole system's software architecture design, implement the user interface code, complete the map data processing, data structure design and then do research and development on the related algorithms such as the map matching algorithm, optimal path algorithm etc. Finally, we give a summary to all contents of this thesis and the related future work for this project is also prospected.

KEY WORDS: Navigation System, Map Matching, electronic map, hybrid positioning, data processing

目 录

第一章 引言.....	1
1.1 课题背景及研究意义.....	1
1.2 课题涉及的相关技术.....	2
1.2.1 定位技术.....	2
1.2.2 地理信息系统技术.....	3
1.2.3 嵌入式计算机技术.....	3
1.2.4 数据处理技术.....	3
1.3 国内外研究现状.....	4
1.4 课题来源及论文结构.....	5
第二章 智能车载导航系统概述.....	6
2.1 系统原理.....	6
2.2 系统模块划分.....	6
2.3 导航中的定位技术.....	8
2.3.1 AGPS 技术.....	8
2.3.1.1 AGPS 概述.....	8
2.3.1.2 AGPS 工作原理.....	8
2.3.2 小区标识号 (Cell-ID) 定位技术.....	9
2.3.3 无线电定向技术.....	9
2.3.3.1 定向系统框图.....	9
2.3.3.2 定向系统工作流程.....	10
2.3.4 混合定位系统.....	11
第三章 系统软件架构设计.....	12
3.1 系统需求.....	12
3.2 需求分析及软件架构设计.....	12
3.3 具体实现.....	14
3.3.1 开发工具及平台.....	14
3.3.2 开发模式.....	14
3.3.3 界面层开发.....	14
第四章 电子地图数据处理.....	17
4.1 电子地图概念.....	17
4.1.1 电子地图的特点.....	17
4.1.2 电子地图的分类.....	18
4.1.2.1 位图电子地图.....	18
4.1.2.2 矢量电子地图.....	19
4.1.3 项目中的电子地图.....	19

4.2 电子地图数据结构设计	19
4.2.1 地图比例尺及分幅	20
4.2.2 空间数据结构设计	20
4.2.2.1 点空间数据	21
4.2.2.2 道路空间数据	21
4.2.2.3 线空间数据	22
4.2.2.4 面空间数据	23
4.2.3 拓扑数据结构设计	23
4.3 地图匹配数据的处理	25
4.3.1 地图数据分块处理	25
4.3.2 地图无缝拼接处理	26
4.4 小结	27
第五章 地图匹配算法	28
5.1 地图匹配算法的目标	28
5.2 算法应用的前提	28
5.3 匹配结果的影响因素	29
5.3.1 实时性影响因素	29
5.3.2 鲁棒性影响因素	29
5.3.3 匹配精度的影响因素	29
5.3.3.1 GPS 卫星接收机误差	29
5.3.3.2 电子地图数据库的数据质量	30
5.3.3.3 坐标变换误差	30
5.4 常见地图匹配算法	31
5.4.1 投影匹配法	31
5.4.2 模糊匹配法	31
5.5 地图匹配算法的设计与实现	31
5.5.1 匹配候选路段的确定	32
5.5.2 对候选路段的匹配	32
5.5.3 算法测试	33
5.6 小结	34
第六章 其他研究内容及课题总结展望	35
6.1 路径规划算法研究	35
6.1.1 路径规划算法原理	35
6.1.2 路网的拓扑抽象	36
6.1.3 经典最优路径算法	37
6.1.3.1 Dijkstra 算法	37
6.1.3.2 启发式搜索算法	38
6.2 基于浮动车的道路状态判断研究	39
6.2.1 浮动车系统	39
6.2.2 浮动车数据采集与处理系统	40
6.3 课题总结与展望	41
6.3.1 课题总结	41
6.3.2 课题展望	41

参考文献.....	42
致 谢.....	43
作者攻读学位期间发表的学术论文目录	44

第一章 引言

1.1 课题背景及研究意义

车辆的广泛普及给人们的生活带来了方便,扩大了人们的活动范围,但同时也给使用者带来了诸多的困惑:复杂的交通网络使人们无所适从;频繁发生的交通堵塞使人们难于选择正确的行车路线;处在陌生的地理环境中无法准确地了解周围的交通条件和自己的位置;需要服务时却可能因为不了解周围服务设施的分布而难以就近得到需要的服务;野外作业的车辆因为不清楚自己的位置面临迷路的危险;在军事活动中确切知道目前所处的位置也是十分重要的^[1]。因此,随着人们活动范围的不断扩大,人们越来越需要知道自己当前所处的位置和环境信息以做出合理的判断。

针对上述问题,人们提出了智能交通系统的概念。所谓智能交通系统(Intelligent Transportation System, ITS)是将先进的信息技术、数据通讯传输技术、电子传感技术、电子控制技术及计算机处理技术等有效地集成运用于整个地面交通管理系统而建立的一种在大范围内、全方位发挥作用的,实时、准确、高效的综合交通运输管理系统^[1-3]。智能交通系统是一种新兴的交叉学科,是通信、导航、控制、计算机和空间数据库等学科在交通管理中应用和发展的必然。当前,建立健全畅通、安全、便捷的现代综合运输体系,加快智能型交通的发展是我国社会经济发展的需求,也是我国交通建设的发展方向^[3]。针对中国实际,开展智能交通系统(ITS)的关键技术、关键产品开发和应用示范对提高我国交通管理水平和运输效率、培育新的国民经济增长点都将有着积极的意义。

车辆定位、导航与监控技术是 ITS 的核心内容,是当前需求较为迫切、应用比较广泛的一个重要的应用系统,是实现道路智能化管理的关键技术之一。随着城市现代化建设的迅速发展,城市的交通路网越来越复杂,城市交通的堵塞问题越来越严重,而很多很好的交通道路都得不到合理有效地利用。在这种情况下,基于 GPS 的智能车辆导航系统的研制就成为世界各国在 ITS 领域的研究热点问题。

如上所述,智能车辆导航系统是智能交通系统的重要组成部分,它是把先进的全球卫星定位技术、地理信息技术、数据库技术、多媒体技术、现代通信技术和嵌入式计算机系统综合在一起的高科技系统,能够实时、高效地向驾驶员提供多种重要的信息^[3]。该系统旨在借助数字通讯、车辆定位、计算机网络等现代高科技手段来改善交通状况,合理利用道路交通,充分发挥现有道路交通的潜力,提高通行能力,综合解决交通运输问题。

1.2 课题涉及的相关技术

智能车载导航系统通过将导航定位技术、地理信息系统、通讯技术以及嵌入式计算机技术结合在一起，应用于汽车，为汽车用户提供各种信息，使他们更大程度上清楚自身的状况。通过该系统，驾驶人员可以实时连续地对车辆的位置、速度、方向、行程以及周围的详细地理环境等进行监控和查询；对最优的路径进行选择，可以在陌生的地理环境中准确地选择路线、熟悉周围环境，有效地指导驾驶员正确地驾驶车辆，安全、准确地到达目的地。为了实现上述功能，导航系统结合了多项先进的高科技技术，主要包括定位技术、地理信息系统技术(Geographic Information System, GIS)、嵌入式计算机技术、数据处理技术^[3-4]等。分别介绍如下：

1.2.1 定位技术

导航的目标是要根据车辆当前位置及目的地位置找出一条到达目的地的最佳行车路线，因此车辆位置地确定是导航的前提。常见的定位技术有卫星定位、惯性导航以及组合导航等，其中全球卫星定位技术因其全天候、高效率、多功能等优点，已被广泛应用于车载导航定位。目前，卫星定位领域有美国的 GPS 全球卫星定位系统、俄罗斯的 GLONASS 系统、欧洲的伽利略系统^[4]以及中国的北斗系统，它们的工作原理和应用途径都十分相似。但由于出现较早、技术比较成熟等原因，市场上 GPS 产品占主导地位。

GPS 定位技术的基本原理是以高速运动的卫星瞬间位置作为已知的起算数据，卫星不间断地发送自身的星历参数和时间信息，用户接收到这些信息后，采用空间距离后方交会的方法，计算出接收机的三维位置^[4]。具体来说，假设用户的接收机在某一时刻采用无线测距的方法分别测得了接收机到发射台的距离 d_1 、 d_2 和 d_3 ，如果三个发射台的位置已知，则分别以三个发射台为球心，以对应距离为半径做出三个球面，即可交会出接收机的空间位置。

表 1-1. GPS 误差分类及影响

误差来源		对距离测量的影响(m)
卫星部分	星历误差、卫星钟差、相对论效应	1.5~15
观测相关	电离层、对流层、多径	1.5~15
接收机相关	接收机钟差、位置误差、天线相位中心变化	1.5~5
其他	地球潮汐等	1.0

GPS 定位的结果并非准确无误，相反很多时候是存在较大误差的，误差的来源主要有三个方面，一是卫星相关误差，主要是卫星星历误差、卫星钟差误差和卫星设备延迟

误差等；二是接收机相关误差，主要有测量误差、计算误差和设备延迟误差等等；三是观测相关误差，主要有卫星信号传播中所产生的误差，如对流层传播延迟、电离层传播延迟和多路径效应等误差^[4]，表 1-1 给出了采用标准定位服务(SPS)的 GPS 测量误差来源的分类及各项误差对距离测量的影响。

除了上述误差外，GPS 定位技术因为每次定位都要花费较长时间获取星历数据导致定位速度相对较慢。针对这种情况，我们在项目中研发了一种混合定位技术，该混合定位技术结合了 GPS 定位技术、移动通信系统的小区标识号 (cell-id) 定位技术和无线电定向技术，无论从定位精度和定位速度上比传统 GPS 定位都有了较大地提高，后面的章节会详细介绍。

1.2.2 地理信息系统技术

车载导航系统要为用户提供丰富的地理信息，这就离不开地理信息系统的应用。地理信息系统(GIS)可定义为：“用于采集、存储、管理、处理、检索、分析和表达地理空间数据的计算机系统，是分析和处理海量地理数据的通用技术，是将电子地图和信息管理系统结合，以可视化的方式为用户提供服务”^[5]。

电子地图是地理信息系统的一种，它主要有两方面的作用：一是二维地图的静态显示和动态显示；二是动态环境下空间数据库与专题数据库的交流作用。在车载地理信息系统中，电子地图是关键，它包含了全部的路网信息，是信息的主体，同时也是其他信息的组织平台，它将交通路线及周围环境以视觉甚至是听觉感受的方式传输给用户，是导航系统与用户交流的重要工具^[5]，同时电子地图的精确程度也直接影响着导航结果的准确性。

1.2.3 嵌入式计算机技术

电子计算机技术在当今社会不可或缺，可以说它已经深入到各行各业，每个领域，每个角落。它是电子时代信息处理的核心，无论怎样的解决方案，最终可能都需要一台计算机做为信息的分析者和执行者，去实现人们的逻辑，完成特定的任务。在车载导航系统中，我们需要一台体积较小、能满足导航信息和地理信息处理需要的嵌入式计算机平台。该平台基本应该包括：硬件平台、嵌入式操作系统以及最终软件。整个计算机系统平台具有特定的层次结构，每一层只要符合本层的基本要求，其设计和实现就可以独立进行。

1.2.4 数据处理技术

地理信息系统本身是一个庞大的数据库，包含了大量的地理信息数据。同一般的数

数据库相比,地理信息系统数据库不仅要管理属性数据,还要管理大量图形数据,以描述空间位置分布及其拓扑关系,还要保持属性数据和图形数据之间不可分割的内在关系。此外,地理信息系统中数据库的数据量大,涉及的内容多,这些特点决定了它既要采用常用的关系型数据库管理系统来管理数据,又要采用一些特殊的技术和手段,来解决空间数据的访问方式、访问效率问题。

1.3 国内外研究现状

现代车辆导航系统得到普及和推广是伴随着美国 GPS 系统的发展而出现的。就目前的情况看,世界范围内车辆导航系统技术最成熟的地方在日本、美国和欧洲,其导航技术的现状代表了本领域研究和应用的发展方向。美国于 60 年代末期进行了电子路径导向系统(ERGS)的试验,之后经过了十多年的停顿,在 80 年代中期由加利福尼亚交通部门研究的 PATHFINDER 系统获得成功。进入 90 年代,美国相继实施了一系列 ITS 领域的研究计划,发展了包括 ATMS(先进的交通管理系统)、ATIS(先进的旅行者信息系统)、AVCS(先进的车辆控制系统)、APTS(先进的公共交通系统)、ARTS(先进的郊区交通系统)、CVOS(商用车辆运行系统)等六大子系统的 ITS 系统。1994 年,使用 GPS 卫星定位技术的车载导航系统“导航之星”在市场上出现。美国对陆地车辆导航系统的发展战略是实现面向二十一世纪的“公路交通智能化”,以便从根本上解决和减轻事故、混杂、低效率、能源浪费等交通中的各种问题^[6]。

日本最早从 1992 年开始大规模应用 GPS 导航系统,从 1996 年开始车辆导航系统进入快速发展时期;1996 年 4 月,日本正式启动 VICS(道路交通信息系统),这是 ITS 迈向实用化的第一步,这个系统处于世界领先水平。在日本,几乎所有的汽车生产厂家都参加了这一高科技角逐,仅近几年投入市场的新系统就有 30 多个,例如日本的宏达、尼桑、本田、马自达、三菱以及松下、先锋、阿尔派、健伍等公司都已开发出自己的车载导航产品,这导致日本有超过 80% 的新车装有车载导航,不仅如此,就连低档车型上也已安装了导航产品,这些导航产品附带覆盖全国的电子地图,内容非常丰富。特有的准 3G 无线通信网络使驾车人可以在车上实现宽带上网^[6],这样日本已经实现了几乎全部城市的道路信息实时发布。

与国外相比,车用导航产品在国内的研究和应用起步较晚,但作为 ITS 基础的城市交通控制系统的开发研究从 70 年代就已开始。目前,在北京、上海等大城市,作为 ITS 的核心设备之一的车载智能导航系统也受到了一些科研部门和企业的关注,现下已有几个单位在研制类似的产品,但普遍存在体积偏大、价格偏高的问题^[6-7]。而国外公司由于难以解决电子地图的兼容性问题以及受我国交通设施与国外的差异所限制,尚无法推出适应中国市场的产品。

1.4 课题来源及论文结构

本课题依托于北京邮电大学宽带网络实验室横向研发课题“AGPS 智能导航定位系统”，项目最终要实现一款满足用户需求的智能车载导航产品，该产品能够根据用户自行设定好的目的地，智能计算出最佳的行车路线，通过全程路名及交通标识语音播报和高精度图形显示，引导驾车者顺利到达目的地，此外在行驶过程中还可以根据需求随时为用户提供诸如车辆位置、当前的路况，周边的餐饮、娱乐设施等多媒体信息。

本论文主要针对该产品的软件开发部分，涉及软件整体框架的设计、部分界面代码的开发、原始地图数据的处理、地图数据结构设计、车辆位置匹配算法的研究及实现、路径规划算法及道路状态判断方面的研究等。论文的各章内容如下：

第二章介绍车载导航系统的概念、系统结构、模块划分、各个模块的功能等，在此基础上给出我们在项目研发过程中自主设计完成的基于 AGPS 技术的混合定位系统。

第三章根据智能导航系统的需求进行整个系统的软件框架设计，模块划分，各个软件模块的功能结构设计等。

第四章介绍课题研究过程中对于导航地图数据的处理，包括地图数据结构设计，地图数据的分块、无缝拼接及存储技术。

第五章针对导航系统中用到的地图匹配算法，提出了一种满足我们项目需要的算术与几何相结合的算法模型，给出算法的实现思路和测试结果。

第六章简单介绍与项目相关的路径规划算法及道路状态判断算法的研究及在课题中的应用情况，对整篇论文的工作进行总结并对未来工作予以展望。

第二章 智能车载导航系统概述

2.1 系统原理

正如引言中提到的那样，一个完善的车载导航系统通过将导航定位技术、地理信息系统、通讯技术结合在一起，为汽车用户提供导航、地理信息及其他的服务^[7]，图 2-1 是一个简单的导航系统示意图。

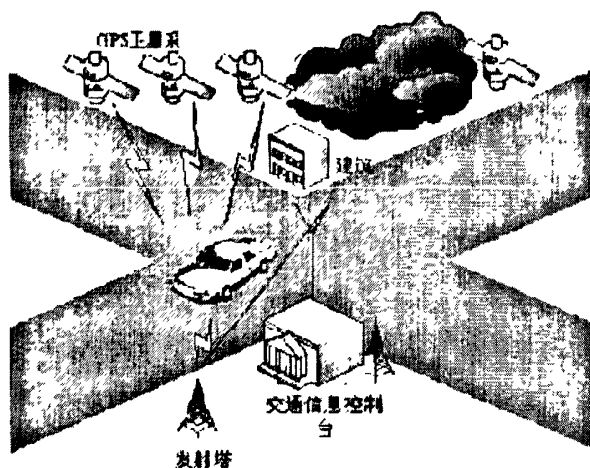


图 2-1 导航系统示意图

概括地说，导航系统的工作原理就是首先通过定位模块获得车辆当前位置的经纬度坐标；地图信息数据库中存储了所有地理位置坐标及完整的地区路网信息，将当前车辆位置坐标和目的地坐标输入数据库中就可以得到当前点和目的地实际的地理位置，然后根据城市路网的结构在数据库中搜索当前位置点到目的地位置的可行的行车路线作为候选路段，之后综合考虑交通部门实时的路况信息对候选路段做进一步筛选，剔除掉那些理论上可行，但实际路况较差，拥堵严重或道路收费较多的路段，最终给用户一条最合理的路线。

除了帮助驾驶员选路外，导航系统还可以根据当前车辆所处的位置为行车者提供周边的一些餐饮、娱乐、交通、资讯等等信息，给人们的出行带来更多便利。

2.2 系统模块划分

智能导航系统的出现方便了人们的生活，使人一车一路统一起来，在解决现代交通问题上发挥着巨大的作用，常见的车辆导航系统框架如图 2-2 所示：

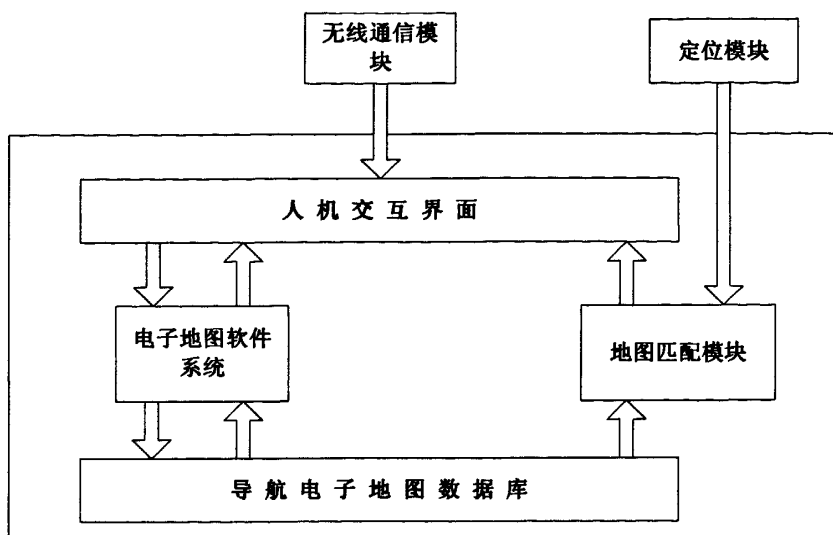


图 2-2 车辆导航系统框图

上图 2-2 中的智能车载导航系统由电子地图数据库、电子地图软件、地图匹配模块、定位模块、无线通信模块及人机交互界面 6 个主要功能模块组成。

- ◆ 电子地图数据库是现代车辆导航系统中必不可少的组成部分,它包含了以预定格式存储的数字化导航地图,可以为系统提供诸如地理特征、道路位置及坐标、交通规则、基础设施建设等多种重要信息,是整个导航系统的基础。
- ◆ 电子地图软件是操作和查询电子地图数据库的接口,提供电子地图的显示、浏览、动态刷新、缩放等功能以及相关信息的检索和查询服务。
- ◆ 定位模块功能是提供实时、连续的车辆位置估计,以经纬度坐标形式给出车辆位置。
- ◆ 地图匹配模块将定位输出的位置估计与地图数据库提供的道路位置信息进行比较,并通过适当的模式匹配和识别过程确定车辆当前的行驶路段以及在路段中的准确位置,如果数字地图具有较高的位置坐标精度,这一技术将很大程度上减小定位模块所引入的车辆位置误差。
- ◆ 无线通信模块能够进一步增强车载导航系统的功能,通过无线网络,车辆和使用者及交通管理信息系统能够交换实时的路况信息,使车辆系统和公路网工作更加安全有效。此外,通过网络还可以为驾车者提供餐饮娱乐、天气情况等资讯信息。
- ◆ 人机交互界面是用户与系统间的交互接口,用户通过它将地图显示、信息查询、道路规划等操作指令输入系统,系统也通过它将数字地图为背景的用户感兴趣的信息以语音提示、可视图形等多媒体方式返回。

2.3 导航中的定位技术

车载定位是车辆导航系统中最关键的功能,如果不能获得当前车辆的位置信息,就根本谈不上导航。全球定位系统(GPS)是实际常用的定位技术,但如引言中所述,GPS定位存在定位误差大,定位时间长等缺陷,而且在车辆周边环境比较复杂,遮蔽严重的情况下终端甚至收不到卫星信号,从而无法完成定位。在课题研究过程中我们采用的是基于 AGPS 的混合定位技术。该项技术结合了 AGPS 技术、移动 CELL ID 技术及无线电定向技术,能够给出更加精确的车辆位置信息,弥补单一定位技术的诸多缺陷。

2.3.1 AGPS 技术

2.3.1.1 AGPS 概述

AGPS(Assisted Global Positioning System, 网络辅助的全球定位系统)技术是指使用全球卫星定位系统 GPS,并接收来自移动网络的辅助信息进行定位。传统的 GPS 接收机接收 GPS 卫星发出的导航数据,由此计算出接收机的精确位置,整个过程需要几分钟的时间,而 AGPS 技术结合了 GSM/GPRS 与传统卫星定位,接收器直接从移动网络接收辅助定位信息,不必再下载和解码来自 GPS 卫星的导航数据,因此有更多的时间和处理能力来跟踪 GPS 信号,这样能大大降低首次定位时间(TIFF),增加灵敏度,同时又可以大幅减少每次定位所需的能量消耗,实现终端较长的待机时间。

2.3.1.2 AGPS 工作原理

AGPS 系统由 GPS 定位卫星、全球卫星定位系统参考网络、AGPS 服务器、移动通信网络及 AGPS 终端组成^[9]。如下图 2-3 所示:

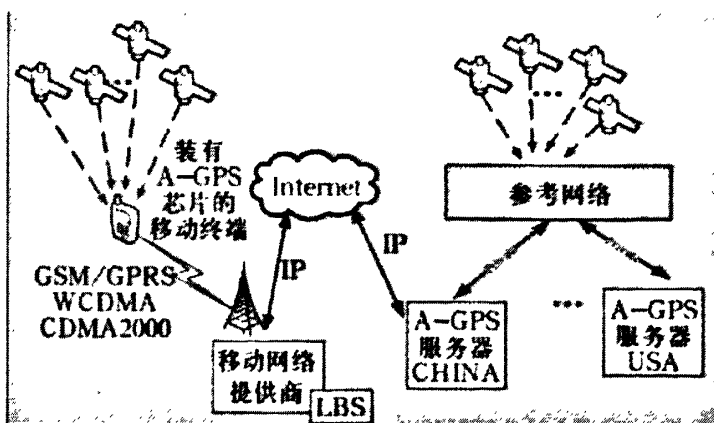


图 2-3 AGPS 系统框图

全球定位系统参考网络在全球建有多个观测站,负责全天候监测并记录覆盖区域上

空所有 GPS 卫星的星历数据、多普勒频移等定位所需信息。此参考网络与 AGPS 定位服务器通过私有协议相连，AGPS 服务器定期发出请求从参考网络动态刷新存储的 GPS 卫星数据库；当终端需要定位时，通过移动通信网络向 AGPS 服务器通报其大概位置，服务器再通过移动通信网络向 AGPS 终端提供辅助信息，如用于计算 AGPS 终端位置的辅助信息和用于测量 GPS 伪距的辅助信息。利用这些信息，终端可以很快捕获卫星并接收到测量信息，由此计算出 AGPS 终端当前所处的位置(终端辅助定位模式)或交由服务器计算位置(网络辅助定位模式)。这样，就可以将首次定位时间(TIFF)大大缩减到几秒钟。同时，由于 AGPS 终端的灵敏度与首次定位时间 TIFF 以及需要搜寻的码域范围段的数量相关，而使用 AGPS 技术后终端所需要搜索的码域范围减少了，可以在某一个码域驻留更长的时间，这样就增加了 AGPS 终端的灵敏度。

2.3.2 小区标识号 (Cell-ID) 定位技术

该技术是根据移动台所处的蜂窝小区标识号来确定用户的位置。因为蜂窝小区的半径从几百米到几公里不等，而基于网络的小区标识号 Cell-ID 定位技术的定位精度正取决于此，所以与其他技术相比，其定位精度是比较低的。

2.3.3 无线电定向技术

AGPS 定位技术的出现弥补了全球定位系统的诸多缺陷，但目前仍无法解决室内定位的问题，当定位系统搜索到 0 颗卫星时，只能实现对目标位置的预估，精度在 500m-1500m 之间。为了克服此类情况，我们在课题研究过程中独立开发了无线电定向子模块，当终端的大致位置确定后使用无线电定向模块可以使定位范围进一步缩小，达到精确定位的目的。

2.3.3.1 定向系统框图

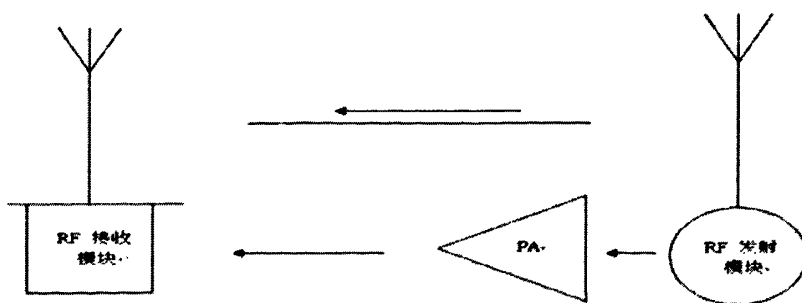


图 2-4 无线电定向系统框图

无线电定向系统主要是依靠无线射频信号的发射和接收来传递终端信息，系统包括了发射模块、接收模块及必要的功率放大模块，大致的框架如图 2-4 所示。

图 2-4 中发射模块负责提供终端的特定标识信息并能够将此标识信息以一定的调制方式调制到射频频段。放大后的射频信号经天线系统发射到空间中，此处的标识信息数据格式和数据位数具有终端唯一性和可扩展性。实际中，发射模块将工作在广播模式，因此其天线系统应具有全向特性且应有较高的增益；接收端天线系统工作在定向模式且主瓣宽度较窄，增益较高。天线系统接收到的射频信号首先被输入到一个同样支持多种调制方式的接收芯片中进行解调，得到其中的终端标识信息，此信息连同天线处得到的终端方位信息一并送入处理单元中，根据标识来确定终端身份，与基准方向对比以确定终端的方向。本人在进入项目组初期一直参与无线电定向系统的研究与开发工作，主要负责系统的流程设计，芯片选择，硬件调试等。

2.3.3.2 定向系统工作流程

整个无线电定向系统的工作流程如下图 2-5 所示：

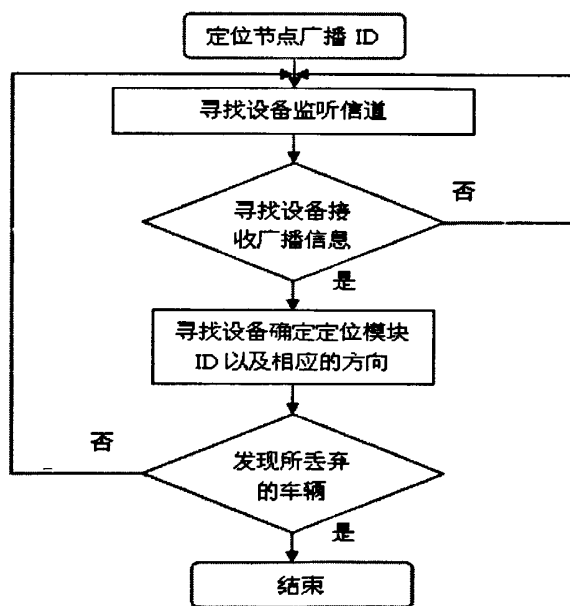


图 2-5 无线电定向系统流程图

在定位终端中我们采用类似于美国模拟器件公司生产的 ADF7012 芯片作为发射模块，定位终端的标识号 ID 被输入到芯片中。系统一旦启动，该芯片会按照一定的周期、固定的功率广播所属终端的标识号 ID。寻找人员的移动设备一旦进入芯片所发射的射频信号的覆盖区域，就会不断地监听所有的无线信道，当收到定向模块发出的信号之后即可通过解调来确定其标识号 ID，通过定向天线来确定发射源的方向，进而完成搜索工作。

2.3.4 混合定位系统

上面各种确定终端位置的方式各有不同的应用场景，我们在项目中为了达到较好的定位效果，综合采用了三种技术。首先在卫星信号较好的情况下，使用 AGPS 定位技术，即可以得到比较满意的结果，而且比 GPS 系统定位时间短、精度高；当车辆处于遮蔽严重，卫星信号很差的环境中时，使用小区标识号(Cell-ID)技术，通过蜂窝小区的标识号 ID 可以确定终端的大概方位；除此之外，还可以在导航模块中植入无线电定向子模块，一旦被导航车辆出现丢失被盗的情况，使用无线电定向模块可以在上述两种定位的基础上进一步缩小寻找范围，精确确定终端车辆的位置。混合定位的采用无疑提高了导航系统的精确度和导航效率，增加了导航产品的市场竞争力。

第三章 系统软件架构设计

3.1 系统需求

整个项目的开发目标是要实现一款满足市场需求、具有一定市场竞争力的车载导航产品。该产品最终要面向广大客户，期望能够实现的功能大致归纳如下：

- 实现地图界面的浏览，能够建立与混合定位模块的连接并根据其提供的终端位置信息在地图上显示及动态更新车辆的位置。
- 目标查询功能。能够接收用户的查询请求并能快速完成数据检索得出查询结果，在查询模式上可以为用户提供诸如模糊查询、分类查询、经纬度查询、电话查询、地址查询、特色查询等多种查询方式。
- 资讯管理。能够保存并可方便地更新用户感兴趣的各种生活资讯信息
- 用户信息的定义与管理。保存用户感兴趣的信息点，方便用户下次导航时直接选择；记录导航过程中的行驶轨迹，方便下次导航时根据轨迹进行导航。
- 提供全国范围内的路径规划。提供推荐路线、多走高速、少走高速、最短路径等规划方式。
- 导航过程中的语音提示，包括关键路口提示、超速提示、资讯播报等，当驾驶者选好出发点和目的地后提供模拟驾驶功能，在电子地图上以动画的方式模拟车辆行驶过程，方便用户了解整条路线的转向情况。
- 人机交互界面地设计在实现上述主要功能操作的基础上要尽量简捷、美观，适应不同的用户人群，使用专业的美工技术进行相关图片的制作。
- 软件系统在 PC 硬件平台下借助 EVC(嵌入式 VC)环境进行开发，最终运行在嵌入式设备上，因此要自己定制 WinCE 系统并将软件成功移植到 WinCE 嵌入式操作系统上正常运行。
- 系统要有良好的跨平台可移植性，无论在何种软硬件平台上部署，都能够做到稳定运行，满足用户长时间的应用需求。

3.2 需求分析及软件架构设计

通过对 3.1 部分系统功能地分析可以知道，我们开发的智能导航系统最终要能够根据用户自行设定好的目的地，智能计算出最佳的行车路线，通过全程路名及交通标识语音播报和高精度图形显示，引导驾车者顺利到达目的地，此外在行驶过程中还可以根据

需求随时为用户提供形象的多媒体信息，如车辆位置、当前的路况，周边的餐饮、娱乐等等；同时为了适应当前导航终端软硬件平台繁多的现状，要充分考虑软件的移植问题，提高产品竞争力。

在此基础上，设计过程中参考市场同类产品将整个系统的软件架构分成数据引擎、平台层、基础层、核心层和界面层几部分，软件的框架如图 3-1 所示：

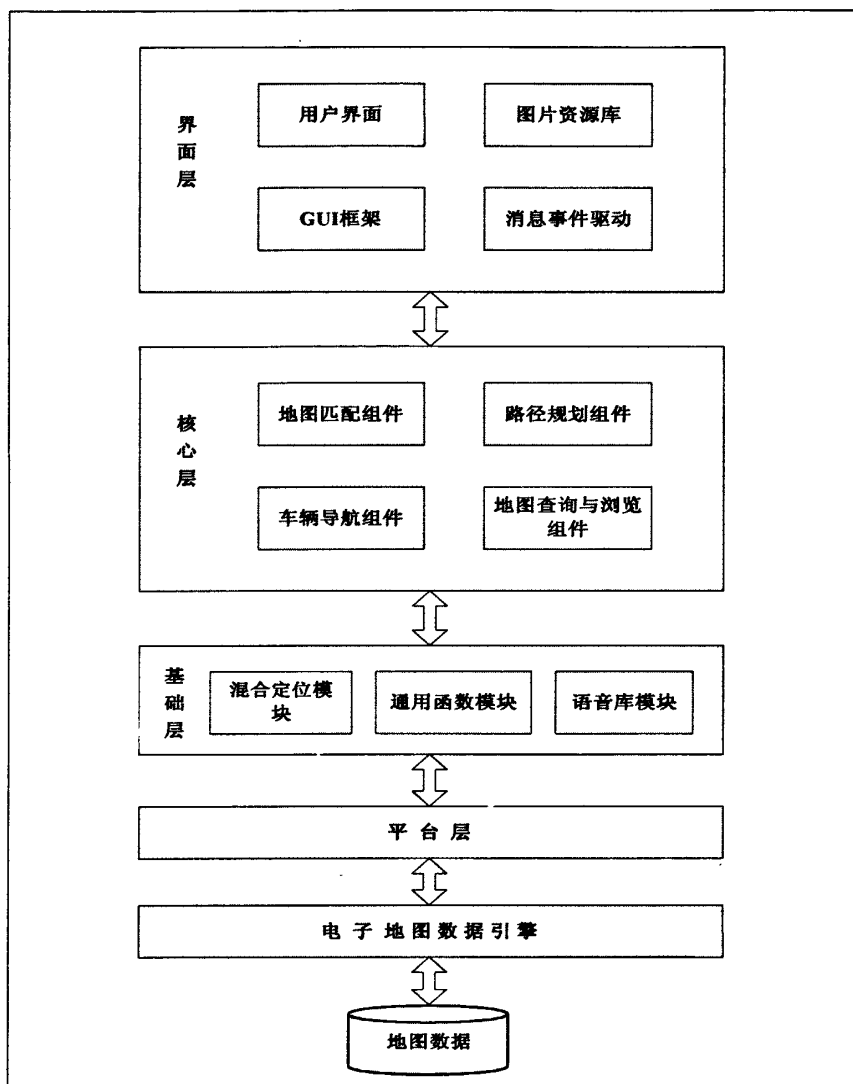


图 3-1 系统软件架构图

上面框图 3-1 中的地图数据需要向第三方企业购买并需要不断更新以适应路网的变化；地图数据引擎进行地图数据的读写操作，为上层提供数据操作的通用方法，需要设计高效的数据查询检索方式，提高查询速度，同时还要能够添加对用户有价值的相关资讯信息；平台层处理与平台相关系统功能地实现，隔离各个硬件平台之间的差异部分，便于系统的移植，系统其它部分的功能独立于平台层进行开发；基础层提供基本的函数操作、A-GPS 混合定位模块的处理和实现、语音播报的语音库功能等；核心层完成导航中四部分主要组件地实现，分别为地图匹配组件、路径规划组件、车辆导航组件和地图

查询与浏览组件,其中地图匹配及路径规划部分需要基于算法组提供的各种算法模型进行程序设计;界面层将会提供独立的界面开发引擎机制,不使用微软的 MFC(Microsoft Foundation Classes)架构,考虑建立自己的图形用户界面(Graphical User Interface, GUI)资源库,从而节省内存空间、提高界面的开发和运行效率。

3.3 具体实现

3.3.1 开发工具及平台

考虑到最终系统的可移植性及导航系统对于处理速度的要求,我们整个系统的开发语言选用微软的嵌入式 C++(Embedded VC++, EVC),而且完全使用 Windows API(Application Programming Interface)和面向对象技术,根据系统需求定制自己的类 MFC 库,避免了使用标准库带来的系统负担;同时嵌入式目标系统同样选择微软的 Window CE 嵌入式操作系统,以便与开发语言有更好地支持及融合,最大限度地提高系统效率。

3.3.2 开发模式

根据 3.2 节所示的软件框架图,项目过程中采用各层独立开发的工作模式。不同的小组负责不同的软件层次,每一层在开发过程中留下必要的接口与相邻层之间进行衔接,每层功能完成后首先针对本层的功能进行单元测试,确保满足了所有要求;同时要根据需求使用 Platform Builder 完成 WinCE 嵌入式系统地定制,减少系统负荷,仅保留我们需要的系统资源。之后等所有层的功能都完成后将代码移植到定制好的嵌入式系统上完成各种系统层面的测试工作。

3.3.3 界面层开发

导航产品与用户交互靠的是图形界面,一个设计良好的图形界面对于提升产品的市场竞争力无疑有很大作用。导航过程中的各种信息,如道路方向、建筑物类型、功能按钮、信息提示等都需要通过图片呈现给用户,这些图片都是使用专门的美工技术从用户体验的角度出发精心设计的,示例如图 3-2:

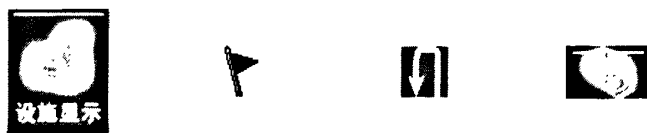


图 3-2 导航产品图片示例

整个导航产品用到的此类图片大概有 500 来张,如果系统每次运行时都要加载这些

文件，势必影响系统运行速度，也不容易向客户发布。为此，我在课题研究中对相关技术进行研究将所有用到的图片资源都转化成了数据的形式存储在一个图片库中，同时针对每张图片的位置及大小格式信息建立索引，系统需要调用哪张图片时只需从库中提取出相应的数据信息，再根据这些信息转化成可视的图片即可。

建立图片库首先要将每张图片转化成数据的形式，为此设计图片数据结构如下：

```
Struct REC_DIB_IDX
{
    ULONG  ulID;
    UINT   ubWidth;
    UINT   ubHeight;
    ULONG  ulDBAddress;
    ULONG  ulDBMemorySize;
}
```

其中第一项 `ulID` 表示图片的编号；第二项 `ubWidth` 和第三项 `ubHeight` 分别表示图片的宽度和高度；第四项 `ulDBAddress` 表示图片库中存储当前图片的数据区的开始位置；最后一项 `ulDBMemorySize` 表示当前图片在库中的数据区大小。

上面介绍了针对每张图片资源的数据结构设计，所有的图片数据存储在一个资源库文件中，该库文件的结构设计如图 3-3 所示：

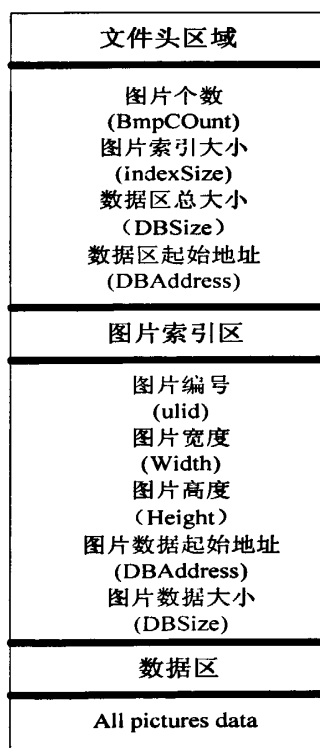


图 3-3 图片库结构图

结构中包含了三方面的内容，分别为文件头区、索引区和图片数据区，其中文件头区包含了所有图片的概要信息，包括图片个数、索引大小、数据区大小、数据区地址等，通

过文件头可以找到对应的图片索引进而获取图片数据；索引区存储了所有图片的索引信息，信息格式如结构 REC_DIB_IDX 所示；最后的数据区存储的是实际的图片数据，通过这些数据就可以还原出图片的可视形式。

根据上述设计思路，我们在开发过程中使用微软的 C++ 语言编程实现了一个图片库的生成和解析工具，该工具界面如图 3-4：

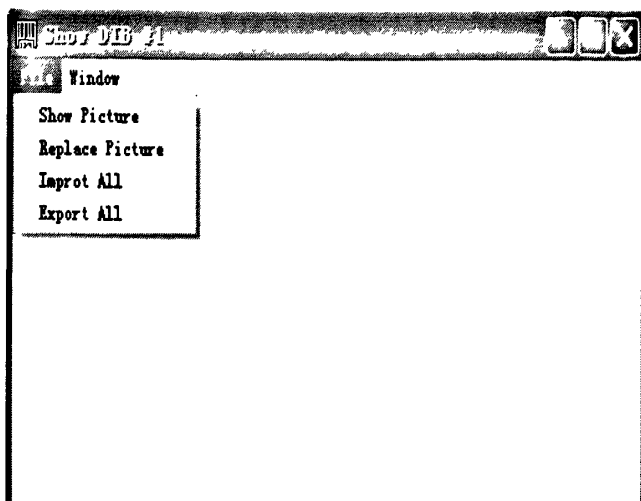


图 3-4 图片库解析工具

使用此工具，用户可以显示图片库中的任何一张图片，可以替换任何一张图片，将库中图片全部导出到一个目录，或者将目录下的所有文件导入成为一个库文件。这种图片库的处理方式大大节省了产品用户界面(User Interface)资源的存储空间，提高了产品界面部分的开发和运行效率，对于项目的开发起到了积极地推动作用。

第四章 电子地图数据处理

车辆导航过程中的电子地图数据是决定车辆位置判断准确与否，快慢与否的关键。本章我们着重介绍电子地图相关知识以及项目中我们针对电子地图所进行的各种处理工作。

4.1 电子地图概念

近年来，随着计算机技术、激光技术和微电子技术的广泛应用，地图传统的表现和记录方式逐渐失去了它原有的垄断地位。随着信息社会的到来，信息作为社会资源的一部分，越来越受到人们的重视。信息网络将在未来成为整个社会的命脉，而作为空间和时间信息表达、传输工具的地图，又以新的表现形式——电子地图面对着信息社会及社会经济发展需求地挑战^[10]。

八十年代中期，随着数字地图及地理信息系统(GIS)技术的应用，计算机视觉化研究的深入，数字地图开始侧重空间信息地表现与显示，电子地图由此而产生。它主要应用于政府宏观管理、科学研究、规划、预测、信息服务等领域。另外，它与全球定位系统(GPS)相连，在军事领域，航天、航空领域以至汽车导航中的应用也十分广泛。目前国际上较有影响的电子地图有美国世界影像电子地图集、加拿大国家电子地图集^[10-11]。在美国、英国、日本等国用于政府高层宏观决策与信息服务的电子屏幕显示系统中均有大量的电子地图。众多的 GIS 应用成果也大都以电子地图的形式展现。我国在这方面的研究与应用起步较晚，但发展迅速，已经取得了一定的成绩。

4.1.1 电子地图的特点

电子地图与纸介质地图相比，最显著的特征是数据存储和数据显示相分离，在视觉感受方面，电子地图是活动的、交互式的，并可以用多种媒体的形式进行表达而纸质地图信息固定，表现方式单一，更多的需要依靠人力进行信息地提取。概括起来，电子地图大致有如下几方面的特点。

- 现势性，电子地图显示最新的事实，更新容易。地理现象和各种专题信息的变化可以真实、迅速地反映在电子地图上。
- 动态性，电子地图可以实时、动态地表现空间信息。地理现象在时间维上的发展变化可以进行动态反映，静态现象可以通过闪烁、渐变、动画等手段进行动态反映，增强了读图的趣味性。

- ▶ 交互性，电子地图强调信息的交互性获取和显示。用户使用电子地图，可以对数据的输入、编辑、显示等进行操作，将制图过程和用图过程融为一体。
- ▶ 超媒体性，电子地图可以应用超媒体技术实现图、文、声互补。用户可以通过使用用户界面输入、产生、操作和输出文字、图像、声音和视频等信息，获取信息的方式更加迅速、直观、生动。

4.1.2 电子地图的分类

电子地图是以地图数据库为基础，以数字形式存储于计算机外存储器上，并能在电子屏幕上实时显示的可视化地图，又称“屏幕地图”或“瞬时地图”。依据其存储介质的不同又可称为“磁盘地图”或“光盘地图”^[11]。

地图数据库所储存和处理的信息分为两大类：空间数据和非空间数据。根据数据的几何特征，空间数据可以分为图形数据和栅格数据。图形数据是用点、线、面等地理原形来描述空间对象，从而表示出空间对象之间的拓扑关系；图像栅格是用像素来描述空间对象像素的灰度值和合颜色值，便于人眼对空间对象的识别。非空间数据一般指属性数据，经过概念的抽象、通过分类、命名、量算、统计得到，具体分为定性和定量两种。定性包括名称、类型、特性等，定量包括数量和级别等。任何地理对象实体都包含属性数据。

不同的存储结构决定了电子地图的生成方式和读取方式不同，按照空间数据的存储结构分，电子地图分为两种：一种是位图形式；一种是矢量形式。

4.1.2.1 位图电子地图

以位图文件的方式存储的电子地图称为位图电子地图，它是通过对地图册进行扫描或电荷耦合器(CCD)成像后直接生成的，不仅与地图册的图形有一一对应关系，而且可以保留原地图册上的丰富色彩。这种电子地图读取、显示程序简单，缩放基本自如，但是需要很大的存储空间。一般，一张 1 平方米的地图将生成上百兆字节的位图文件；另外，其读取显示时间比较长。这种格式的地图一般适用于 GPS 监控调度系统中，因为系统的监控中心站通常设在室内，可以配置高性能的计算机甚至工作站^[11]，并可以使用大屏幕显示器或投影仪以减少换屏和缩放次数。

这种位图电子地图的最大缺点在于缺乏良好的地图修正和删补功能，它只能保证与地图册的对应精度，却不具有与地图上的标准经纬度点的对应关系。这样，城区、街道、建筑物等的变化不易于在位图上直接删补，只能通过使用局部位图文件替换需修正的部位来完成删补。但这样会产生地图在拼接上的误差，从而失去整幅地图的完整性，并且工作量也随之加大。

4.1.2.2 矢量电子地图

矢量电子地图地生成一般是通过数字化仪将地图册上有用的信息，如街道、建筑等或海图上的岛屿、焦石和灯塔等，以线或点的方式输入到计算机，同时加入适量的标准经纬度点，用于进行定点修正。这些工作大部分可以由手工完成。现已有一些矢量电子地图生成工具包，它是对地图册的扫描或 CCD 成像文件进行图像处理，包括锐化线条、去除干扰线段，提取色彩等复杂的综合处理，最终生成矢量电子地图。

矢量电子地图的数据主要是相对于某点的偏移量数据。因此，它的数据占用空间小，并且与地图册上的点有经纬度上的对应关系、易于修正和删补；同时，能在图上准确地显示图标。当然它也存在不足，比如一旦你想要使电子地图显示出丰富的色彩，便需要大量的软件编程工作。

这种矢量电子地图非常适用于 GPS 应用的单机系统中，如车载 GPS、地图指示器和船用 GPS 导航定位海图仪等。

4.1.3 项目中的电子地图

在车载导航系统中，电子地图的基本功能是用来显示车辆的位置，帮助用户判断自己周围的环境。而系统中车辆的位置信息是通过 GPS 卫星来得到的经纬度坐标表示的，要实现经纬度坐标在电子地图上的定位，电子地图的每一点必须能够解算其经纬度，这就要求电子地图本身基于确定的地图投影和坐标系统^[11]。通过 4.1.2 节的介绍可以知道，这方面栅格地图和矢量地图都可以实现，但是由于矢量电子地图本身存储的就是地图要素的几何位置信息，其位置信息基于严密的坐标系统，而栅格电子地图更侧重于地图要素形状色彩的描述，因此，在矢量电子地图上实现车辆的定位比较方便、准确。

本课题中使用的电子地图是从第三方公司购买的数字化矢量地图，可以提供 1:100 万、1:25 万及 1:1 万三个层次的数据，分别记为 LVL_2、LVL_1 和 LVL_0，投影方式为高斯投影。实际开发中需要在原始地图数据的基础上根据自己的需求设计数据结构及组织、存储方式。

4.2 电子地图数据结构设计

如第 4.1.2 节所述，导航中用到的电子地图数据分为空间电子地图数据和属性数据两种，它们在实际中的用途不同，下面小节会分别介绍项目中针对两种不同类数据的设计。

4.2.1 地图比例尺及分幅

国家基本比例尺地形图有 1:5000、1:1 万、1:2.5 万、1:5 万、1:10 万、1:25 万、1:50 万和 1:100 万八种，普通地图通常按比例尺分为大、中、小三种：一般把 1:10 万和更大比例尺的地图称为大比例尺地图；1:10 万至 1:100 万的称为中比例尺地图；小于 1:100 万的称为小比例尺地图^[12]。

我国基本比例尺地形图分幅与编号，以 1:100 万地形图为基础，按规定的经差和纬差划分图幅。

1:100 万采用国际 1:1000000 地图分幅标准。每幅 1:1000000 地形图范围是经差 6° ，纬差 4° ；纬度 66° 至 76° 之间经差 12° ，纬差 4° ；纬度 76° 至 88° 之间经差 24° ，纬差 4° （中国版图的纬度范围在 66° 以下，因此没有需要合幅的图幅）。

1:1000000 地图编号采用国际 1:1000000 地图编号标准。从赤道算起，每纬差 4° 为一行，至 88° ，南北半球各分为 22 横列，依次编号 A、B、... V；由经度 180° 西向东每 6° 一列，全球 60 列，以 1-60 表示，如海南所在 1:100 万图在第 5 行，第 49 列，其编号为 E49；北京为 J50。以 1:100 万图幅为基础，其他比例尺下的图幅划分如下所示：

- 1) 每幅 1:100 万地形图划分为 2 行 2 列，按经差 3° 纬差 2° 分成四幅 1:50 万地形图
- 2) 每幅 1:100 万地形图划分为 4 行 4 列，按经差 $1^\circ 30'$ 纬差 1° 分成 16 幅 1:25 万地形图
- 3) 每幅 1:100 万地形图划分为 12 行 12 列，按经差 $30'$ 纬差 $20'$ 分成 144 幅 1:10 万地形图
- 4) 每幅 1:100 万地形图划分为 24 行 24 列，按经差 $15'$ 纬差 $10'$ 分成 576 幅 1:5 万地形图
- 5) 每幅 1:100 万地形图划分为 48 行 48 列，按经差 $7' 30''$ 纬差 $5'$ 分成 2304 幅 1:2.5 万地形图
- 6) 每幅 1:100 万地形图划分为 96 行 96 列，按经差 $3' 45''$ 纬差 $2' 30''$ 分成 9216 幅 1:1 万地形图
- 7) 每幅 1:100 万地形图划分为 192 行 192 列，按经差 $1' 52''$ 纬差 $1' 15''$ 分成 36864 幅 1:5000 地形图

4.2.2 空间数据结构设计

空间数据主要描述空间对象的表现形态。记录地图上道路和点信息的空间位置及和位置相关的属性值。如第 4.1.3 节所述，项目中导航软件用到的地图空间数据是按照不同的比例尺分层存储的。

地图数据中的空间数据分为点空间数据、道路空间数据、线空间数据和面空间数据四个部分，这四种数据在 LVL_0、LVL_1、LVL_2 都存在，其存储的基本单位是图幅(Block, 详见第 4.3 节)，采用数据帧(Frame)的形式，一个数据帧存储某一比例尺下一个 Block 的一种数据。并且在不同的比例尺下的数据也是不同的，下面分别介绍。

4.2.2.1 点空间数据

点空间数据记录的是在一定比例尺下点地理要素的相关信息，它在三个比例尺下都存在，在软件中我们用 REC_POINT_SD 结构来存储点要素的空间数据，其具体定义如下：

```
struct REC_POINT_SD
{
    UINT uiID;
    UBYTE ubClass;
    CHAR acName[24];
    UINT uiX;
    UINT uiY;
};
```

第一项 uiID 定义的是此点要素在其所在图幅中的记录索引值，可以通过它在一个 Block 帧数据中查找到此点要素的相应数据记录；第二项 ubClass 表示点的显示等级，系统将根据此等级的不同在不同的比例尺下显示详细程度不同的点的信息，比如在等级较低情况下一所学校在图上可能只是一个单独的点，随着等级的升高，学校内部的其他建筑设施则会依次显示；第三项表示点的名称；第四第五项分别为该点要素对应的经纬度坐标，实际实现过程中为了方便程序存储与运算，可以将此坐标转化为对应的整数坐标的形式。

4.2.2.2 道路空间数据

软件设计过程中我们会将一条完整的道路分成很多小段，称为线片段(Link Segment)，道路空间数据中存储的实际就是道路线片段的相关空间信息数据，它在 LVL_0、LVL_1 和 LVL_2 三个比例尺下都存在，同时在不同的比例尺下其存储的数据也有不同。

LVL_2: 由 1:100 万拓扑道路网组成。主要包含道路：城市快速路、高速公路、国道等等；

LVL_1: 由 1:25 万拓扑道路网组成。主要包含道路：城市快速路、城市主干道、城市次干道、高速公路、国道、省道等；

LVL_0: 由原始拓扑道路网(即所有道路)组成。

在道路空间数据中，每一个道路线片段的数据用一个叫做 REC_LINK_SD 的结构存储，其具体定义如下：

```

struct REC_LINK_SD
{
    UINT    uiID;
    UBYTE   ubClass;
    UINT    uiPreLnkID;
    UINT    uiNextLnkID;
    CHAR    acName[12];
    CHAR    stTypeID;
    UINT    uiMinX;
    UINT    uiMinY;
    UINT    uiMaxX;
    UINT    uiMaxY;
    REC_FRAME_VARI_REC_HEADER    stVariAddrLnElemnts;
};

```

第一项 uiID 存储的是线片段在所处 Block(图幅)中的编号；第二项 ubClass 表示道路的显示等级，根据不同的比例尺有不同的显示详细程度；第三项和第四项分别表示同一条道路上，当前路段的前一段和后一段的 ID；第五项 acName 表示当前路段所属道路的名称；第六项 stTypeID 存储的是线片段的类型，此类型根据线片段所属道路类型的不同而不同；接下来的四项表示线片段外接矩形的坐标，亦即线片段两个端点的坐标，此处以经纬度坐标的整数形式存储；最后一项所指向地址存储了组成该道路片段的所有点要素的信息。

4.2.2.3 线空间数据

线空间数据与道路数据的形式类似，它存储的是和背景显示相关的数据，如一些面区域的边界线，行政区的边界线等。项目中我们用 REC_LINE_SD 来描述线空间数据，它的定义如下：

```

struct REC_SHOW_LINE_SD
{
    UINT2    uiID;
    UBYTE1   ubClass;
    CHAR2    acName[12];
    REC_FEATURE_TYPE_ID stTypeID;
    UINT2    uiMinX;
    UINT2    uiMinY;
    UINT2    uiMaxX;
    UINT2    uiMaxY;
    REC_FRAME_VARI_REC_HEADER    stVariAddrPntLst;
};

```

上述结构中大部分项与 4.2.2.2 节中的道路数据结构类似，这里仅介绍一下第四项 REC_FEATURE_TYPE_ID，该项表示除了公路、铁路等之外不属于道路边的线的对象标识值。

4.2.2.4 面空间数据

面空间数据主要描述的是一些面状的地理要素的空间数据，同样在三个不同的比例尺下都存在，只是在不同的比例尺下显示的数据不同，针对这些数据我们设计了 REC_AREA_SD 结构，其具体定义如下：

```

struct REC_AREA_SD
{
    UINT        uiID;
    CHAR        acName[12];
    UBYTE       ubClass;
    UINT        uiCenterX;
    UINT        uiCenterY;
    UINT        uiMinX;
    UINT        uiMinY;
    UINT        uiMaxX;
    UINT        uiMaxY;
    REC_FRAME_VARI_REC_HEADER stVariAddrLnLst;
};

```

此数据结构的前面几项与上面的点要素和线要素基本相同，在最后一项 stVariAddrLnLst 中存储了组成此面要素的边界的线片断的数量和指向这些线片断的指针，通过它可以获得这些线片断在其所属图幅内的 ID 值，有关这些线片断的空间数据信息可以通过图幅标识（Block ID）的值查找到。

4.2.3 拓扑数据结构设计

拓扑数据是以空间数据为基础，用来描述空间关系的。通过拓扑数据，在导航产品中我们就可以为用户规划出一条合理的行驶路线。具体地说拓扑数据结构以道路空间数据为基础，来描述道路空间关系。同样根据之前提到的地图数据的三个比例尺，拓扑数据也可以分为三层，相邻层之间建立拓扑边的对应关系。根据地图数据提供商的资料显示，每一层拓扑数据都是通过对对应图层的空间数据来制作和生成的。同一图层的空间数据和拓扑数据建立了相互对应关系，即通过空间数据能够找到对应的拓扑数据，通过拓扑数据能够找到对应的空间数据；此外，每层拓扑数据只跟相邻图层的拓扑数据建立对应关系，这种对应关系是通过拓扑边来实现的。Level0 上的多条边组成 Level1 上的一条边，Level1 上的多条边组成 Level2 上的一条边。Level1 上的拓扑数据是通过 Level0

上的拓扑数据抽象合成的；Level2 上的拓扑数据是 Level1 的子集。

拓扑边是拓扑数据之间联系的纽带，不同层之间的拓扑数据要建立对应关系，必须依靠拓扑边实现，设计过程中我们定义了 TP_EDGE_RECORD 结构来描述它的一些特性。

```

struct TP_EDGE_RECORD
{
    UINT    uiEdgeID;
    UBYTE   ubType;
    UBYTE   ubFuncClass;
    REC_REGION_FEATURE_ID stUpLevelEdgeID;
    REC_JUNCTION_POINT    stStartNodePnt;
    REC_JUNCTION_POINT    stEndNodePnt;
    REC_REGION_FEATURE_ID stInterchangeID;
    REC_REGION_FEATURE_ID stLnkID;
};

```

上述结构中，第一和第二项分别表示该拓扑边所在区域内部的标识号 ID 和所属道路的类型；第三项表示道路的功能等级；第四项为该拓扑边所对应的上层边的标识号 ID；第五项、六项分别为开始节点与终止节点坐标；第七项为该边对应的交换点标识号 ID，亦即该边与其他拓扑边相连接处的点；最后一项用来标识与其相对应的道路边的 ID 标识。

通过前面的描述我们已经知道拓扑数据描述的是地理要素之间的空间关系，它主要用来进行路径规划导航的，最终的导航软件应用拓扑数据进行路径规划的大致思路如下所示：

- a) 查找出发点和目的地所在的三层区域号，分别表示为 SR0, SR1, SR2; TR0, TR1, TR2。
- b) 根据出发点和目的地所在的区域号，判断规划需要的拓扑数据。
 - 方法 1、如果 SR0 和 TR0 相同或者相邻，直接在 Level0 上规划
 - 方法 2、不满足条件 1，如果 SR1 和 TR1 相同或者相邻，在 SR0 和 TR0 所在 Level0 的拓扑和 Level1 上的拓扑规划
 - 方法 3、不满足条件 1 和 2，在 SR0 和 TR0 所在 Level0 的拓扑，SR1 和 TR1 所在 Level1 上的拓扑，和 Level2 上的拓扑规划
- c) 根据规划结果，生成导航数据。Level2 上的拓扑边直接对应到 Level1 上的拓扑边，Level1 上的拓扑边直接对应到 Level0 上的拓扑边，最终导航的数据为 Level0 上的拓扑边。整理规划结果过程中，遇到交叉点的地方进行局部规划。

4.3 地图匹配数据的处理

在我们项目研发的智能导航系统中，通过 AGPS 混合定位系统我们可以得到的是目标车辆当前所处位置的经纬度坐标，为了知道车辆的实际地理位置，需要将此坐标信息通过匹配算法与电子地图数据进行比对；此外，处于不断移动中的车辆为了获得其运动轨迹进行导航就需要不断的获取它当前的实际位置，实时性和准确性的要求需要电子地图数据有较好的组织结构及数据检索方式。结构良好的数据配合完善的地图匹配算法才可以得出相对精确的目标位置，从而产生较好的导航效果，关于匹配的问题我们会在下一章中介绍。前面介绍了地图数据结构的设计，接下来阐述我们是如何对原始地图做进一步处理的。

课题研究中，从导航的实时性和准确性出发，我们主要对原始电子地图数据做了分块处理和无缝拼接处理，以下分别阐述。

4.3.1 地图数据分块处理

影响车辆位置判断速度的主要因素是道路网络的规模。以北京为例，整个道路网共有约 13 万条道路，如果每次都基于所有的这些道路进行目标车辆位置的查找，那么就会花费大量的时间，由此得出的匹配结果也会因为延迟过大而变得没有意义。受此启发，我们引入地图分块的思想来提高匹配的实时性。

前面提到过，我国基本比例尺地形图分幅与编号以 1:100 万地形图为基础，每幅 1:100 万地形图范围是经差 6 度，纬差 4 度，也就是说以 6 度的横向跨度和 4 度的纵向跨度将整幅地图划分成了一个 $M \times N$ 的网格，网格的行编号从 1~M，列编号从 1~N。实际处理过程中我们会将每幅这样的 1:100 万地形图从左至右、从上至下进一步网格化均匀分块，假设将其分为 $T \times T$ 的网格，以 $T=10$ 计算即每张 1:100 万图被分成 100 张更小的“原子图”。对于北京市而言，每个这样的“原子图”中所包含道路数量不超过 1000，处理时间在毫秒量级，能够满足快速响应的要求。

我们将上述每张 1:100 万地形图保存为一个数据库表，表名格式为：

$$row_num + col_num \quad \text{式(4-1)}$$

上式中的 row_num 取值为 1,2,.....M, col_num 取值为 1,2,.....N。每张这样的表中设置一个索引字段，字段的值为“原子图”相对于 1:100 万图的行号和列号，假设某个点位于 3 行 4 列则与其对应的索引字段的值为 34。给定一个车辆定位点 $P(x,y)$ 后，首先计算出它所在的 1:100 万图行列号和原子图行列号，以 1:100 万行列号为例，计算公式为：

$$i = \text{abs}(x - \text{BorderLongitude}) / 6 \quad \text{式(4-2)}$$

$$j = \text{abs}(y - \text{BorderLatitude}) / 4 \quad \text{式(4-3)}$$

上式中 i 和 j 分别表示列号和行号， BorderLongitude 和 BorderLatitude 分别为边界的

经度和纬度。根据算出的 1:100 万行列号我们可以找到点 P 所在的数据库表，然后根据“原子图”所在的行号和列号对库表进行检索，即可找到相应的数据记录。前面已经提到，由于引入了数据分块的思想，这种检索的时间变得非常短，一般在毫秒量级，延迟基本可以忽略。

4.3.2 地图无缝拼接处理

上面提出的数据分块思想在很大程度上提高了数据处理速度，但它同时带来的另一问题就是数据缝隙的产生，如下图 4-1 所示：

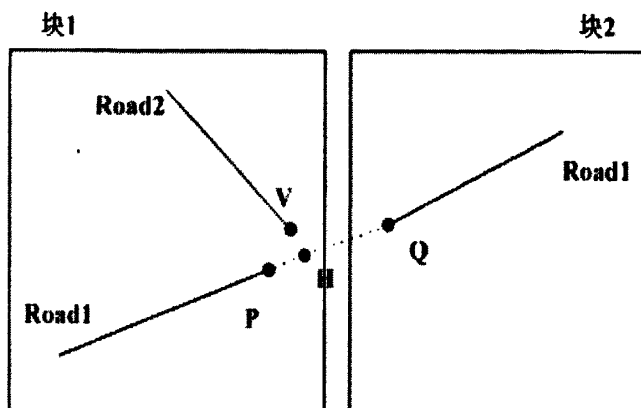


图 4-1 分块导致的地图缝隙

地图数据中的线要素由组成该线的点要素表示，如上图 4-1 所示，原本连续的线要素 Road1 被人为地划分为若干个部分，分别分布于不同的图幅中，从而产生了缝隙。假设 GPS 定位点 H 是 road1 上的 P、Q 之间的点(P 和 Q 为 Road1 上相邻的两个点)，由于 Road1 在这里存在缝隙，原来需要计算的点线投影距离变为计算点点距离，而点 V 距离 H 较近，通过比较点点距离最后会将点 H 错误地匹配到点 V。

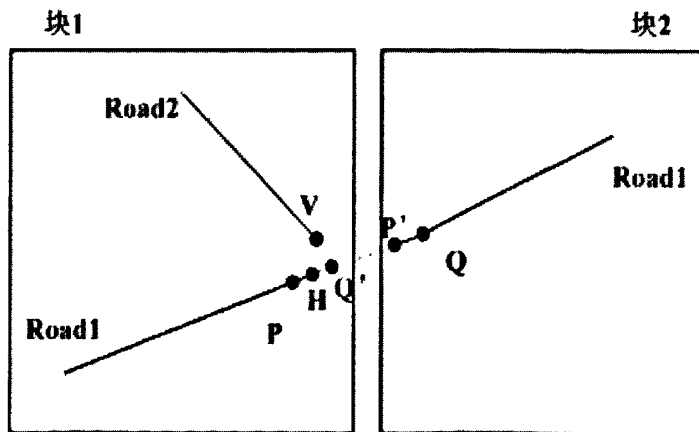


图 4-2 拼接后图形

为了克服上述匹配错误，我们采用“冗余备份”的思想在图幅分块边界处对地理要

素进行无缝拼接。仍以上面的图 1 为例，我们将点 Q 的副本 Q'存于块 1 中，将点 P 的副本 P'存到块 2 中，从而确保 road1 在边界处的连续性，如图 4-2 所示：

这样落到点 P 和 Q 之间的点 H 匹配时直接被投影到 PQ'上，从而得出正确的匹配结果 Road1。无缝拼接算法的伪码实现如下所示：

```
for(地图数据中的每个点要素)
{
    根据点的经纬坐标计算出 1:100 图幅的图幅号；
    //这里的图幅号即 row_num 和 col_num 的组合，它同时也是存储图幅数据的数据库表名
    if(当前点和上一个点属于同一条道路)
    {
        if(当前点与上一个点属于同一个图幅)
            直接存储当前点到图幅文件中；
        else
            将当前点的拷贝存入上一个点所在图幅文件同时将上一个点拷贝存入当前点所在图幅文件；
    }
    else
        直接存储当前点到图幅文件中；
}
```

4.4 小结

对于电子地图的各种处理操作目的主要有两个，一是提高系统软件地图处理的速度，二是提高匹配结果的精确度。如上所述，电子地图数据结构的设计方便了我们的软件代码对于相关数据的调用；地图分块处理使得对于数据的定位更准确，每次处理的地图数据量变小从而提高了处理速度；地图无缝拼接有效地减少了分块所带来的数据偏差，使系统在具备较高处理速度的前提下也同时拥有了很好的精确度。

第五章 地图匹配算法

定位模块得到的车辆坐标信息通过与电子地图数据进行比对才能得出车辆的实际位置。导航系统中, 地图匹配算法是连接地图数据和定位数据的桥梁。匹配算法通常以某个车辆位置点或某段车行轨迹曲线作为待匹配样本, 以该点或该曲线附近的所有道路上的位置点或道路曲线作为模板, 通过待匹配样本或模板间匹配, 选择相似度最高的匹配样本或模板作为匹配结果。

5.1 地图匹配算法的目标

导航中引入地图匹配主要是为了解决两方面的问题: 即在给定定位数据和地图信息的基础上寻找最可能的行车路段, 以及车辆在该路段上最可能的位置。实现这一目标的关键在于匹配算法是否能正确地辨认定位轨迹与车辆实际行驶路线间的相似之处。这种相似在某些情况下是不容易捕捉到的, 比如受定位模块定位误差的影响, 车辆的定位轨迹往往会落在真正的行驶路段之外; 当道路是密集的网络状分布时, 道路之间的间隔很小, 而形状基本相似, 这样匹配算法无法利用独有的道路特征来判断车辆的位置, 增加了匹配决策的难度^[19]。这些因素的影响使定位轨迹与行驶路段间的相似程度明显具有了比较大的不确定性, 给挑选匹配路段带来了直接困难。为获得准确的匹配结果, 必须解决这种不确定性。

电子地图包含有详细的道路网信息, 这些信息不仅可用于显示, 也能够用来改善系统定位精度。如果能够根据定位轨迹和电子地图中的道路网信息确定车辆所行驶的道路和在道路上的准确位置, 则一方面可以满足导航功能的需要, 另一方面还可以利用较高精度的道路信息来修正定位系统的误差, 从而使系统性能得到改善。

5.2 算法应用的前提

地图匹配算法将定位结果与电子地图数据比对来得出实际的车辆位置信息, 同时可以修正定位过程中引入的误差。该算法的应用有三个前提, 分别如下:

- (1) 用于匹配的电子地图必须包含高精度的道路位置坐标;
- (2) 电子地图必须包含完备的用于地图匹配的路网拓扑结构;
- (3) 要求被定位车辆在道路网中行驶。

当上述条件满足时, 就可以把定位数据和车辆运行轨迹同数字化地图所提供的道路位置信息进行比较, 通过适当的匹配方法确定出车辆最可能的行驶路段以及车辆在该路

段中的最可能位置。如果上述假设不成立,则地图匹配将产生错误的位置输出,并导致系统性能的严重下降,一般认为用于匹配的电子地图误差不应超过 $15\text{m}^{[13-15]}$ 。

5.3 匹配结果的影响因素

地图匹配质量的好坏可以从三方面进行衡量,分别是实时性、鲁棒性和匹配精度。一个好的地图匹配算法应该兼有较强的实时性和鲁棒性,以及较高的匹配精度,从而可以满足导航系统的定位要求。

5.3.1 实时性影响因素

实时性是指在规定的时间内必须完成所需的操作,就地图匹配而言就是在规定时间内,使用设计好的算法完成整个匹配流程,最终得出车辆的确切位置。

地图匹配过程主要包括匹配候选路段的确定以及对候选路段的匹配(详见 5.4 节),其中前者是影响算法实时性的主要因素,它在道路网的规模增大时,表现愈发明显。一般来讲,匹配候选路段的确定时间越长,路段匹配越复杂,匹配算法的实时性越差,反之亦然。现有的匹配算法设定的条件不尽相同,但就候选路段的选取而言,我们在第四章中对地图数据做了细致的分块处理,这样每次遍历的路段集合变小,大大提高了实时性效果。

5.3.2 鲁棒性影响因素

鲁棒性是指系统的健壮性,就是系统在各种情况下都能正常工作。地图匹配的鲁棒性是指在现有的道路状况以及卫星信号接收情况下,地图匹配算法能否考虑多种情况,找到满意的匹配路段。鲁棒性主要体现在匹配算法是否有效地处理匹配中出现的各种异常情况,遇到异常时,使得系统能够做出合理的动作,不影响后续的匹配工作。

5.3.3 匹配精度的影响因素

匹配精度衡量的是匹配结果的精确程度,从另一方面来说就是结果误差的大小,亦即匹配得出的道路及车辆位置与真实的位置之间的误差。从匹配过程来看,影响匹配精度的因素主要有:接收机误差、地图数据库误差和坐标变换误差三类。

5.3.3.1 GPS 卫星接收机误差

我们在引言中提到过,GPS 定位技术是存在定位误差的,其中接收机误差就是很大

的一个误差来源。AGPS 技术尽管对 GPS 进行了较多改进，但其核心还是依靠 GPS 卫星的接收数据来完成定位，因此这类误差依然存在。

接收机误差主要包括接收机内部的固定误差和外部的突变误差。接收机内部的固定误差是由卫星接收机内部的固有误差引起的，主要包括：卫星数据误差、数据传输误差、接收机时钟误差、接收机测量误差等。根据目前长时间的定点测量结果，处于正常状态伪码接收机的内部固定误差 95% 都在 20m 以内。但是伪码接收机要求必须同时接收到 3 颗或者 3 颗以上的 $PDOP \leq 6$ 的卫星信号，从而使得接收机方程二维定位有精确解^[16]。在地形复杂的路段，由于高楼、高架桥、高大树木和隧道等地物的阻挡，使得 GPS 接收机对部分卫星失去了锁定，往往会出现较大的偏差，甚至失去信号，对数据接收的连续性造成一定的影响，这部分误差主要由外界的原因引起，所以我们称之为外部突变误差。外部误差一般变化较大，引起的错误也比较明显。在车辆导航系统中，这部分误差主要由地图匹配技术来消除。

5.3.3.2 电子地图数据库的数据质量

由于地图匹配时将定位数据与存储在电子地图数据库中的道路信息进行匹配，因此，地图数据库的数据质量对匹配精度有重大的影响。地图数据库的数据质量包括：数据自身的精度、数据的年龄、地图比例尺以及地图投影等。在上节论述了地图匹配技术的应用前提之一是用于匹配的电子地图要求相对准确，高精度，允许的相对误差范围在 15m 左右。所以，这部分引起的误差是很小的，但是必须考虑到路段复杂的情况、道路变换的情况以及电子地图描述从简的情况，这会相应地加大电子地图数据库的局部误差。在向第三方购买地图数据库的时候要根据自己导航系统的需求，综合考虑成本和精度因素进行选择。

5.3.3.3 坐标变换误差

从 GPS 卫星接收到的数据是基于 WGS-84 地心坐标系，而我国目前的数据采用的平面坐标系是基于北京 54 坐标系和西安 80 坐标系，采用的地球椭球参数不同，因此，必须要对接收到的卫星数据进行空间坐标系的转换。目前一般采用的换算模型有三参数法和七参数法。对于换算方法中参数的确定都有一定的假设前提，参数随着区域不同而有所变化，坐标变化的精度不仅取决于变换模型和求解参数的公共点坐标精度，还和公共点的几何图形结构相关。

上述误差的存在使得车辆行驶轨迹在地图上显示时，会出现偏离道路的情况，甚至出现在水面上或建筑物上；导航系统得不到准确的位置信息，不能进行正常的路径规划和路径引导，甚至失去导航功能。地图匹配技术的引入会消除或减少上述误差，在一定

程度上提高定位系统的精度。

5.4 常见地图匹配算法

5.4.1 投影匹配法

基于投影的地图匹配方式通过垂直距离来衡量匹配的相似度，算法思路简单，实现容易。该匹配方式的一个实例如下图 5-1 所示。

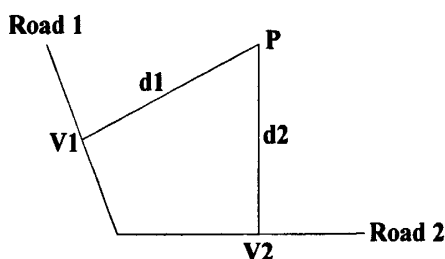


图 5-1 投影地图匹配算法

图中点 P 为待匹配点，Road1 和 Road2 为两条候选道路，算法实现过程中，从点 P 出发到两条候选道路做垂线，垂足分别为 $V1$ 和 $V2$ ， P 到两条道路的垂直距离分别为 $d1$ 和 $d2$ ，比较 $d1$ 和 $d2$ 的长度，选择较小的所对应道路作为最终的匹配结果，认为车辆行驶在该条道路上。这种算法的优点是实现简单，效率很高；局限性也很明显，当 P 点到候选道路的距离相同时，只能随机选择一条道路作为匹配结果，很容易造成误判；而且由于定位误差的随机性，某些时候单靠距离的远近是无法对结果做出正确判断的。

5.4.2 模糊匹配法

模糊匹配法即基于模式识别的一种地图匹配方法，就是以模式识别理论为基础，利用轨迹曲线与道路曲线的相似性，找到车辆所在的道路，从而确定车辆的位置。该算法首先要进行模糊逻辑推理，过程包括模糊化、推理机和去模糊化三个部分。它利用隶属度函数描述与候选路段定义误差模型。实际实现时需要对模糊理论有一定的了解，收集车行信息建立隶属度函数等。该算法用到的定位信息较多，匹配失误率相对较低，但运算量大，实时性差，且理论复杂，这里不做过多介绍。

5.5 地图匹配算法的设计与实现

5.4 节介绍的常见匹配算法或实现简单，精度较差；或性能很好，实现复杂。项目中我们根据定位误差的分布规律对投影匹配法进行了改善，提出了一种兼顾效率和性能

的高效匹配算法，下面将具体介绍。

匹配之前我们假定电子地图数据是准确的，且车辆始终在道路上行驶，在此基础上我们可以将匹配过程分为下面的两个阶段。

5.5.1 匹配候选路段的确定

假设 $P(x,y)$ 为混合定位输出点，首先以 P 为中心，200m (测试得出的经验值) 为半径划定一个范围框，根据此范围框左上角和右下角经纬度坐标确定包含在范围框内的“原子图”，这些“原子图”中所存储的道路即为与 P 相关的候选路段。当 P 处于原子图的边界时，范围框中包含的原子图可能为多个，但由于第四章中对道路网络进行了分块处理，每个原子图的规模很小，即便是处理多个原子图中的候选路段数据，仍然可以保证较高的匹配速度。

5.5.2 对候选路段的匹配

判断车辆当前在哪条路段上行驶的信息主要有 3 个：当前车辆定位点距离候选路段的投影距离；车的当前行驶方向与道路方向间的夹角及候选路段与前一匹配路段的几何拓扑关系。常规的地图匹配算法即基于距离投影的地图匹配算法仅仅考虑候选路段的投影距离，其核心思想是：依次计算待匹配点到各个候选路段的投影距离，比较后取距离最小的路段为匹配路段。前面介绍过，由于存在 GPS 的定位偏差，该方法往往会产生匹配错误，见下图 5-2 示例。

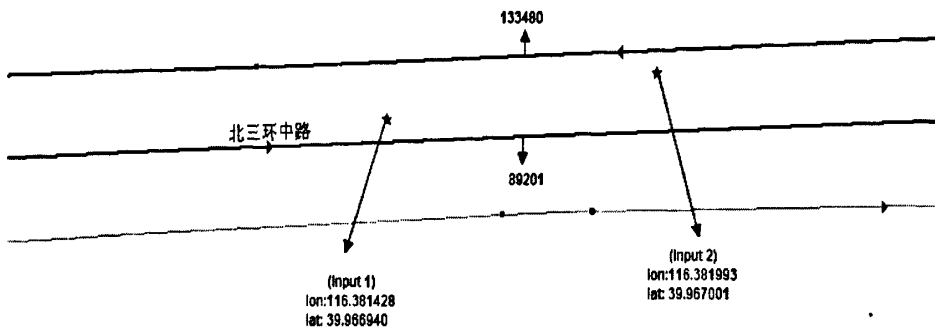


图 5-2 地图匹配错误示例

上图 5-2 中 input2 点为当前 GPS 定位点，input1 为它的前一个 GPS 定位点。对 input2 点仅仅根据投影距离进行匹配的话它显然会落到路 133480 上，但从图上可以看出车辆实际是运行在 89201 上，即产生了匹配错误。

为了克服上述问题，同时也为了尽可能减少计算复杂度，我们提出一种几何与算术相结合的地图匹配算法，即确定匹配路段后首先使用几何方法对路段进行筛选，如果不能得到唯一的匹配结果再使用算术方法，引入匹配度的概念，综合考虑投影距离和车辆

的行驶方向因素，最终得出匹配结果。

假设车辆行驶在道路 l 上，研究表明，所有存在偏差的 GPS 测量点位于 l 同一侧的可能性极小^[17]，基于这样的事实我们引入了几何算法，该算法需要用到定位的历史数据，具体做法是首先做出当前测量点 P 和历史定位点的连线 l_1 ，然后与各个候选路段相比较，凡是与 l_1 相交的候选路段即为匹配路段。

算术方法中我们综合考虑投影距离和方向夹角两个因素引入匹配度的概念，匹配度函数定义为：

$$\eta = \omega_d \bar{d} + \omega_\theta \bar{\theta} \quad \text{式(5-1)}$$

上式中的 \bar{d} 和 $\bar{\theta}$ 分别表示投影距离和行驶方向与道路方向夹角归一化值，由于 GPS 的平均误差 Δ_{GPS} 一般为 10 米至 15 米，角度偏差 Δ_θ 一般为 15° 至 25° ，为了简单起见，这里取投影距离的归一化值为：

$$\bar{d} = 1/(1+d/\Delta_{GPS}) \quad \text{式(5-2)}$$

$$\bar{\theta} = 1/(1+\theta/\Delta_\theta) \quad \text{式(5-3)}$$

式(3)中 ω_d 和 ω_θ 表示距离和方向夹角的权重系数，且满足 $\omega_d + \omega_\theta = 1$ ，当车辆行驶在直道上时可以取 $\omega_d = \omega_\theta = 0.5$ ，当车辆处于拐弯处时，方向夹角对结果的影响更大，可以取 $\omega_d = 0.4$ ， $\omega_\theta = 0.6$ 。

对于每一个候选路段都计算它的匹配度值，然后比较各个匹配度的大小，得到匹配度最大的候选路段即为最终的匹配结果。

目前该匹配算法已经使用 python 语言完成了全部功能的实现。

5.5.3 算法测试

为了对上述提出的算法进行验证，我们做了很多的测试工作。总体上说，测试主要分两部分内容，一是功能测试，这部分主要是针对一些定位过程中可能出现误差的情况，看算法能否消除误差，得到正确的匹配结果。下面将列出两个典型的测试案例。

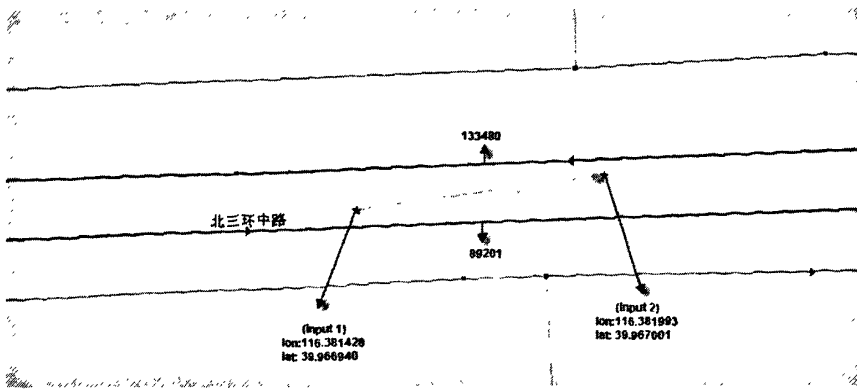


图 5-3 案例(一)

案例(一)中，input2 为当前车辆位置点，input1 为车辆的一个历史轨迹点，仅根据投

影法匹配的话会将 input2 点错误地匹配到道路 133480 上, 但由于算法在匹配过程中加入了方向, 综合考虑方向因素, input1->input2 轨迹方向与路 89201 基本一致, 于是算法得出正确匹配结果为路 89201。

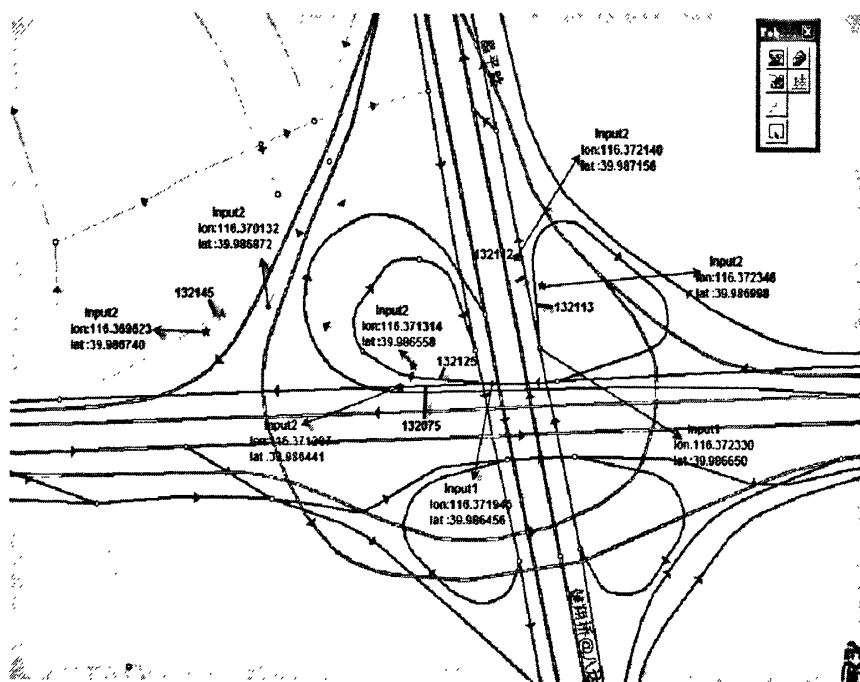


图 5-4 案例(二)

除了对于路况较简单的情况可以给出正确的匹配结果外, 我们也选取了大量路况复杂地段的车辆位置数据进行测试, 如图 5-4 案例(二)所示, 对于图中所示的几组箭头标示的车辆轨迹数据, 算法均能给出正确的匹配结果。

算法测试的第二方面主要是性能方面的测试, 我们的具体做法是将存在数据库中的上千条轨迹数据信息作为匹配算法的输入, 记录程序开始运行到最终得出匹配结果所用的时间, 然后与轨迹数相除, 得出的单点处理时间不超过 0.04ms, 可以满足车辆连续位置匹配请求的需要。

5.6 小结

地图匹配算法地引入是为了将定位结果和电子地图联系起来, 将车辆位置映射到实际的路网结构中去, 它对于导航结果无疑起着至关重要的作用。本章给出的地图匹配算法综合考虑了算法的精确度和复杂度要求, 在保证精确度的前提下大大降低了复杂性, 且实现简单, 具有较好的测试效果, 得出的匹配结果完全可以满足导航系统路径规划的需求。

第六章 其他研究内容及课题总结展望

前面几章的内容我们完成了导航过程中电子地图数据库的建立,有了性能良好的地图匹配算法,可以将定位模块得到的车辆位置信息匹配到相应的道路上。在此基础上为了实现导航,还需要引入路径规划算法,根据车辆当前位置和目的地位置,结合路网的连接特性得出从当前点到达目的地的车行轨迹;此外为了使导航的结果更加合理,项目中我们还需要加入对于当前道路拥堵状况的考虑,增加对于道路状态判断算法的研究,将当前道路状况作为最终选路的一个权值来考虑,使得结果更符合实际。鉴于时间和项目分工原因,本人仅对这两部分内容做了初期的研究工作。本章中对这两种算法做一个大概的介绍,同时对论文做出总结与展望。

6.1 路径规划算法研究

路径规划算法也可以称为最优路径算法,它是车载导航系统的一个关键性问题,目的是按照存储在数据库中的电子地图拓扑信息,实时准确地规划出一条最优路径用于导航,帮助车辆驾驶人员或调度人员在车辆出发地和目的地确定的情况下按照某种策略选定一条最优路径。

6.1.1 路径规划算法原理

路径规划算法以地图匹配算法为基础,是实现导航功能的前提条件。针对实际应用的不同要求,在路径规划中可以采用的优化标准很多,如最短行车距离、最少旅行时间、最低通行收费等。无论采用何种标准,最优路径规划最终都可以归结为在特定道路网中寻找具有最小代价的最短路径问题,即图论中的最短路径问题。

图论是研究与图有关的理论和算法的一门学科,它的应用非常广泛,已渗入到诸如语言学、逻辑学、物理学、计算科学、系统科学等领域。近年来随着计算机技术的飞速发展,图论在数据结构、网络设计等方面的作用正变得越来越显著。智能车辆导航系统的路径规划属于图论中的最短路径问题,为了更好的描述其原理与实现,在本小节我们先就图论中的相关定义予以介绍。

“图”的概念,图论中所研究的图并非指普通意义上的图形,它表示的是定义在顶点集上的二元关系,是一个抽象概念。从计算机科学的观点来看,图是一种数据结构,形式化定义为:

$$G = (V, R) \quad \text{式(6-1)}$$

其中, $V = \{x | x \in data\}$, $R = \{VR\}$, $VR = \{<x, y> | P(x, y) \wedge (x, y \in V)\}$, $P(x, y)$ 表示顶点 x 与 y 之间存在的路径。在图中, 基本的数据元素称为顶点, 上式中 V 是顶点的集合, VR 是两个顶点之间关系的集合。

“无向图与有向图”, 在一个图中, 如果任意两个节点构成的偶对 $(v_i, v_j) \in E$ 是无序的, 即节点之间的连线是没有方向的, 则称该图为无向图; 反之, 若任意两个节点构成的偶对是有序的, 即节点之间的连线是有方向的, 则称该图为有向图, 此时的边为了与无向图进行区分, 通常用弧 A 来表示。有向图与无向图的示例如下:

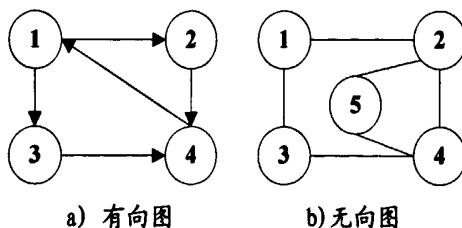


图 6-1 图的示例

“邻接与关联”, 对于无向图, 若有边 $(v_i, v_j) \in E$, 则称 v_i 和 v_j 相邻接, 且边 (v_i, v_j) 依附于点 v_i 和 v_j , 或称边 (v_i, v_j) 与节点 v_i 和 v_j 相关联; 对于有向图, 若有弧 $(v_i, v_j) \in A$, 则称节点 v_i 邻接到节点 v_j , 节点 v_j 邻接自节点 v_i 。

“度”, 在无向图中, 节点 v 的度 (Degree) 是指与节点 v 相关联的边的数目, 记为 $TD(v)$; 在有向图中, 节点 v 的度是指与节点 v 相关联的弧的数目, 其中以 v 为头的弧数目称为 v 的入度 (InDegree); 以 v 为尾的弧数目称为 v 的出度 (OutDegree), 节点 v 的度等于两者之和。

“赋权图”, 图的边或弧可具有与之相关的数据信息, 可以表示从一个节点到另一个节点的距离、费用等等。这种与图的边或弧相关的数据信息叫做权, 边或弧带权的图称为赋权图或赋权有向图, 通常又称为网络。一般地, 将弧 (v_i, v_j) 上带的权记为 $w(v_i, v_j)$, 它也称为这条弧的长度。

“路径和路径长度”, 对于无向图, 节点 v_i 到节点 v_j 之间的路径 (Path) 是指节点序列 $P\{v_1, v_2, \dots, v_j\}$, 其中 $v_i \in V (1 \leq i \leq j)$, 且 $(v_i, v_{i+1}) \in E (1 \leq i \leq j-1)$, 此时路径 P 的长度 L_p 定义为边的数目。对于有向图, 路径也是有向的, 除此外其定义与无向图相同。对于赋权有向图, 路径 P 的长度是其所经过的弧的长度之和, 若路径 P 是从节点 v_i 到 v_j 的所有路径中长度最短的一条, 则称 P 是从节点 v_i 到 v_j 的最短路径, 其长度 $L(v_i, v_j)$ 称为从节点 v_i 到 v_j 的最短距离。

6.1.2 路网的拓扑抽象

上面介绍了源自图论的最短路径原理, 导航中具有拓扑结构的路网是最短路径算法设计的基础。与普通的平面网络相比, 描述实际城市路网的拓扑图通常具有以下特点:

- ◆ 多为大规模的稀疏网络，点多边少；
- ◆ 道路的路网通常是连通的，即从网络中任意选出两点都可以相互到达；
- ◆ 路网通常由国家统一规划，整体的结构会比较规则。

根据图论的知识，结合现代路网的结构，我们在处理过程中可以将路网抽象为图的概念，处于路网中实际的地理元素、路标等抽象为节点，各种道路抽象为连接图中节点之间的线，考虑到收费道路和道路拥堵状况的影响，可以将道路等级、路况等抽象为道路边的权值，如此建立一一对应的关系就可以应用图论中的最优路径算法进行路径的选择。

6.1.3 经典最优路径算法

6.1.3.1 Dijkstra 算法

该算法是典型的单源最短路径算法，由 E.W.Dijkstra 于 1959 年提出，适用于所有弧的权均为非负的情况，主要特点是以起始点为中心向外层层扩展，直到扩展到终点为止。

该算法的基本思想是按照路径长度递增的次序来找到最短路径，首先将网络中所有节点分成两组，一组包含了已经确定属于最短路径中点的集合，记为 S （该集合在初始状态只有一个源节点，以后每求得一条最短路径，就将其加入到集合 S 中，直到全部顶点都加入到 S 中，算法就结束了）；另一组是尚未确定最短路径的节点的集合，记为 V ，按照最短路径长度递增的次序依次把第二组的顶点加入到第一组中，在加入的过程中总保持从源点到 S 中各顶点的最短路径长度不大于从源点到 V 中任何顶点的最短路径长度。此外，每个顶点对应一个距离， S 中顶点距离就是从源点到此顶点的最短路径长度， V 中的顶点距离是从源点到此顶点只包括 S 中的顶点为中间顶点的当前最短路径长度。

下面给出该算法的一个示例。

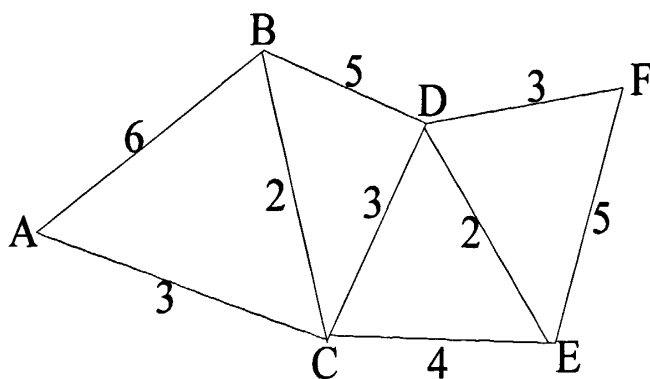


图 6-2 带权图示例

针对上述无向图所示的路网结构应用 Dijkstra 算法得到的执行结果如下表 6-1 所示：

表 6-1 算法执行步骤

执行步骤	已确定最短路径集合(S)	未确定最短路径点集合(V)
1	选入 A, 此时 $S=\{A\}$, 最短路径 $A \rightarrow A=0$ 以 A 为中间点, 从此点开始找	$V=\{B, C, E, F\}$, A 到 B 和 C 的 距离分别为 6 和 3, 到其它节点距 离为 ∞ , 到 C 的权值最小
2	选入 C, 此时 $S=\{A, C\}$, 以 C 为中间点, 从 $A \rightarrow C$ 这条路径开始找	$V=\{B, D, E, F\}$, A 经 C 到 B 距 离为 5; 经 C 到 D 为 6; 经 C 到 E 为 7; 经 C 到其它节点的距离为 ∞ 因此 $A \rightarrow C \rightarrow B$ 权值最小
3	选入 B, 此时 $S=\{A, C, B\}$, 此时的最短 路径 $A \rightarrow A=0$, $A \rightarrow C=3$, $A \rightarrow C \rightarrow B=5$ 以 B 为中间点, 从 $A \rightarrow C \rightarrow B=5$ 这条最短 路径开始找	$V=\{D, E, F\}$ $A \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow D=10$ (比 $A \rightarrow C \rightarrow D=6$ 要 长) 此时到 D 权值更改为 $A \rightarrow C \rightarrow D=6$ $A \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow$ 到其它节点距离为 ∞ 于是 $A \rightarrow C \rightarrow D$ 权值最小
4	选入 E, 此时 $S=\{A, C, B, D\}$, 此时的 最短路径 $A \rightarrow A=0$, $A \rightarrow C=3$, $A \rightarrow C \rightarrow B=5$, $A \rightarrow C \rightarrow D=6$ 以 D 为中间点, 从 $A \rightarrow C \rightarrow D$ 这条最短 路径开始找	$V=\{E, F\}$ $A \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E=8$ (比 $A \rightarrow C \rightarrow E=7$ 要 长) 此时到 E 权值更改为 $A \rightarrow C \rightarrow E=7$ $A \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow F=9$ 此时 $A \rightarrow C \rightarrow E=7$ 权值为最小
5	选入 E, 此时 $S=\{A, C, B, D, E\}$, 此 时最短路径 $A \rightarrow A=0$, $A \rightarrow C=3$ $A \rightarrow C \rightarrow B=5$, $A \rightarrow C \rightarrow D=6$, $A \rightarrow C \rightarrow E=7$ 以 E 为中间点, 从 $A \rightarrow C \rightarrow E=7$ 这条最短路径 开始找	$V=\{F\}$ $A \rightarrow C \rightarrow E \rightarrow F=12$ (比 $A \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow F=9$ 要长)此时 F 的权值更改为 $A \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow F=9$, 发现 $A \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow F=9$ 权值为最小
6	选入 F, 此时 $S=\{A, C, B, D, E, F\}$ 此时最短路径 $A \rightarrow A=0$, $A \rightarrow C=3$, $A \rightarrow C \rightarrow B=5$, $A \rightarrow C \rightarrow D=6$, $A \rightarrow C \rightarrow E=7$, $A \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow F=9$	集合为空, 查找完毕

6.1.3.2 启发式搜索算法

启发式搜索算法的基本思想是在待搜索路径的控制信息中增加关于被解问题的某些特征, 用于引导搜索向最有希望到达目标点的方向前进, 加速问题的求解过程并找到最优解。启发式策略在一定的知识基础上进行搜索, 具体来说就是要建立一种评估函数, 算法执行过程的每一步, 寻找评估函数代价最小的结点作为下一个搜索的扩展结点。

常用的启发式搜索算法有好多种, 比如局部择优搜索法、最好优先搜索法等等。这些算法都使用了估价函数的概念, 但在具体选取最佳搜索结点时的策略不同。举例来说, 局部择优搜索法在具体搜索过程中选取“最佳结点”后会舍弃其他的兄弟结点, 如此一

直搜索下去；这种搜索的问题也很明显，由于舍弃了其他的结点，可能也把最好的结点都舍弃了，因为求解的最佳结点只是局部最佳并不一定在整体上是最佳的；相比之下，最好优先算法在搜索时，并没有舍弃“非死”结点，在每一步的估价中都把当前的结点和之前的结点的估价值比较得到一个“最佳的结点”，这样可以防止最佳结点的意外丢失^[17]。

车载导航领域流行的启发式搜索算法是 A* 算法。该算法由 Hart、Nilsson、Raphael 等人首先提出，属于最好优先算法的范畴，创新之处在于选择下一个被检查结点时引入了已知的全局信息^[17-18]，估计当前结点与目标结点之间的距离作为评价该结点处于最佳路线上的可能性度量，这种做法可以使可能性较大的结点被首先搜索，从而提高了搜索的效率。

作为启发式搜索算法的一种，A* 算法同样引入了估价函数的概念，结点 n 的估价函数 $f(n)$ 定义为，

$$f(n) = g(n) + b(n) \quad \text{式(6-2)}$$

其中， $g(n)$ 表示从起始结点到当前结点 n 的实际代价； $b(n)$ 是启发式搜索中最为重要的一部分，表示从当前点 n 到终点的最小代价估计，该项不能高于结点到终点的实际代价，即所谓的相容性条件。 $b(n)$ 设计的好坏，直接影响着整个算法搜索的效率。研究表明，如果估价函数满足相容性条件，且原问题存在最优解，则 A* 算法一定可以求出最佳路径^[18]。

6.2 基于浮动车的道路状态判断研究

国内外研究表明，先进的路径导航是方便人们出行和减轻交通阻塞并最终实现高质量移动网络位置服务的有效手段。实时采集动态交通状态信息是高质量路径导航规划的基础。对道路交通流状态信息的实时动态地采集与处理是可靠评估相应路段交通状态的前提。传统意义上，大多采用路边固定交通流检测设备来获取道路交通状态信息，常用的有环型线圈传感器、遥感微波传感器(Remote Traffic Microwave Sensor, RTMS)和基于视频的检测设备等。这些设备存在成本较高、损耗严重和不易维护等问题。当前较先进的交通信息采集方法是浮动车数据采集技术。

6.2.1 浮动车系统

浮动车系统是基于浮动车移动检测技术的道路交通信息采集与处理系统。浮动车技术结合了 GPS/AGPS/DGPS 等卫星定位技术、无线通信技术和地理信息技术。它在道路交通数据采集方面的主要优点有 1) 无需增加道路设施，对环境无负面影响；2) 检测信息能实时动态地体现道路交通流的运动；3) 定位精度高，定位数据中包括了行驶车辆在定

位时刻的瞬时速度，蕴含了道路车流的变化特征^[19]。下图 6-3 是一个典型的浮动车系统组成图。

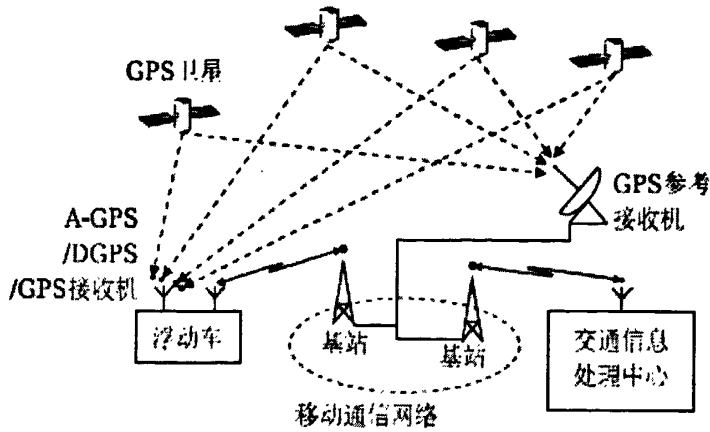


图 6-3 浮动车系统架构图

6.2.2 浮动车数据采集与处理系统

如图 6-3 所示，浮动车系统主要由车载设备、移动通信网络和交通信息处理单元等三部分组成。实际工作时，浮动车定位模块实时采集处理 GPS 定位数据，生成道路交通流基础特征信息，如车辆编号、时间戳、位置坐标、瞬时速度等，并对其进行时间和空间同步；在地图匹配确定浮动车所在路段的基础上，计算该路段的平均速度、旅行时间、拥堵指数等交通流状态指标；最后基于各种指标参数，通过数据融合与建模分析方法，综合评估道路的交通状态级别^[19-20]。浮动车数据处理流程如下图 6-4 所示：

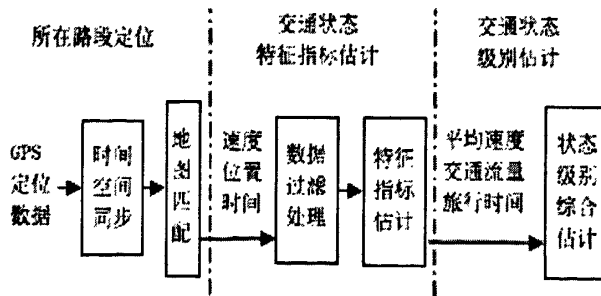


图 6-4 浮动车数据处理流程

浮动车数据采集与处理技术融合了辅助 GPS 卫星定位系统和移动通信系统资源，能够从时间、空间上更精确、实时和全面地采集和捕捉道路交通流的动态特征及其变化情况。目前项目组有关人员正在做相关方面的研究，希望能将其应用到我们的智能导航系统，使得导航功能更完善，结果更加切合实际，产品具有更强的市场竞争力。

6.3 课题总结与展望

6.3.1 课题总结

本课题依托于实验室在研项目“基于 AGPS 的智能车载导航系统研发”，项目最终要交付一款满足用户需求且具有市场竞争力的导航产品。本人研究生期间一直参与整个项目的研发，主要从事的工作及取得的成果总结如下：

- 1) 在项目初期根据系统的整体需求完成了整个导航系统软件架构的设计、各个软件模块的划分，并撰写了设计文档；
- 2) 参与界面层的开发，完成了产品界面图片资源库的设计与实现；编码完成了一个用于生成和解析图片库的工具，对项目进展起到很大推动作用；
- 3) 针对混合定位模块，参与了 AGPS 定位技术的研究，并着重完成无线电定向系统的流程设计与功能实现；
- 4) 在原始电子地图数据基础上根据软件系统的实现方式完成了地图数据结构的设计；对相关的地图数据处理技术进行研究，在此基础上提出电子地图分块的思想及地图无缝拼接技术，编程实现对地图数据的处理；设计数据库表，将处理后的地图数据存储到数据库中供系统调用；
- 5) 对导航系统中的地图匹配算法进行研究，在此基础上综合考虑各种因素提出了一种算术与几何相结合的实用地图匹配算法并编程实现了该算法；针对不同的应用场景完成了对算法性能的测试工作；
- 6) 对导航过程中的路径规划算法和道路状态算法进行了大量的调查研究工作，协助其他同学进行算法的设计与实现。

6.3.2 课题展望

目前项目中的基于 AGPS 的混合定位系统及无线电定向系统的设计与实现已经全部完成并通过了平台验证。电子地图数据结构设计与处理工作已经完成，相应的地图数据库也已经建立；导航系统界面层、平台层及基础层一些通用的函数也已经完成了编码，核心层的算法部分，地图匹配算法如第五章所述已经完成了设计和实现并做了大量的测试工作，路径规划算法和道路状态判断算法前期研究工作也已完成，下一步需要综合考虑性能、复杂度、成本等因素选择更适合我们项目需求的算法模型，并编码实现。

路径规划与状态判断算法实现以后就可以进行整个系统的联合测试工作，将代码移植到嵌入式系统上，整体测试系统的功能。后期需要将样品带到室外环境，在实际的跑车环境中评估产品的运行情况。相信在未来几个月的时间内通过实验室项目组同学的共同努力，我们的导航系统连同硬件平台一起一定可以圆满完成，通过验收。

参考文献

- [1] 高起. 车载导航系统的研究及其软件设计. [学位论文]. 哈尔滨工程大学. 2004.
- [2] 王笑京、沈鸿飞等著.《中国智能交通系统发展战略》. 人民交通出版社. 2006: 35-40.
- [3] 刘进志. 基于 ARM9 的嵌入式车载导航终端的研发. [学位论文]. 山东大学. 2005.
- [4] 易鸣镛、顾洪夫、陈广飞.“GPS 定位原理浅析及误差分析”. 中国数据通信, 2005(3).
- [5] 王占全、徐惠等著.《地理信息系统(GIS)开发工程案例精选》. 人民邮电出版社. 2005: 277-322.
- [6] Yilin. *Vehicle Location and Navigation Systems*. London: Artech House.
- [7] 许志海、张昭云、陈应东.“车辆导航系统中定位数据处理和地图匹配技术”. 测绘学院学报; 2003: 215-218.
- [8] 姚广峰. 基于 Windows CE 的车载导航系统的关键技术研究. [学位论文]. 东北大学. 2004.
- [9] 秦杰、陈希、武穆清.“A-GPS 定位技术的研究与应用”. 数字通信世界. 2007: 53-56.
- [10] 李鑫. 电子地图在车载导航系统中应用的研究. [学位论文]. 湖南大学 2006.
- [11] 马亮. 导航中电子地图的制作与地图匹配. [学位论文]. 武汉科技大学. 2008.
- [12] Taylor G. GIS and GPS integration and mobile handset positioning[C]//Proc. of the Fourth International Conference on Web Information Systems Engineering Workshop0s.
- [13] Xiaoguo Zhang, Qing Wang, Dejun Wan. Map Matching in Road Crossings of Urban Canyons Based on Road Traverses and Linear Heading-Change Model[M].3rd ed. McGraw-Hill Inc, 2007, 2705-2803.
- [14] Wenjie Liao, Weifeng Lv, Tongyu Zhu. A map matching algorithm for intersections based on Floating Car Data[M]. New York; McGraw-Hill inc,2008, 311-316.
- [15] 赵瑞瑞, 岳春生.“改进的地图匹配算法在车载导航系统中的应用”. 信息工程大学学报. 2008: 115-117.
- [16] 徐少铨、张华海等著.《GPS 测量原理及应用(修订版)》. 武汉: 武汉大学出版社, 2003: 16-18.
- [17] 杨柳. 导航路径规划算法研究. [学位论文]. 北京交通大学. 2008.
- [18] 陈刚, 付少峰等著.“A*算法在游戏地图寻径中的几种改进策略研究”. 科学技术与工程. 2006: 3731-3736.
- [19] 刘名龙. 城市交通动态路径诱导算法研究. [学位论文]. 昆明理工大学. 2005.
- [20] 李佳炜. 基于 GPS 的浮动车系统中数据传输方式的研究. [学位论文]. 北京交通大学. 2008.

致 谢

时间过得真快，两年多的研究生生活即将结束，作为对这段时间学习与工作的一个总结，在此论文即将收尾之际，我很想谢谢我敬爱的导师武穆清教授，当初是您那渊博的知识和一切从学生出发的态度坚定了我继续读研的决心，也是您给了我这样的一个学习深造的机会。两年多来，您严谨的治学态度和一丝不苟的工作作风一直教育和影响着我，无论多么忙您总会抽出时间来与我们谈心，讨论课题中遇到的问题，引导我们从不同的角度进行思考；为了拓宽我们的知识面，您积极组织设立硕士论坛，而且每次都亲临现场与我们讨论最新的前沿技术，指导我们如何跟踪行业的最新动向，分析行业现象等等，相信每个同学从中都受益匪浅。

其次要感谢实验室的阎啸天博士、吴大鹏博士、甄岩博士、湛君师兄，阎博士一直协助和直接指导我进行课题的研究与开发，他高超的技术和独特的眼光令人钦佩，从他身上我学到的除了技术之外更多的是解决问题的方式，可以说没有他我也不能顺利的完成课题的各项工作；吴博士从刚进实验室就一直关心我的学习和生活情况，给了我很多的帮助和关怀，从他身上我看到了作为一个科研人员应该具备的一些东西，他对于研究的执着和坚持一直是我学习的榜样，是他教会了遇到问题时如何查找资料，遭遇挫折时如何调整心态，积极的去面对；甄博士作为实验室管理者，在这段时间给了我很多的锻炼机会，使我多方面的能力得到了提高；湛君师兄与我一同进入项目组，一直以来我们相互合作，一起学习，共同克服了课题中的一个个难题，度过了一段非常快乐的生活，师兄已经毕业，在此祝愿他在上海工作顺利。所有的这些师兄都为我们树立了很好的榜样，从他们身上我真的学到很多也成熟了很多。吴博士和阎博士刚刚新婚不久，借此祝愿他们工作顺利，生活幸福。

感谢给了我帮助和快乐的实验室师弟师妹们，翠丽、倩倩、高虎等等，他们在课题研究积极主动，不辞辛苦，协助解决项目中的问题，提出很多好的建议，他们是实验室的希望，祝愿他们继续努力，学习更上一层楼。当然还要感谢我们同一级的好伙伴们，王彬、袁爽、晓静等等，缘分让我们走到一起，分到了同一个宿舍，我们一起学习，一起生活，共同讨论问题，一起运动、打球，度过了那么多美好的时光，即将毕业，祝愿大家都拥有一个美好的未来。

最后感谢我的父母，爷爷奶奶，叔叔婶婶等所有亲人，谢谢你们多年来用自己的辛勤劳动来供我完成学业，给了我生活上无微不至的关怀和爱护，你们永远是我不断拼搏进取的动力，祝福你们身体健康，永远幸福！

作者攻读学位期间发表的学术论文目录

- [1] 孙兵, 武穆清, 阎啸天. “GPS 导航系统中的电子地图处理及匹配算法研究”. 数字通信. 第 36 卷第 5 期, p51-54. 2009.10.