****

硕士学位论文

|  |
| --- |
| 基于WAVE协议栈的车联网通信终端研究 |
| 及定位系统实现 |

|  |  |
| --- | --- |
| 作者姓名 | 谢 鹏 |
| 学科专业 | 信号与信息处理 |
| 指导教师 | 谢胜利 教授 |
| 所在学院 | 电子与信息学院 |
| 论文提交日期 | 2013年6月 |

**The Study of WAVE-based Communications Terminal and Localization System for Internet of Vehicles**

A Dissertation Submitted for the Degree of Master

**Candidate：Xie Peng**

**Supervisor：Prof. Xie Shengli**

South China University of Technology

Guangzhou, China

**分类号：TN915.04; TP311.5 学校代号：10561**

**学号：201020109319**

华南理工大学硕士学位论文

**基于WAVE协议栈的车联网通信终端研究及定位系统实现**

作者姓名：谢鹏 指导教师姓名、职称：谢胜利教授

申请学位级别：工学硕士 学科专业名称：信号与信息系统

研究方向：自适应信号处理

论文提交日期：2013年6月6日 论文答辩日期：2013年 6 月 1 日

学位授予单位：华南理工大学 学位授予日期： 年 月 日

答辩委员会成员：

主席： 吴宗泽副教授

委员： 谢胜利教授，傅予力教授，周智恒副教授，李波副教授

**华南理工大学**

**学位论文原创性声明**

本人郑重声明：所呈交的论文是本人在导师的指导下独立进行研究所取得的研究成果。除了文中特别加以标注引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写的成果作品。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律后果由本人承担。

作者签名： 日期： 年 月 日

**学位论文版权使用授权书**

本学位论文作者完全了解学校有关保留、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华南理工大学。学校有权保存并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许学位论文被查阅（除在保密期内的保密论文外）；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。本人电子文档的内容和纸质论文的内容相一致。

本学位论文属于：

□保密，在年解密后适用本授权书。

□不保密,同意在校园网上发布，供校内师生和与学校有共享协议的单位浏览；同意将本人学位论文提交中国学术期刊(光盘版)电子杂志社全文出版和编入CNKI《中国知识资源总库》，传播学位论文的全部或部分内容。

(请在以上相应方框内打“√”)

作者签名： 日期：

指导教师签名： 日期

作者联系电话： 电子邮箱：

联系地址(含邮编)：

摘要

车联网（IOV，Internet of Vehicles）是物联网（IOT，Internet of Things）技术应用于智能交通系统（ITS，Intelligent Transport System）领域的具体形式，属于物联网的一个子网络。WAVE协议栈是专门应用于车联网通信的重要协议栈，并逐渐成为国际车联网通信技术的主流。但是目前WAVE的相关技术还都处于研究和开发阶段，符合协议标准的硬件设备很难找到。之前的一些针对WAVE技术的相关研究努力也都是基于研究者自己的原型实现，不仅成本高昂，而且很难保证性能要求。

车辆移动定位对于行车安全具有重要的使用价值,也是车联网应用研究的重要组成部分。目前车辆定位技术应用广泛的是基于GPS的室外定位技术，然而，GPS信号却很容易受到障碍物的干扰和阻断，在密集的城市地带、隧道、室内等环境中，定位误差比较大，精度难以满足实际要求。具体到WAVE技术，因为在实际使用中WAVE系统需要设置大量的路边单元设备（RSU Road-Side Unit），那么利用其进行行车定位将具有很好的研究价值。

本文即在深入研究WAVE协议栈的基础上，立足于当前硬件研究不足并且成本高昂的现实，提出一套基于WAVE协议栈的车联网通信终端设计方案；同时基于此终端系统方案，设计并实现一个无线定位系统。

论文的主要工作包括：

1、WAVE协议栈研究，介绍了WAVE协议栈架构及其主要组成协议的特点，其中重点介绍了IEEE 802.11p和IEEE 1609.4、1609.3协议；

2、车联网通信终端设计，即基于WAVE协议栈，利用天漠科技SBC8100的OMAP开发板和思科wusb600n-v2无线网卡，通过修改网卡驱动程序和上层协议程序，实现车联网通信终端。

3、无线定位系统实现，基于所设计的车联网通信终端和位置指纹定位方法，采用C/S的开发模式实现一个无线定位系统。

关键词：车联网；WAVE；IEEE802.11p；IEEE1609.4； IEEE1609.3；定位系统

Abstract

IOV ("Internet of Vehicles") is one of the important branches of IOT ("Internet of Things"), which is used in the field of intelligent transportation systems. WAVE protocol stack is a major networking protocol stack，which is specifically applied to the IOV, and gradually become an international mainstream for the ITS. At present, WAVE related technologies are still in the research stage. It is still with significantly high cost in implementing hardware systems. Previous research efforts often relied on project-specific prototype implementations which are characterized by a high cost and are not always available to the entire research community.

Vehicle localization is very important for traffic safety. It is also one of the important research areas of the IOV. At present, the outdoor positioning technology based on GPS has wide applications. However, the GPS signal is very susceptible to the interference of obstructions, especially in the situation when used in urban areas, tunnels, indoor environment and so on. Under these circumstances, the localization error is relatively large, so that the accuracy is difficult to satisfy the actual requirements. As to the WAVE related technologies, a large number of RSUs should be sited along roadsides; therefore, we can use them to establish vehicle localization systems.

In this paper, we mainly propose a terminal system design to the IOV and achieve wireless localization system. The major works of the paper are given as follows:

1. Study on WAVE protocol stack. We discuss the architecture of WAVE protocol stack and the characteristics of major component protocols, which mainly focus on the IEEE 802.11p, IEEE 1609.4 and IEEE1609.3.
2. Design the communication terminal to the IOV. Based on the discussion of WAVE protocol stack, we improve the network card drivers and the upper protocol program by using the OMAP SBC8100 development board and Cisco wusb600n-v2 wireless card, and then we obtain the terminal.
3. Realize the wireless localization system. We adopt the terminal design and fingerprint location technique, using the C/S development model, to realize the wireless localization system.

**Key Words：**Internet of Vehicle; WAVE/IEEE802.11p; IEEE1609.4; IEEE1609.3; Wireless Localization System

目录

[摘要 I](#_Toc386547627)

[Abstract II](#_Toc386547628)

[目录 IV](#_Toc386547629)

[第一章 绪论 1](#_Toc386547630)

[1.1 课题背景 1](#_Toc386547631)

[1.2 国内外车联网的发展现状 3](#_Toc386547632)

[1.3 车联网研究的难点 6](#_Toc386547633)

[1.4 选题的目的及意义 8](#_Toc386547634)

[1.5 论文的主要内容 9](#_Toc386547635)

[第二章 WAVE协议栈研究 11](#_Toc386547636)

[2.1 WAVE协议栈概述 11](#_Toc386547641)

[2.2 IEEE 802.11p研究 12](#_Toc386547642)

[2.2.1 IEEE 802.11协议介绍 12](#_Toc386547654)

[2.2.2 IEEE 802.11p 新特性 15](#_Toc386547655)

[2.3 IEEE 1609.4/1609.3研究 17](#_Toc386547656)

[2.3.1 IEEE 1609协议栈介绍 17](#_Toc386547657)

[2.3.2 IEEE 1609.4协议 18](#_Toc386547663)

[2.3.3 IEEE 1609.3协议 20](#_Toc386547664)

[2.4 本章小节 21](#_Toc386547665)

[第三章 车联网通信终端设计 22](#_Toc386547666)

[3.1 方案概述 22](#_Toc386547672)

[3.1.1 嵌入式技术介绍 22](#_Toc386547677)

[3.1.2 硬件方案 24](#_Toc386547678)

[3.1.3 软件方案 25](#_Toc386547679)

[3.2 具体实现功能说明 27](#_Toc386547680)

[3.2.1 网络建立 27](#_Toc386547686)

[3.2.2 网络加入 27](#_Toc386547687)

[3.2.3 网络退出 28](#_Toc386547688)

[3.2.4 网络关闭 28](#_Toc386547689)

[3.2.5 IEEE802.11p协议功能 28](#_Toc386547690)

[3.2.6 IEEE 1609.4/ IEEE 1609.3协议功能 29](#_Toc386547691)

[3.3 本章小节 32](#_Toc386547692)

[第四章 无线定位系统研究 33](#_Toc386547693)

[4.1 无线信号传播特性 33](#_Toc386547708)

[4.2 无线定位方法概述 34](#_Toc386547709)

[4.3 位置指纹定位方法 37](#_Toc386547710)

[4.3.1 最近邻法 38](#_Toc386547717)

[4.3.2 K近邻法 38](#_Toc386547718)

[4.3.3 K加权近邻法 39](#_Toc386547719)

[4.3.4 贝叶斯概率法 39](#_Toc386547720)

[4.3.5 BP神经网络法 40](#_Toc386547721)

[4.4 基于聚类的快速定位 42](#_Toc386547722)

[4.5 系统实现 43](#_Toc386547723)

[4.6 程序测试 49](#_Toc386547724)

[4.7 本章小节 51](#_Toc386547725)

[总结与展望 52](#_Toc386547726)

[参考文献 53](#_Toc386547727)

[攻读硕士学位期间取得的研究成果 57](#_Toc386547728)

[致谢 58](#_Toc386547729)

# 绪论

## 课题背景

当前世界，信息科技及其技术产品己经遍布到了人类生活的每一个角落。信息技术不仅提高了工业生产的效率，也大大提高了人们的生活水平。如果能将世界上所有的物体都联系起来，那么这对于人类社会的发展将是革命性的进步，于是物联网（IOT，Internet of Things）的概念应运而生。所谓物联网，是指按照预先定义的协议标准，将无处不在的终端设备和通信设施相互连接起来，使其互联互能并进行信息交换的一种网络。根据相关人士的预测，在未来的十年物联网就有可能获得大规模的应用推广，物联网相关技术将会发展成为一个拥有上万亿规模的新兴信息科技产业。面对物联网潜在的巨大社会及经济效益，美国、欧盟、日本等发达国家和地区相继制定了各自的物联网技术与发展计划，我们物联网技术研究与应用也在紧随国际步伐。2009年8月，温家宝总理在无锡考察时提出的“感知中国”科技发展计划，确定物联网技术及产业为国家战略发展产业，物联网技术与产业在我国迎来了蓬勃发展的良好机遇[1]。

交通运输是国民经济发展和现代社会进步的重要基础。当前我们国民经济持续高速增长，城镇化速度不断加快，人民群众对于交通的需求不断增加；交通系统所涉及的领域和范围也越来越广泛，之前传统的交通和管理方式就越发显得力不从心。因此引入实现实时、准确、全方位的交通信息采集、传输、处理、发布与控制，保障交通安全、高效的智能交通系统（ITS， Intelligent Transport System）成为提高交通管理水平的重要途径。ITS 是由车辆控制系统、交通监控系统、运营车辆管理系统、交通信息发布系统等集成一体，面向交通运输领域服务的现代电子信息系统，其将道路、车辆和驾驶员有机的结合起来，通过对驾驶员、车辆和道路进行实时地信息采集、处理和控制达到充分利用交通资源的目的[2]。

车联网（IOV，Internet of Vehicles），是物联网技术应用于ITS领域的具体形式，是属于物联网的子网络。相对于传统的ITS系统，车联网具有更多主动性、交互性、实时性和准确性等特性。所谓的车联网系统，就是指利用先进传感技术、网络技术、计算技术、控制技术、智能技术，对道路和交通进行全面感知，实现多个系统间大范围、大容量数据的交互，对每一辆汽车进行交通全程控制，对每一条道路进行交通全时空控制，以提供交通效率和交通安全为主的网络与应用[3]。

“车联网”这个概念名词从2010年开始进入到社会公众的视野之中。2010年，通用汽车公司在上海世博会期间第一次提出了“车联网”的概念，并畅想出令人神往的未来汽车世界的愿景，那时人们出行将没有交通拥堵、没有交通事故、甚至汽车自动驾驶。车联网概念的第一次报道便得到了社会各界的广泛关注，行政管理部门、学术研究领域、相关公司企业纷纷表现出极大的热情，车联网也因此成为了物联网研究的重要组成部分和重点发展方向。建设和发展车联网系统对于全面提升城市交通运输监管能力、推进汽车产业转型升级、以及城市节能减排低碳环保都具有巨大的现实意义。

目前，世界各国都在大力开展针对车联网的研究。现阶级得到大范围铺设和应用，已经取得广泛应用的公众移动通信网络是3G网络。3G网络与传统的2.5G网络不同，具有更大的网络覆盖范围和数据吞吐容量，并且支持更多的更流畅的多媒体数据业务。但是3G网络因为其网络接入和通信方法的限制，依然不能够适用于日益增加并且网络拓扑快速变化的“人-车-路”之间互相通信的应用需求。因此，为了实现“人-车-路”之间的互联互通，IEEE委员会制定了WAVE（Wireless Access in vehicular Environment）协议栈，专门用于车联网系统。3G网络技术与WAVE技术的主要参数对比如下表所示：

表 1-1 3G与WAVE主要参数比较

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项次 | 参数名称 | TD-SCDMA | WCDMA | CDMA2000 | WAVE |
| 1 | 频段 | 850、900、1800、1900MHz | | | 5800MHz |
| 2 | 速率 | ≤1.28Mbps | ≤3Mbps | ≤3.6864Mbps | 3~27Mbps |
| 3 | 复用技术 | CDMA | CDMA | CDMA | OFDM |
| 4 | 双工方式 | TDD | FDD、TDD | FDD、TDD | FDD、TDD |
| 5 | 调制方式 | QPSK、8PSK | QPSK、BPSK | QPSK、BPSK | BPSK、QPSK、  16QAM、64QAM |
| 6 | 移动性 | 较低 | | | ≤120km/h |

当前根据有关机构预测，基于WAVE技术能够提供的应用服务可以达到上百种之多。这样应用按照其类型的不同，将分别涉及到安全相关领域、公共服务相关领域和商业服务相关等领域。安全相关领域的应用将是车联网相关应用中最重要的应用服务。针对这种需求WAVE协议标准为安全相关领域的应用定义了专用的通信信道，可以用于交通道路状况通告、行车碰撞避免预警、地区天气预报通告等安全应用。公共服务相关领域应用主要包括城市道路交通监控、车辆驾驶智能导航、区域天气情况搜集，停车车位查询等。商业服务相关等领域应用主要包括互联网访问、商业广告推送、商业服务信息查询等。

WAVE协议栈是一系列无线通信协议标准的统称，其组成包括IEEE 802.11p协议及IEEE 1609系列协议。利用WAVE技术可以实现车联网与传统互联网的有效融合。与传统的IEEE 802.11协议栈定义的通信网络不同，WAVE协议栈取消了AP(Access Point )和STA（Station）的概念，将网络设备分为RSU ( Road-Side Unit)和OBU ( On-Board Unit )两类。其中，RSU所扮演角色即是AP，OBU设备属于车载设备。RSU一般安装固定在道路两侧，并利用有线或无线的方式将其与互联网联通。WAVE网络组网可以有两种方式：WBSS ( WAVE Basic Service Set )和WIBSS ( WAVE Independent Basic Service Set )。WBSS是在RSU存在的情况下，一个RSU和多个OBU组成的网络；WIBSS是在缺失RSU的情况下，多个OBU之间组成的网络，此网络归属于移动的Ad-hoc类型的网络。RSU和OBU之间基于WAVE协议栈定义的报文格式进行交互通信。

## 国内外车联网的发展现状

美国是世界上最早进行ITS研究的国家。早在在60年代后期，美国第一个ITS项目“电子路线引导系统（Electronic Route Guidance System，ERGS）”就已经开展实施。目前，美国联邦政府公路局已经在全美建立了相对完善ITS管理和运行系统，并制定了多项技术协议和规范标准。当前至少3个ITS的研究中心和86个ITS试验场已经在美国投入运营。美国交通部最新发布的五年计划“Connected Vehicle”，致力于提高全美交通行车的安全性和机动性。该五年计划基于无线电通信技术，连通汽车、卡车、公共汽车和地铁系统，使这些交通设备及其它配套的设施能够共享交通安全和流动信息，并最终达到拯救生命、减少伤害、缓解拥堵和改善环境的目的[4]。

日本第一台计算机控制的区域交通控制系统，于1970年安装在东京。从20世纪80年代中期开始，日本的ITS项目主要研究应用都集中于安全领域；但最近一些项目开始注重节约能源和减少二氧化碳排放以及安全。当前日本大约建成了170交通控制中心，这些交通控制中心覆盖了日本大多数人口密集城市，显着地减少了人们的差旅时间、节约了汽油的消耗。日本政府在2006年1月，将实现世界上最安全高效的道路交通计划作为其新一代IT改革战略的重要组成部分。在该计划中日本政府承诺在未来的数年内实现将的每年因交通事故死亡人数减少不到5000的目标[5,6]。这项计划进一步显著地推动了日本车联网项目的发展，改善了交通基础设施建设，推进日本汽车产业的升级。

欧洲各国对于ITS的研究也一直不落人后。从1986年开始，欧洲就开展了对ITS领域的研究。欧盟作为欧洲的一体化组织目前的车联网研究项目分为两大类，一个是政府主导的公共服务项目，另一类是民间组织对车载自组织网络的研究项目，其代表性的研究计划分别是DRIVE(Dedicated Road Infrastructure for Vehicle Safety in Europe)计划和PROMETHUS(Program for an European Traffic with Highest Efficiency and Unprecedented Safety)计划[7]。这两大计划分别由欧洲共同体委员会CEC(Commission of European Communities)和EUREKA(包括l9个国家工业研究的创始单位)分别负责和协调，并共同推进了欧洲车联网系统的发展。除了上术的两大研究性计划，欧洲各国也都在开展适合本国交通运输环境的车联网研究项目。比较有代个性的有英国的Auto guide项目，行车的Ali-scout项目和瑞典的TSWS项目。

近年来国外比较知名的车联网相关研究项目和组织有：

1. CarTalk2000[8]，开始于2001年，为期三年的欧洲项目。此项目主要是致力于车辆间互联通信，发展新一代的驾驶辅助系统，主要研究内容是发展合作驾驶辅助系统及自组织无线网络通信，主要目标是通过建立实时动态的车间通信网络，使行车驾驶更加高效、安全和舒适。
2. FleetNet[9,10,11]，"Internet on the Road" (2000年– 2003年)。此项目是由六家公司组和三所大学主导的研究项目。其主要致力于研发一套车辆之间数据通信系统平台。项目主要内容是为车辆之间的数据通信提供新的解决方案，并实现车辆之间数据通信的演示程序。研究重点是规范车辆之间临时网络的通信协议，整合区域路由并实现各种通信网络的有效集成融合。Network是FleeNet的后序项目，其主要研究目的是提高车间通信的信息安全性。
3. C2C-CC[12]，Car2CarCommunication Consortium，由六家欧洲汽车公司推动的车辆通讯联盟。C2C-CC是一个非营利性的汽车行业论坛，其主要目的是通过合作在欧洲范围内划分统一并免费使用的车间通信频带，建立一个Car2Car的通信系统来协调和规范车间通信和车辆监管技术，最终建立一个开放的欧洲工业标准并形成一个范围广泛的汽车安全应用和信息服务平台。
4. WILLWARN[13]，Wireless Local Danger Warning，PReVENT项目的子项目。此项目基于当前和未来行车驾驶的发展的趋势，着眼于发展合作驾驶技术。通过电子通信手段收集和广播行车安全信息，提前对驾驶员发出路面危险情况警告。其研究重点是车辆之间及车辆与路面设施的无线通信技术。
5. ADASE[14]，Advanced Driver Assistance Systems，是欧洲先进驾驶辅助系统研究项目。此项目涉及到交通主管部门、汽车生产厂商、车辆服务提供商、相关学术领域人士以及公众的共同参与。研究内容是协调国际、国内和区域活动，统一媒体、网络和通信资源，建立一套先进的驾驶辅助系统，在不增加资源负担、破坏生态环境的前提下提高人们的生活质量，提高运输安全。
6. COMCAR[15,16,17]，基于移动IP通信服务创新，提升和改善现有的无线电技术和设施，提升其远程信息处理和多媒体服务能力，满足不断增长的移动通信需求。该项目是德国UMTSplus项目的组成部分，主要针对汽车和铁路系统间通信，着力于资源整合和优化增强IP移动通信能力。
7. Group Cooperative Driving[18,19,20]，是近年来日本的车联网的研究项目。该项目研究重点是车辆之间的行车信息共享。研究目标是在道路行车时，车辆将其收集的自身控制数据包括速度，加速度，转向等信息与临近各车辆交互，并与相应的道路设施通信，在此基础上，达到的行车安全的保障，并最终达到车辆的自动巡航。

另外，国外活跃的研究项目还有美国马里兰州立大的Traffic View项目、日本JSK实验室主导的“Association of Electronic Technology for Automobile Traffic and Driving”项目、法国多个研究机构合作开展的CIVIC 项目等等。

对比国外发达国家，ITS技术的研究在我国国内开展的时间比较晚，因而相关产业的发展也比较落后。虽然现在与发达国家相比，我们的车联网系统还有很大的差距，但是因为近年来政府部门的重视和企业各界的推动，国内各项研究也取得了骄人的成绩。1996年，《智能运输系统发展战略研究》重点项目开始；1999年《智能运输系统发展战略研究》一书正式出版发行；2000年，《国家ITS体系框架制定》；2002年国家“十五”时期“智能交通系统关键技术开发和示范工程”重大项目正式实施；特别是2007年，《电子收费专用短程通信（DSRC）》GB/T 20851系列国家标准颁布实施，标志着我国ITS的发展又上了一个新台阶。

GB/T 20851是在参考欧洲DSRC标准CEN TC278的基础上制定的；历时两年的认证和修缮才得到逐步完善。GB/T 20851预定的主要应用背景是电子收费系统（ETC）、车辆自动识别（AVI）、电子车牌证和车辆路径标识等。但是，因为设计时的先天缺陷，在应用到具体的交通运输环境时，因为复杂多变的通信环境、种类繁多的具体业务需求、不同的数据传输速率要求，GB/T 20851在进行推广时仍有很多的不足。其中主要缺点有以下6项：

1. 数据带宽很小，数据传输速率最大是1Mbps，最小是256Kbps；
2. 缺乏支持点对多点同时通信的功能；
3. 缺乏支持网络通信的功能；
4. 缺乏支持高速移动通信的功能；
5. 缺乏支持大范围移动终端通信的功能。

当然以上这些缺点也是美国、欧洲、日本的DSRC标准中所存在的。但是，因为美国、欧洲、日本对于车联网的研究起步比较早并且已经取得了非常大的发展成果，针对这些不足和缺陷已经颁布甚至实施了新的用于车路通信的DSRC协议标准。比如，美国制定了新的基于5.9G频段和IEEE 802.11a的ASTM E2213-03系列标准（WAVE技术的核心部分）；欧洲的制定了基于5.8G频段的CALM-M5技术，这些标准都得到了广泛的认可和支持。因此我国在车联网络的研究方面还有很长的路要走，还有更多的工作需要做。我们不能仅仅满足于ETC、小区门禁这类简单的应用，对于大容量交通信息的实时传输、交通信息的实时发布、基于实时交通状况的车辆导航和交通安全等复杂应用等等这些新的高级需求，需要我们持续努力、完善以及变革创新。

## 车联网研究的难点

为了适应复杂多变的行车环境，高效无线资源管理策略对于车联网络通信是必需的。这些管理策略包括增强行车通信抗干扰能力，无线呼叫接入控制，通信带宽预留，数据包丢失/延迟控制，介质访问控制，保证分组调度公平等等。虽然行驶中的车辆也具有网络结构快速变化的特点，但是不同于传统的移动终端，车联网络具有非常不同网络拓扑架构，终端移动模式，通信能量约束，以及应用实时性要求。相应实事已经证明，如果直接采用现有的通信方法设计的车联网系统，那么快速移动的行驶车辆根本不能有效的接入网络更不用说有效的交互通信。为了实现汽车快速行驶下的高效通信，必须考虑新的专用于车间通信的网络接入方式和通信手段。

以下是车联网在研究中必须重视的困难：

1. 频繁的链路断开和重连：高速行驶的车辆，造成了车辆图络拓扑结构的迅速变化，同时引起车间通信的间歇性中断。不同于普通的通信终端设备，车辆一般具有更高的移动速度，尤其是行驶在高速公路上的车辆（速度超过100公里/小时）。因此，通信源终端与目标终端间频繁链路链接断开有可能造成网络资源分配无效。例如，如果通信发送方的行驶速度为120公里/小时（75英里/小时），而其相应的通信接收方也同时以100公里/小时行驶（62英里/小时），假设在相同的方向上，并且无线传输范围为300 m。那么两个车辆之间的通信时间大约只可以持续1分钟。而如果两辆车行驶在相反的方向，那么可用于通信的链路只能够存在5秒钟。所以，车联网环境下网络接入策略和通信资源管理是非常的重要。
2. 高动态空时交通条件：不同行车区间的车辆密度有可能非常小的（例如，在农村地区）也有可能非常大（例如，城市上下班高峰期发生交通拥堵）。即使是在同一地点，一天之中车辆的密度也是动态变化的。解决高动态空时交通条件也是车联网络通信的难点之一，尤其是在车联网部署有初期阶段。可以预料，在初期只有一小部分的车辆参与到车联网络中，那么过低密度的车辆必将造成网络碎片问题，并由此造成车联网信息的可达性的上限。另一个需要关注的问题是，因为车辆密度的快速变化而造成的，通信缓慢或快速衰落。如果低密度在的行车环境下车辆快速行驶，那么将造成信道的快衰落。同时发生行车道路堵塞时，通信信道将发生慢衰落。在空域和时域的信道可能发生的巨大变化，促使我们不得不重视车联网通信时信道接入自适应重要性。
3. 数据传播的异质性：车联网络的设计必须考虑到能够同时有效支持道路安全信息和服务娱乐信息的应用。一般来说，道路安全信息相关应用需要低延时和高可靠性，相对的服务娱乐相关的应用也可保障合理的吞吐量，丢包率，资源利用的公平性。数据传播的异质性的决定了车联网信道接入和网络资源分配策略必须是自适应，从而达到高效、有序、公平的通信。安全相关类应用必须具有较高的通信优先级，服务娱乐类应用应该设置较低的通信优先级，因此怎样制定一个有效且高效的不同信息通信方式，在保证行车安全性的同时提供质量高娱乐服务，也是车联网必须考虑的问题。

WAVE协议栈正是IEEE委员会制定，专门用于车联网系统通信协议栈。但是应该指出的是协议栈和通信技术本身并不能完全解决上述车联网发展的困难。在具体的网络设计和通信设施施工时应该制定一个结合实践的全面性解决方案。

## 选题的目的及意义

当前国外车联网技术发展十分迅速，国际上的车联网发展以三大组织为代表，它们分别是美国的 ITS America、日本的 VERTIS 和欧洲的 ERITCO。美国、日本、欧洲在长期研究发展过程中积累了领先的技术优势，在智能交通（ITS）领域取得了巨大的成就。它们研究重点引领了世界车联网技术的发展，它们也因此成为了世界其它国家和地区追逐和看齐的对象。

我国车联网的发展起步较晚，90年代中后期才逐渐得到关注。虽然经过多年的努力国内车联网的发展上我们也已取得明显的进步，但是我们目前的技术能力仍然只能满足比较低级简单的应用上。在对于新一代无线电通信技术和协议标准的研究和探索上，我们还有很多的努力需要付出。当前国内研究机构对 WAVE协议栈的相关研究文档还非常的少，相关的发明应用产品也没有出现。对比可知，无论是对基础技术的研究和应用推广方面，我国与发达国相比都存在非常大的差距。

同时，国内尚未发展和形成完善的车联网产业链。虽然现在国内有多家企业和公司在车联网领域的产品研发和技术研究上都在大力开展工作，但是可以投入到市场上的相关的产品却少之又少。另外国内即使有一些终端产品的报到，也大多只能应用在低端领域，或是产品核心技术缺失。但是，即使如此同类产品之间的恶性竞争也从未间断。国内车联网研究能力的低下，产业发展水平的落后的现状，促使我们必须下决心付出更多的努力。

由此可见，重点发展车联网技术与产业是由当前的基本国情决定的。一方面社会发展人民物质需求，另一方面民族崛起国家科技水平提升，都要求我们不能在当下车联网研发在国际浪潮中落于人后。当然这也必将有极大地推动我国经济和社会的发展。对此情况具体的表现在可以在下以方面看出：

(1)市场需要

我国地广人多，经济发展迅速，随着城镇化速度的不断加快，车辆持有量也急剧攀升。人们已经不能简单的满足于车辆代步的需求，安全、高效和舒适的驾驶环境为越来越多的人所追求。以目前我国5000万辆机动车基数来进行计算，假设车联网设备安装率达到5% ,当前以OBU等设备的2000元市场价计，则相应的市场需求规模就已经达到50亿元。再以我国当前的城市面积和高速公路里程数来估算RSU类设备的的需求量，其数值也是巨大的。另外还有海量的建立在车联网通信平台上的相关固定设备和相关信息服务等。仅考虑这些需要不计其它衍生产品车联网市场产品需求规模就已经令人咋舌。

(2)信息产业及国家发展需要

当前是信息社会，信息产业的发展水平是一个国家是否真正强大的重要反映。信息产业的发展关系到国计民生。车联网作业新一代信息产业的重要标志的，相关技术和应用能否跟上世界的脚步，能否广泛普及对中国未来国力的持续提升，人民生活水平的不断提高异常重要。今后中国经济的发展，如果想要利用信息化带动工业化，以工业化促进信息化，实现经济社会跨越式发展的目标，就必须加快和推动智能交通应用的车联网产业发展，促使中国现有的经济结构、产业结构的调整优化。

正如之前如述，联系到具体的应用产品上，目前应用的车联网产品大多以RFID为主，产品的性能和可扩展性很有限。基于IEEE 802.11p的无线网卡尚且没有面世，更不用说稳定可用的基于WAVE技术的设备。之前的一些针对WAVE技术的相关研究努力也都是基于研究者自己的原型实现，不仅成本高昂，而且很难保证性能要求。不过通过研究可以发现IEEE 802.11p与IEEE 802.11系列其他协议标准相差很小。因此利用IEEE 802.11已经成熟技术产品来拟合11p所定义的功能是可能的。

另外，车辆移动定位对于行车安全具有重要的使用价值。目前车辆定位技术应用广泛的是基于GPS的室外定位技术，然而，GPS信号却很容易受到障碍物的干扰和阻断，在密集的城市地带、隧道、室内等环境中，定位误差比较大，精度难以满足实际要求。具体到WAVE技术，因为在实际使用中WAVE系统需要设置大量的RSU（Road-Side Unit），即路边单元设备，那么利用其进行行车定位将具有很好的研究价值。

基于以上原因，本文将基于WAVE协议栈的车联网通信终端研究及定位系统实现作为研究对象符合我们当前经济与社会发展的方向，并具有较好的现实意义。

本项目研究在国家自然科学基金重点项目“面向智能交通服务的车联网关键理论与技术研究”（U1201253）资助下开展。

## 论文的主要内容

本课题的主要工作是对WAVE协议栈的研究、基于WAVE协议栈的车联网通信终端的设计以及基于此通信终端的无线定位系统的实现。本文的主要包括六个部分，具体安排如下：

第一部分：绪论，阐述课题的研究背景、国内外车联网发展现状以及课题的研究目的和意义。

第二部分：WAVE协议栈研究，介绍WAVE协议栈架构、主要组成协议内容及其主要特点。其中重点介绍IEEE 802.11p和IEEE 1609.4、1609.3协议。

第三部分：车联网通信终端设计，即基于WAVE协议栈，利用IEEE 802.11 网卡及Linux嵌入式设备，通过修改网卡驱动程序和网络通信程序，提出适用于车联网通信的终端设计方案。

第四部分：无线定位系统研究，基于所设计的车联网通信终端和位置指纹定位方法，采用C/S的开发模式实现一个无线定位系统。

第五部分：对全文进行总结及展望

第六部分：参考文献

# WAVE协议栈研究



## WAVE协议栈概述

WAVE协议栈的前身是DSRC ( Dedicated Short Range Communication )协议栈。从上世纪90年代开始，世界多个国家就制定了适合本国国情的DSRC的相关标准。1992年，美国材料与试验协会ASTM(American Society for Testing and Materials)所制定了DSRC标准是最早可见的DSRC协议标准。1995年，欧洲标准化委员会CEN（the European Committee for Standardization）制定了欧洲的DSRC标准。1997年，日本TC204委员会制定了日本的DSRC标准。2007年5月，中国在参考欧洲DSRC标准的基础上完成了自己的DSRC标准制定工作。但是，以上所列举的标准都存在很多的限制，比如：数据传输速率低、无法实现车辆间的通信、RSU设备的覆盖范围窄、与传统互联网融合困难等，因而只能应用于有限的ITS应用中，例如，不停车收费(ETC)应用等[21]。

因此，2004年，美国IEEE(美国电气和电子工程师协会)将DSRC的标准化工作转入IEEE工作组中，并在ASTM标准的基础上制定了基于IEEE 802.11p及IEEE 1609协议族的WAVE协议栈。其中IEEE802.11p主要定义了介质访问控制层（MAC）和物理层（PHY）的规范。IEEE 1609协议族以IEEE 802.11p协议为下层基础，定义了车联网通信的数据链路层、IP网络层、数据传输层、通信安全方面以及通信资源管理方面的规范。为了适应行车环境，IEEE 802.11p协议对IEEE 802.11的协议标准定义的功能进行了一些必要的修改和删减。在IEEE 1609.4协议中，其定义了了多信道协调工作来增强介质访问控制层（MAC）的性能，同时保证在终端设备只有单个接收天线时也可以在WAVE环境下正常工作并具有高效的数据传输能力。在QoS方面，WAVE的介质访问控制层（MAC）采用了IEEE 802.11e协议的定义功能，每个信道都采用EDCA模式的进行默认配置。另外必须说明是的，结合OBU设备随时移动的特征，IEEE 802.11p协议在定义中，删除了原有的鉴权、认证等需花费很长时间的接入过程，因此大大简化了原来MLME的功能。

WAVE协议栈的技术体系结构如下图所示。



图2-1 WAVE协议栈结构

WAVE协议栈参考OSI七层网络模型来定义。整个协议栈由两大部分组成。如图2-1所示，右边的部分是数据平面(Data plane) ，左边部分是管理平面（Management Plane）。数据平面中 PHY层和MAC层下半部分由IEEE 802.11p协议定义，MAC层上半部分由IEEE 1609.4定义。LLC层是由IEEE 802.2协议定义。IEEE 802.11p协议对802.11的功能进行了必要的删减与修改，IEEE 1609.4协议引入了多信道(SCH和CCH)协作机制以加强WAVE标准的 MAC的性能，同时协助只有单个天线的设备能够在WAVE环境下正常工作并获得较高的传输效率[22]。

IEEE 1609.3定义了不同于传统TCP/UDP/IP的传输层和网络层，即WSMP(WAVE Short Message Protocol)协议层,也即WAVE短消息协议层。WSMP保证了数据的快速传输。另外IEEE 1609. 2协议定义了数据安全功能。管理平面，主要由IEEE 1609.3中的WME (WAVE Management Entity)构成，其主要的工作是应对服务请求、信道分配、服务广播监控、服务信道质量评估、IPv6配置和MIB维护等工作[22]。

## IEEE 802.11p研究



### IEEE 802.11协议介绍

IEEE 802工作组是全世界公认的局域网标准的权威，其在过去二十年内完成了大量的局域网领域标准协议的制定工作，其中包括IEEE 802.3以太网协议、IEEE 802.3z 100BASE-T快速以太网协议、IEEE 802.5 Token Ring协议[23,24]。从1991年到1997年，通过7年的辛苦工作，IEEE 802工作组制定了IEEE 802.11协议。IEEE 802.11协议是无线局域网领域内的首个得到国际广泛认可的协议。但是IEEE 802.11协议在在速率和传输距离上都不能完全满足人们的使用需要。因此，在其后的1999年，IEEE 802工作组便相继推出了IEEE 802.11b及IEEE 802.11a协议，用以对IEEE 802.11协议进行补充。在这之后，根据需求及硬件技术的提升，IEEE 802.11c/d/e/f/g/h/i/j/k/l/m/n/r/s/w/y协议也陆续被制定。

表2-1 IEEE 802.11协议族主要通信协议列表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 协议 | 发布日期 | 频带 | 有效传输距离 | 最大传输速度 |
| 802.11 | 1997 | 2.4-2.5 GHz | 100米 | 2 Mbit/s |
| 802.11a | 1999 | 5.15-5.35/5.47-5.725/5.725-5.875 GHz | 75米 | 54 Mbit/s |
| 802.11b | 1999 | 2.4-2.5 GHz | 100米 | 11 Mbit/s |
| 802.11g | 2003 | 2.4-2.5 GHz | 150米 | 54 Mbit/s |
| 802.11n | 2009 | 2.4GHz或者5GHz | 150米 | 600 Mbit/s |
| 802.11p | 2010 | 5.850-5.925GHz | 1公里 | 27Mbit/s |

IEEE 802.11协议标准同其他的IEEE 802标准一样，主要工作在ISO定义网络通信架构的最下两层，即物理层（PHY）和数据链路层（MAC）。IEEE 802协议定义了LLC层，即逻辑链路层，对上层透明化下层细节，从而使任何局域网的应用程序、网络操作系统或者像TCP/IP都可以在IEEE 802.11协议上兼容运行。

IEEE 802.11协议定义了两类通信设备：AP及STA。AP（Access Point）是工作基站，作为网络接入点实现无线网络与有线网络之间的桥接；STA（Station）表示是无线工作站，一般理解为无线终端设备。AP通常由一个无线输出口和一个有线的网络接口(802.3接口)构成，将多个无线的终端联通到有线的网络上。

IEEE 802.11协议定义了两种工作模式：基本服务集合模式（BSS，Basic Service Set）模式和独立基本服务集合（IBSS，Independent Basic Service Set）模式。在基本服务集合模式中，一个无线网络至少存在一个无线网络接入点（AP）和多个无线终端（STA），其中AP负责中心控制。这样的一个网络称为一个基本服务集合(BSS)，两个或者以上BSS构成可以构成一个扩展服务集合(ESS，Extended Service Set)。如果一个无线网络不存在无线网络接入点（AP），仅有多个无线终端（STA）组成，这样的一个网络即是独立基本服务集合 (IBSS)模式的网络，也即ad hoc模式网络。在一个IBSS模式的网络中，根据一定的算法规则选择其中一个STA作为中心控制点。

无论是BSS模式和IBSS模式下的无线网络，STA在与AP（或者作为中心控制STA）连接的过程中都需要关联（Association）和认证(Authentication)过程。首先STA会扫描所有信道，列举所有的可接入AP，然后便发起关联过程。未关联的STA就好像没有插入以太网插口的有线STA一样。关联之后的一个重要的过程便是认证。无线网络不能像有线网络一样，为每一个插口提供明确固定的实体保护，所以对每个一网络连接都必须依赖相应的身份验证的流程。

在网络通信的过程中总伴随着资源访问的竞争。无论是有线网络还是无线的网络，同一时间只能有一个工作站利用媒介进行数据传输。IEEE 802.11定义了两种方法控制传输媒介的访问使用：分布式协调功能（DCF，Distributed Coordination Function)和点协调功能(PCF，Point Coordination Function)。其中，分布式协调功能DCF是IEEE 802.11协议默认的控制传输媒介的访问方式。DCF的工作原理即是以二进制指数退避策略为基础的载波监听多址接入/冲突避免（CSMA/CA，Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance）。CSMA/CA使用两种策略来避免数据传输过程中的媒介访问冲突。首先终端设备在进行数据传输之前首先侦听，如果信道空闲，且经过一段随机时间（DCF Interframe Space）后仍然是空闲的，则进行数据的发送，如果信道忙，即有其他终端设备正在发送数据，则退避一定时间（Back off time）后继续侦听信道；其次，在终端设备发送数据之前可以首先发送一个RTS（Request to Send）帧，发送完成后等待目标终端回复CTS(Clear to Send)帧，然后才进行正常的数据传输。因为每一个终端设备在侦听信道时的等待时间是随机产生的，因此一般不会相同，所以减少了媒介访问冲突的概率。而数据发送前的RTS-CTS握手方式，因为RTS帧和CTS帧都相对的比较小，因此传输开销也非常小，对于发送很长的帧或者要求较高传输成功率时非常有用。

2005年，IEEE 802工作组制定了IEEE 802.11e协议，引入了EDCA ( Enhanced Distributed Channel Access)和HCCF ( HCF Controlled Channel Access )机制。相对于DCF中所有的数据帧共享一个发送队列，EDCA机制定义了4个发送队列（AC），如下图2-2所示。每一个发送队列具有一个发送优先级，高优先级的队列具有较高的数据发送机会，低优先级的队列则具有较低的数据发送机会。当上层有数据进行发送时，EDCA机制首先根据待发送报文的发送优先级选择相应的发送队列，然后队列中的报文继续通过DCF竞争以获得物理信道资源进行传输。



图2-2 EDCA实现机制

### IEEE 802.11p 新特性

IEEE 802.11p同其他的IEEE 802.11的衍生协议一样，基于相同的协议架构，作为IEEE 802.11的修正协议出现。2010年6月IEEE 802.11p正式版本发布。

在物理层规范上，IEEE 802.11p采用了类似于802.11a的OFDM技术，因此增强了抗干扰能力，提高通信的信道利用率，这对于快速变化的车辆环境下非常重要。信道带宽相对于IEEE802.11a规定的20MHZ变为10MHZ，从而多普勒效应减小，另外比较而言信道间隔变大也减少了码间串扰[25,26]。

IEEE 802.11p所定义的信道划分情况如图2-3所示，其频谱范围为：5.850-5.925GHz共有75MHZ带宽，除了5.850-5.855GHz为空闲频宽外，其余信道带宽都是10MHz。IEEE 802.11p定义了两种类型的信道：控制信道（CCH，Control Channel)和服务信道（SCH，Service Channel )。其中CCH负责传输对实时性要求较高的报文以及传输协议控制报文，比如WSA报文。SCH负责支持实时性和可靠性要求不高的应用或是娱乐方面的应用，如视频通话等应用。信道 178是CCH，信道172和信道184预留用于安全相关的应用，其他信道都是SCH。

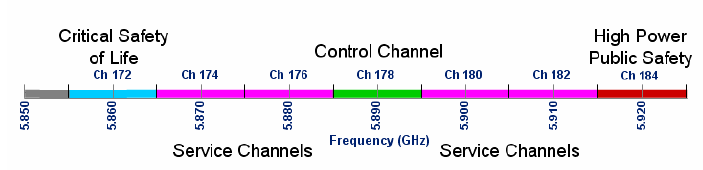


图2-3 WAVE频谱分配

在MAC层规范上，IEEE 802.11p和IEEE 802.11e相同，使用EDCA保障通信QoS。EDCA建立在DCF 的基础上，但是4个优先级发送队列：AC\_ BK (background traffic) , AC\_ BE (best effort traffic) , AC\_ VI (video traffic) ,AC\_ VO(voice traffic)。不同的发送队列有不同的竞争窗口（CW，Contention Window）和任意帧间隔（AIFS，Arbitration Inter Frame Space）。其中AC\_ VO发送优先级最高，AC\_ BK最低。

IEEE 802.11p协议将WAVE设备定义为“WAVE Mode”,它基于WAVE设备的特点，去掉了IEEE 802.11中的信道扫描，关联和认证等网络接入过程，使得STA可以在尽可能短的时间内接入网络，很好的满足了移动车载环境下的通信需求。另外，为了进一步明确区分WAVE标准和IEEE 802.11协议中相关实体，IEEE 802.11p引入了新的概念，使用RSU和OBU分别代替AP和STA；WBSS ( WAVE Basic Service Set)和WIBSS ( WAVE Independent Basic Service Set)分别代替BSS（Basic Service Set）和IBSS（Independent Basic Service Set）。IEEE 802.11p中所定义的RSU设备通常固定安装在道路两侧，并利用有线或无线的方式与互联网联通，在控制信道上周期性广播WSA ( WAVE Service Announcement)。WSA报文在WAVE网络中的作用就好像Beacon报文之于IEEE 802.11网络的作用。OBU设备放置于车辆内部，属于移动设备。OBU在进入到WBSS范围后，通过其接收到的WSA所提供的信息，选择并加入WBSS；OBU离开出WBSS通信区域后，退出此WBSS网络。

根据IEEE 802.11p协议的规定，满足协议要求的终端设备的有效的通信距离为1000米，最高通信速率能够达到27Mbps。然而经过相关研究单位和相关设备提供商的实验认证，WAVE设备只能以最高6Mbps的通信速率在300米范围内进行有效的数据传输。虽然如此，达到这样性能的WAVE设备己经可以满足于车联网的通信环境中大量的应用需求。

## IEEE 1609.4/1609.3研究

### IEEE 1609协议栈介绍

IEEE 1609系列标准是WAVE协议栈的主要组成部分，是美国电子电机工程师协会(IEEE)针对无线电通信技术应用于车载通信环境所定义的通讯系统架构以及一系列的标准化服务接口。制定IEEE 1609系列标准的主要目的是为了标准化车-车之间和车-基础设施之间的无线通信；同时为车载环境下的通信提供，包括交通安全、行车导航、自动收费以及交通管理等等广泛应用所需要的通信标准[27]。长期以来不同汽车生产厂商之间缺乏统一的通信标准，并且在汽车高速移动情况下进行无线通信存在很多的挑战，IEEE 1609的提出很好的突破了这些限制。IEEE 1609系列标准的制定考虑到了交通主管部门、汽车生产厂商、车辆服务提供商等各方面的生产管理需求。IEEE 1609系列标准协议如表2-2所示：

表2-2 IEEE 1609系列标准列表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 协议 | 发布日期 | 用途 |
| IEEE 1609.0 | 2012年  草案 | 总体描述了适用于车载环境下的WAVE / DSRC架构和服务，并介绍说明了其它IEEE 1609系列协议标准的作用和目的[28]。 |
| IEEE 1609.1 | 2006年  草案 | 定义了WAVE架构的资源管理功能，也即是各协议层及应用层之间的介质管理，另外定义WAVE设备具有额外的管理机制，使具有控制能力的节点能够远端控制一个区域内的所有节点[29]。 |
| IEEE 1609.2 | 2013年 | 定义了WAVE架构的安全机制[28]。 |
| IEEE 1609.3 | 2010年 | 定义了WAVE系统中的网路层通讯协定及管理机制[30]。主要内容是制定了短距离通信协议（WSMP），WAVE设备之间数据传输时间能够有效的降低了；定义了管理实体层(WME)，应用程序需要通过WAVE协议栈进行通信时需要向WME进行注册。 |
| IEEE 1609.4 | 2011年 | 定义了WAVE系统中MAC层的多信道协调机制[31]。WAVE系统中包含一个控制信道CCH与多个服务信道SCH，不同的WAVE设备之间必须利用统一的控制信道进行安全和管理信息的交换，并使用不同的服务信道进行其它业务数据的通信。因此WAVE设备必须能够定期或不定期的在控制信道和服务信道之间进行切换。 |
| IEEE 1609.5 | 2011年  草案 | 定义了WAVE系统中车-车以及车-路边基站之间的无线连接接入和通信管理服务[28]。 |
| IEEE 1609.11 | 2011年 | 主要针对WAVE系统中的电子收费应用。其主要内容为制定以WAVE设备为基础之电子收费系统标准[28]。 |
| IEEE 1609.12 | 2012年  草案 | 在WAVE协议栈中，尤其是在IEEE1609系列标准中使用了许多标识符，IEEE1609.12协议即描述了这些标识符的分配和使用[28]。 |



### IEEE 1609.4协议

IEEE 1609.4协议定义了网络通信的多信道协调机制，是对IEEE 802.11p协议所定义的“WAVE Mode”的扩展。多信道协调机制定义了利用一个控制信道（CCH）和多个服务信道（SCH）支持基于IEEE802.11p媒体访问控制层（MAC）和物理层（​​PHY）的多个通信信道之间的协调通信，具体协议内容包括：多信道优先访问策略，信道路由和协调，以及数据传输机制。

根据IEEE 1609.4协议的定义， CCH负责传输对实时性要求较高的报文以及传输协议控制报文，比如安全相关的车辆故障紧急通知、车辆防碰撞预警信息，以及传输管理控制相关的服务信息广播等；SCH传输实时性和可靠性要求不高的数据，比如道路阻塞、最优路径、天气预报、娱乐新闻等[32,33,34]。

如果通信设备是多天线的，多信道协调工作就比较简单，不同的天线工作在不同的信道即可，但是如果通信设备只有单个接收天线却需要在多个信道下工作，面对这种情况如何协调信道之间的切换作就是实践中的一个问题。针对这种情况IEEE 1609.4规定了单个接收天线情况下的信道协作机制。根据议标标准，CCH和SCH之间可以根据上层协议的要求轮流占用接收天线进行无线数据的收发工作。这样的信道协作机制要求通信对象之间必须严格的保持同步，任何一个时刻都工作在相同的信道上，如图2-4所示。因此，IEEE 1609.4协议规定使用GPS卫星信号进行所有设备间的同步。另外还有一种同步方式，可以使用RSU广播的WSA进行同步。对于具有多块无线模块的情形，便可使一块持续工作在CCH，另一块在不同的SCH之间切换，因此不存在同步的问题。



图2-4 CCH和SCH的间隔时间

IEEE 1609.4协议所定义的多信道协调机制架构如图2-5所示。其中，立足于IEEE 802.11p所定义的MAC实体之上，CCH和SCH也分别以独立MAC实体的方式存在。



图2-5信道协调机制中的两个MAC实体

图2-5中的Channel Router完成上层协议报文到CCH或者SCH的映射，其中协议控制报文以及对实时性要求较高的报文只能被路由到CCH信道上，而其它的对传输实时性和可靠性要求不高的数据被都将路由到SCH信道上。CCH和SCH都采用EDCA机制进行工作，具有4个发送队列（AC），每一个发送队列具有一个发送优先级。当MAC实现收到上层所要发送的MSDU之后，Channel Router根据相应的发送参数设置选择相应的MAC实体；接着相应MAC实体根据MSDU的发送优先级参数，将此MSDU放到合适的发送队列中；然后EDCA机制根据预先的设置选择发送优先级较高的发送队列出队一个MSDU并传给下层的IEEE 802.11p所定义的MAC实体；最后11p的 MAC实体通过DCF竞争以获得物理信道资源进行最终的数据发送。由此可见，在数据发送过程中MAC层需要经过两次竞争才能成功的完成一次报文发送。总之，在WAVE网络通信过程中优先级较高的报文可以得到快速的发送，优先级较低的报文会有相对的延时，通过这种机制WAVE网络保证了数据通信高效的QoS。

从LLC到MAC的WSMP数据包被路由至CCH上，此时WSMP头部包括此数据包发送的信道编号、发送功率以及数据速率。

从LLC到MAC的IP数据包被路由至SCH上。在交互IP数据包之前，需要在MLME上注册发送标识，发送标识定义了此IP交互所需要占用的SSH信道编号，发送功率、数据速率以及适配状态的发送功能及数据速率。同一时间只能和一个发送标识是激活状态。

### IEEE 1609.3协议

IEEE 1609.3协议定义了车辆间通信的无线接入网络层服务。

在WAVE协议栈的数据平面，IEEE1609.3协议定义了WAVE短消息协议（WSMP，WAVE Short Message Protocol）,这是一种全新的数据传输协议，主要对应于OSI模型的IP层和传输层，主要目的是提供寻址和报文传输，为高层实体提供WAVE网络通信服务，这些信息能够为交通用户带来安全和便利。在WAVE协议栈的管理平面，IEEE 1609.3协议定义了WAVE管理实体(WME，WAVE Management Entity)，主要提供了针对整个协议栈的通信管理服务。

当WAVE设备的通信发起方想要发送的数据时，其设定通信目的的MAC 地址为广播地址，然后设定WSMP的参数。然后通过WME的协助，将WAVE短消息协议(WSM，WAVE Short Message)送到底层，最后数据将以WSMP帧的形式在信道上传送。目的 WAVE设备收到WSMP帧后，会根据其中所携带的PSID (provider service ID)来将WSM转发给正确的应用程序；同时目的 WAVE设备也将记住源WAVE设备的网络地址，之后也可同样的方式发送数据给源WAVE设备。WSMP在CCH和SCH上都可以传送。

IEEE 1609.3定义了WAVE系统中设备的两种角色：服务提供者（Provider）和服务使用者（User）。顾名思义Provider是通信过程中服务的提供方，User是通信过程中服务的使用方。某个WAVE设备在建立特定服务之前，必须首先由某一个应用向WAVE协议栈发起Provider请求，然后协议栈在CCH上广播WSA，即进行WAVE服务信息广播，通知其它设备相应“服务”的建立。WSA帧由WME产生，包括了provider 所提供服务的所有相关信息，比如：服务提供者所在的工作信道、相应数据传输速率、服务的PSID、服务优先级、天线发射功率等等。User通过CCH收集周边的服务信息，其WME实体将其接收到的所有WSA保持为一个有效的服务列表，然后User的上层协议就可以通过该有效服务列表选择感兴趣的服务信息。User一旦选择了接收某个服务，则在本次CCH周期结束后，根据相应WSA所提供的信息在下一个SCH开始之际，将信道切换到与相应服务Provider一致的SCH。在该SCH中User便可接收来自Provider的某种具体的服务信息。在通信过程中，可以使用WSMP封包或者UDP/IPv6封包在SCH上进行信息交换。相对于使用WSMP封包，使用UDP/IPv6封包进行信息交换之前终端设备之间需要进行一个关联注册的过程，这将造成一定的通信时延。

对于实时性要求较高的应用，比如安全类相关应用，IEEE 1609定义了终端设备间可以在CCH上进行直接的WSMP通信。这是一种直接的对等通信方式，通信终端之间没有Provider和User之分，也就不需要WSA的广播，这样也就进一步缩短了通信延时。

## 本章小节

本章主要介绍了WAVE协议栈的主要组成协议IEEE 802.11p和IEEE 1609.4、1609.3协议的特性和机制。IEEE 802.11p协议是IEEE 802.11协议的衍生协议，由IEEE 802 工作组考虑到快速移动的车载环境所制定。与其他衍生协议相比较，IEEE 802.11p协议在竞争信道时同样采用了CSMA/CA的机制，但是其关联和认证方式有很大的不同。采用IEEE 802.11p协议的车载设备，在通信前可以不需要加入一个BSS，直接利用CCH信道即可进行通信。IEEE 1609.4规定了多信道协调的通信机制，IEEE 1609.3中定义的WAVE短消息协议WSMP是一种全新的路由层和传输层传输协议，可以实现在高速行车环境下的快速信息传递。

# 车联网通信终端设计



## 方案概述

通过前一章的论述，我们已经知道IEEE 802.11p与其他的IEEE 802.11的衍生协议差别很小，利用其它已经成熟应用的IEEE 802.11协议网卡来模拟IEEE 802.11p的功能是可行的。本文所提出的车联网通信终端设计方案即是利用已经广泛应用的IEEE 802.11网卡硬件，通过修改网卡驱动程序和上层协议程序来实现的。

本文所论述的内容是笔者所在项目组目前正在研究的WAVE开发项目中的一个子项目。该子项目的主要研究内容是车联网通信终端的设计，包括系统硬件设计及网卡驱动开发以及上层通信协议接口程序实现，基本的研究思路是采用Linux嵌入式技术实现设计方案。需要说明的是现阶段本文所依托的项目目标只是实现基于WAVE协议栈的通信终端的网络通信功能，对于诸如性能、用户界面、产品化等问题还没有做深化地考虑，所以还有更多的努力需要付出。

本设计的主要内容包括：

1. 无线通信终端系统硬件的搭建；
2. 无线网卡驱动中的IEEE 802.11p协议逻辑功能；
3. 网络通信协议中的IEEE 1609.4协议多信道协调控制功能；
4. 网络通信协议中的IEEE 1609.3协议网络层服务功能。

### 嵌入式技术介绍

所谓嵌入式系统，是指被设计用于特殊的目的，执行一个或多个专用功能的受控系统。嵌入式系统通常作为一个具有硬件和机械功能的设备的一部分存在；根据预先设定的规则或通过植入不同的编程软件，可以完成很多不同的组织和执行任务；一般嵌入于自动化机械和工厂设备中于用于监视、控制和辅助调节。当前嵌入式系统的主要应用领域从简单的烤面包机和微型机器人，到大规模过程控制系统，比如：机械制造，电力供应，安全防御，电子通讯，汽车电子，交通管制，航空控制，视频处理等等[[35,36,37]。

嵌入式系统立足于具体的产品应用，以计算机技术、半导体技术以及电子技术为研发设计基础，一般具有软件代码量小，高度自动化，响应速度快等特点。嵌入式系统的组成一般包括：嵌入式微处理器、外围辅助设备、嵌入式操作系统及用户应用程序等几个部分。相对于通用型计算机系统，嵌入式系统一般具有以下特点：

1. 嵌入式系统一般要求能够在无干扰的情况下长时间正常工作，不需要（或不可以）由终端用户的再编程设置或定期维护；
2. 嵌入式系统在必须在有限资源的情况下保证设计质量，包括：低成本，低功耗，小体积、高性能，安全性，可靠性和实时性等
3. 嵌入式系统具有功能可配置性和硬件可裁减性。通过根据用户不同的需要进行不同的优化能够有效的降低生产成本。并由于嵌入式系统通常进行大量生产，单个成本的节约，将带来巨大的规模效益。
4. 嵌入式系统通常集成度非常高，能够把通用CPU中许多由板卡完成的任务集成在芯片内部，从而有利于嵌入式系统设计趋于小型化，移动能力大大增强，跟网络的耦合也越来越紧密。

稳定可靠的操作系统以及完备强大的应用编程接口(API，Application Programming Interface)是通用型计算机的基本组成部分。操作系统的存在为应用程序的开发以及软件运行提供了平台，但是通用型计算机的操作系统一般都不是实时性操作系统。与此不同的是，一些嵌入式系统不需要操作系统就能够直接运行在硬件芯片上；但是这种嵌入式系统所能执行的功能往往比较简单，如果需要更强大的执行性能，更好的平台扩展性，嵌入式系统就需要植入合适的操作系统EOS (Embedded Operating System)，由嵌入式系统操作系统负责嵌入系统的全部硬件软件资源分配、作业调度，过程控制，以实现并行高效的执行应用程序。

目前，常用的嵌入式系统操作系统分类有多种方法，按收费模式划分一般分为两类：商用型和免费型。一般来讲，商用型嵌入式系统操作系统一般具有功能稳定、性能可靠、以及良好的售后服务和技术支持，如VxWorks、WinCE、QNX、pSOS、VRTX、Lynx OS、Hopen、Delta OS等；免费的嵌入式系统操作系统正如其名字所反映的，是免费使用的，因此在嵌入式设备开发时可以大大减少产品的投入成本，如Linux、μC/OS-Ⅱ、eCos、uITRON等。无论是商用还是免费，嵌入式系统操作系统都具有可裁减、可配置，实时高效、硬件相关、以及软件固化等突出的特点。

本设计所采用的嵌入式系统操作系统是近年得到飞速发展的Linux操作系统。Linux操作系统是一款完全免费并开发源代码的操作系统，是由Unix操作系统发展而来。最初Linux只是一个具有很少代码的操作系统内核，但是正因为它是开发源码的，随着全世界计算机爱好者的共同努力，今天Linux己经发展成一个功能强大的操作系统。Linux操作系统具有很高的可靠性和稳定性、多任务性和实时性、可裁减性和定制性等特点，因此可以很好的进行配置裁减使其适用于多种硬件平台的嵌入式系统上。

### 硬件方案

本文所设计车联网通信终端系统的硬件架构如图3-1所示：



图3-1 车联网通信终端系统硬件架构

硬件方案的开发平台选用天漠科技SBC8100的OMAP开发板，无线网卡选用思科wusb600n-v2无线网卡，GPS模块是OMAP开发板自带功能模块。此终端系统设备具有两块无线网卡，其中网卡A设置其一直工作于CCH控制信道，网卡B将根据系统控制将根据需要在不同的SCH信道上切换工作；GPS模块：用于整个系统时间的同步。因为终端系统具有两块物理网卡，如果不加区分，在信道扫描时一个设备就存在两个MAC地址，所以通过软件控制一个设备只取一个MAC地址，即统一选择工作于控制信道上网卡的MAC地址作为设备的唯一MAC地址。

根据WAVE标准的定义，WAVE设备分为两类：RSU ( Road-Side Unit)和OBU ( On-Board Unit )。其中，RSU所扮演角色是AP(Access Point)，一般固定安装在道路两侧；OBU设备属于车载设备。同时，WAVE标准的定义了设备工作的两种角色：服务提供者（Provider）和服务使用者（User）。WAVE系统中任何一个设备都可以成为是Provider提供服务，也可以作为User接受服务。因此从功能上讲，OBU和RSU的是一样的，除非一方永远充当Provider或是User；从性能上讲，两者的区别在于硬件性能和软件处理能力的差异，RSU一般要求物理性能更加强大。本文所设计的车联网通信终端不在硬件上区分RSU和OBU，在实际应用中根据上层的配置可自动设置成为RSU或者OBU。

最终完成的终端系统设备之间的通信，是一个设备的网卡A与另一个设备的网卡A之间以及网卡B与网卡B之间的通信。终端系统可以采用两种工作方式：网卡A与网卡B之间的多信道协调工作或是网卡A与网卡B的双信道同时工作，工作方式根据配置设定。

### 软件方案

本文所设计的车联网通信终端的软件框架如图3-2所示：



图3-2车联网通信终端软件系统框架图

本设计将充分利用已有的软件模块，比如Linux操作系统内核中已经存在的TCP/IP网络协议栈模块以及思科wusb600n的USB接口的无线网卡驱动程序。其中通过修改无线网卡驱动程序实现IEEE 802.11p协议规定的逻辑功能。GPS模块利用现有的GPS驱动程序进行工作。Linux内核使用2.6以上版本，通信协议栈必须包括，Socket接口程序，IPV6协议栈程序以及必要的内核API接口。

需要自己开发的程序模块包括：数据平面的WSMP模块，实现IEEE 1609.3所定义的路由层功能；LLC模块，用了整合WSMP和IPv6的数据报文；虚拟网卡层模块，作为一个驱动胶合层，实现IEEE 1609.4所定义的多信道协调控制功能；另外还有WAVE协议栈的管理平面的WME和MLME模块，相对于数据平面的功能模块为通信双方提供了数据传输通道，管理平面的WME和和MLME模块完成WAVE协议栈的配置，比如参数的设置与获取等功能。

本设计所实现的基于WAVE的通信协议栈的功能模块大都以内核模块的形式存在于Linux内核空间中，其中包括：数据平面的WSMP模块、 LLC模块和虚拟网卡模块；管理平面WME模块和MLME模块。系统运行时，基于WAVE的应用程序将以用户态方式运行；所有的协议栈模块都编译为一个内核模块，以内核态的方式运行。对于内核模块，用户可以使用命令动态将其加载进入Linux内核或者卸载。应用程序将通过系统调用的形式与协议栈模块进行通信利用其所提供的服务。

采用Linux提供的AF\_PACKET套接字作为数据平面方面WSMP模块数据传输时的套接字类型。应用程序在发送数据时，将所需要发送数据连同必须的参数通过Socket接口程序转交给WSMP模块，由WSMP模块完成WSM（WAVE Short Message）数据帧的填充，然后调用LLC模块功能函数向下层发送数据。

实现LLC模块是因为WAVE协议需要同时支持IPv6和WSMP协议。LLC层的作用是识别网络层协议，为上层提供统一的接口，并进行服务。LLC模块根据上层程序模块提供的参数，判断数据帧应该通过CCH还是SCH信道进行发送，然后调用虚拟网卡模块接口程序，最终将数据通过A网卡驱动程序或是B网卡驱动程序发送出去。

在应用程序接收数据时，A网卡驱动程序或是B网卡驱动程序解析收到的数据报文后，通过虚拟网卡模块将数据交到LLC模块。WAVE协议栈中的LLC与MAC层进行沟通的帧格式MSDU格式如图3-3所示：



图3‑3 LLC与MAC层进行沟通的MSDU格式

802.2头部中的EtherType字段如果为WSMP，则其之后为WSMP头及WSMP数据；如果802.2头部中的EtherType字段如果为IP，则其之后为IPv6头及IPv6数据。LLC模块解析数据报文后通过判断EtherType将数据交给WSMP或者IPv6。最后数据经过WSMP和IPv6解析处理后进一步交给应用程序。

管理平面的WME模块和MLME模块在系统开始时将作为一个单独的内核进程进行工作。WME模块完成协议栈的管理配置，应用程序通过Netlink套接字与WME模块进行通信；协议栈的其它功能模块通过信号量或者函数调用方式使用WME的服务；WME采用函数调用的方式使用MLME的服务；MLME采用信号量的方式与WME内核线程进行异步通信。

设备开始工作时，嵌入式平台所运行的虚拟网卡模块对物理网卡进行检测，如果没有找到两块物理网卡则报错，成功检测两块物理网卡后将其虚拟成一块网卡，并指定其中一块无线网卡工作于CCH控制信道，另一块无线网卡工作于服务信道SCH，并分别初始化其参数（参数包括信道、EDCA）。GPS模块由也虚拟网卡模块控制，用于网卡数据通信时的时间同步。

根据WAVE协议栈的定义，WAVE设备应该支持WBSS和WIBSS两种工作方式，但是目前阶段只考虑WBSS的工作方式，没有实现WIBSS的情况。

## 具体实现功能说明



### 网络建立

当RSU设备启动以后，将只工作于CCH信道。此时如设备需要提供某项服务，则将建立新的网络（WBSS）。建立网络的流程如下：

1. RSU设备的上层应用设定启动某项服务，上层应用通过系统调用与WME通信，进行协议参数设置并开始相应的初始化工作，然后RSU设备就以主动方式或被动方式通告知周围新的网络已经建立。其中主动方式即RSU设备在在CCH信道上持续发送服务广播WSA，此时网络覆盖范围内的OBU设备将可以在CCH信道上收到此WSA；被动方式即在RSU设备在CCH信道监听到OBU的网络探测报文后，一定时间周期性发送的WSA，告知其网络的存在。
2. 上层应用通过系统调用与WME通信，开始相应的初始化工作包括：分析信道的负载情况，选择合适的SCH信道，然后就在通信协议更下层注册利用此SCH信道传输IP数据，确定建立工作于此SCH信道的网络。每一个网络都以自己的BSSID进行区分和标识。网络的BSSID即网络建立者的工作于CCH信道网卡的MAC地址。
3. 建立网络后，此RSU设备作为网络的建立者，将在固定的CCH和选择的SCH信道上进行多信道协调工作。

网络建立时，可根据配置参数设定了网络的的工作方式持续性还是非持续性的。如果网络为持续性的，则在每一个CCH周期上其WSA都广播一次；如果为非持续性网络，则根据参数设定WSA广播一定次数后，此网络即结束。

### 网络加入

OBU设备启动以后，都将工作于CCH信道。此时设备可以通过以下流程加入到网络：

1. 上层应用通过系统调用与WME通信，设置OBU设备以主动方式还是以被动方式开始工作，主动方式即OBU设备在CCH信道上发送网络探测帧，周围网络的建立设备RSU收到探测帧后将在CCH信道上立即发送自己的WSA，告知其网络的存在；被动方式即OBU设备在在CCH信道监听一定时间收集RSU主动周期性发送的WSA。
2. OBU设备在一定时间内收集收到的WSA，然后根据所设定的策略分析其收到的WSA，选择出合适的网络，然后在所选网络所设定的SCH信道上，经过现有的802.11协议所规定的身份验证和关联处理等操作，设备加入此网络。
3. 加入网络后，OBU设备将在所在网络设定的SCH信道和固定的CCH信道上进行多信道协调工作。

### 网络退出

已经加入网络的OBU设备需要退出网络时，只需要本设备的应用程序通过与WME通信，重置相应的标志位（BSSID、dot11OCBEnabled）即可，不必进行网络通告，此时设备重新回到只工作于CCH信道状态。此时对于建立网络的RSU设备而言，如果在持续的一段时间内没有收到相应OBU的通信，及自动删除此设备信息，认为此OBU已经退出了网络。

### 网络关闭

当建立网络的RSU设备需要关闭网络时，也只需要应用程序通过与WME通信，重置相应的标志（BSSID、dot11OCBEnabled），并清除所有的网络信息即可，不必进行网络通告。此时设备重新回到只工作于CCH信道状态。此时对于已经加入此RSU设备所建立网络的OBU设备，如果在持续的一段时间一直通信失败，即认为网络已经关闭，此OBU将重置相应的标志（BSSID、dot11OCBEnabled，重新回到只工作于CCH信道状态。

### IEEE802.11p协议功能

1. 未加入网络的设备也可以发起通信

dot11OCBEnabled属性为IEEE802.11p的MAC层新定义属性，用来按指示设备发送数据帧时是否需要加入一个网络，其默认值为假。设备正常运行时，如果此属性为假，则此设备需要加入到网络中才可以发送数据，如果为真则此设备没有加入任何网络，但此时即可进行直接通信。

dot11OCBEnabled为真时的通信功能及要求如下：

1. 无需同步、认证、关联、指定为协议IEEE 802.11标准中11.1及11.3节所定义的其中一种帧类型，以及无需数据加密，此时设备可以即发送管理帧，包括IEEE 8011.11标准中7.4节定义的行动帧，及（如果设备具有一个TSF定时器）定时广播帧。
2. 设备可以发送，除PS-Poll（省电-轮询），CF-End(无竞争周期结束)， 和CF-End + CF-Ack（无竞争周期结束+无竞争周期确认）之外的控制帧。
3. 设备可以发送 Null，Qos Data和Qos Null的数据帧.
4. 设备在发送帧时设置BSSID域为通配符BSSID值（全1）。
5. 另外此时通信时，MAC帧结构中ToDs域及FromDs域都要设为0。
6. 具有相同的BSSID的设备，即在同一个网络中的设备，无需任何其它身份确认和连接即可直接进行通信

同一个网络（WBSS）中的所有终端设备具有相同唯一BSSID标识。当设备已经加入到网络中，即存储此网络的BSSID。在设备间进行通信时只要具有相同BSSID，则MAC层无需任何其它身份确认及连接即可直接通信，其它鉴权过程由上层定义。

### IEEE 1609.4/ IEEE 1609.3协议功能

1. 支持CCH及SCH的多信道协调工作方式

CCH信道广播及发送有关安全的信息及服务通告。SCH信道发送其它数据业务信息。

当设备启动以后，都将只工作于CCH信道。建立或加入网络（WBSS或WIBSS）后设备将在CCH信道和网络设定SCH信道上协调工作。

对于具有多个收发天线的WAVE设备，可以同时在CCH信道和SCH信道上进行数据收发工作，但是如果设备只有单个接收天线，则不能够同时操作多个无线信道。此时就需要对CCH信道和SCH信道的进行协调工作，IEEE 1609.3协议定义了四种切换建议，如图3-4所示：

1. 持续工作于CCH信道。在这种工作方式下，WAVE设备只能传输WAVE短消息（WSM），用于安全相关及管理控制相关的应用，比如服务信息的广播、车辆故障紧急通知、行车防撞预警等；而无法传输普通网络IP类信息。
2. 交替工作于CCH与SCH信道。在这种工作方式下，CCH信道与SCH信道交替进行数据收发工作。一个CCH收发时隙（CCH Interval）和一个SCH收发时隙（SCH Interval）一起构成一个同步时隙(Sync Interval)。具体CCH收发时隙和SCH收发时隙的长度由配置属性dot4CchInterval和 dot4SchInterval决定。另外需要说明的时，收发时隙之间都有相应的保护时隙。
3. SCH信道抢占工作。在这种工作方式下，每一个同步时隙(Sync Interval)的开始，设备必需工作在CCH信道，但是根据上层协议的需要，SCH收发时隙可以抢占CCH收发时隙的工作时间。
4. 长时间持续工作于SCH信道。这种工作方式适用于静止或移动速度相对缓慢的通信环境，普通网络业务信息大量传输，安全相关及管理控制相关信息传输量小的应用需求情况下。

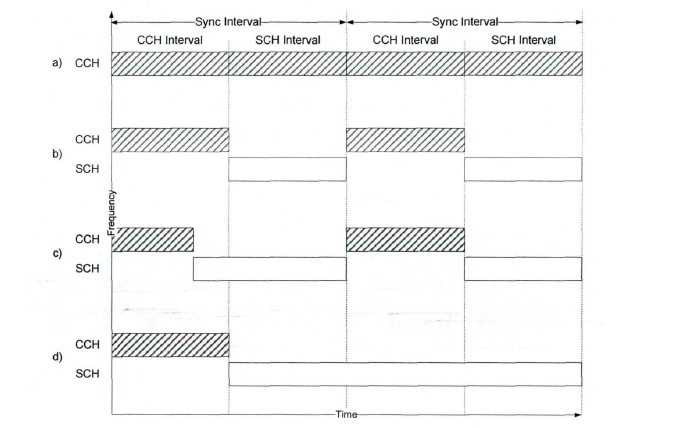


图3-4信道切换方案

本文所设计车联网通信终端设备具有两个物理网卡，所以可以在CCH信道和SCH信道上同时进行数据收发工作；但是，也可以通过设置工作方式，采用上述信道协调的工作方式。默认情况下，本文所设计车联网通信终端设备采用等时隙交替工作于CCH与SCH信道。

1. 支持WBSS基站工作方式

不同于以前的BSS基站被动服务，WBSS基站采用广播主动服务的形式，向它的覆盖范围的OBU发出一个服务广播（WSA），若OBU单元需要服务，它可以用这个接收到的WSA，加入此 WBSS。

WAVE把网络设备分为两种角色：Provider和User。其中Provider是服务提供者，即建立网络的设备，在CCH信道上主动广播WSA，比如RSU；User是服务使用者,即接收WSA并申请加入网络的设备，比如OBU。具体如下：

1. 充当Provider的设备启动，Provider开启了一个WBSS，并在CCH信道上广播WSA ( WAVE Service Announcement )。WSA帧由WME产生，包括了provider 所提供服务的所有相关信息，比如：服务提供者所在的工作信道、相应数据传输速率、服务的PSID、服务优先级、天线发射功率等等。
2. 当充当User的设备位于WBSS的通信区域内时，会在CCH上接收相应的WSA。然后User设备的WME实体解析此WSA，并将所有WSA保持为一个有效的服务列表。根据相应的选择或者配置，User设备的上层应用程序选择需要此WBSS所提供的服务。然后此User设备的底层管理实体按照WSA所提供的参数信息进行相关的配置， 完成加入此WBSS的工作；
3. 当User完成加入WBSS的相应配置后，就可以认为Provider和User之前建立了一条通信链路。不同于以前 DSRC相关标准中的规定，此时双方就可以进行平等的数据信息交互，而不是服务提供者只能主动的发送命令报文，而服务使用者只能被动发送响应报文。

当在User设备底层管理实体检测到离开WBSS的覆盖区域时，或者通信过程结束之后User需要退出WBSS，则上层应用程序向底层管理实体发出退出指令时，底层管理实体进行相应的设置后向上层应用发出异步结束通告。于是Provide和User之间的数据交互到此结束。

1. 支持WIBSS工作方式

WIBSS与以前的WBSS方式基本相同，只是采用As-hoc方式组网（OBU与OBU的通信）。应用程序同样分为Provider和User两种角色。WIBSS的建立者即Provider。不过目前WIBSS的工作方式尚没有实现。

## 本章小节

本章主要介绍了车联网通信终端的设计方案，包括硬件设计方案以及软件设计方案，并说明了车联网通信端所应实现的具体功能。本设计方案的主要思路是采用Linux嵌入式技术，利用已经广泛应用的IEEE 802.11网卡硬件，通过修改网卡驱动程序来实现IEEE 802.11p所的定义的逻辑功能，并通过实现上层网络通信程序通过来实现WAVE协议栈的所定义的其它功能模块。所有协议栈的功能模块统一编译为一个Linux内核模块，用户可以通过命令行动态将其加载进入Linux内核或者卸载。应用程序通过系统调用的形式利用协议栈模块所提供的服务。本设计方案目前只是着眼于实现网络通信功能，暂时没有考虑性能、用户界面、产品化等问题。

# 无线定位系统研究

车辆定位对于行车安全具有重要的使用价值。目前车辆定位技术应用广泛的是基于GPS的室外定位技术。但是，GPS信号受到卫星轨道误差，时钟同步误差以及信号传播误差等因素的影响，定位误差比较大，尤其是应用在人口稠密的城区、建筑物室内、交通隧道等环境中，精度很难满足应用要求。然而具体到WAVE技术，因为在实际使用中WAVE系统需要设置大量的RSU（Road-Side Unit），即路边单元设备，那么利用这些RSU进行行车定位将具有很好的研究价值。

本章即在前一章提出的车联网通信终端设计方案的基础上实现一个无线定位系统。



## 无线信号传播特性

在利用无线电进行通信的环境中，因为传播环境的复杂多变致使无线电信道也呈现复杂多变的特征，这对于无线传输质量有着严重的影响。同时在工程实践过程中，必须根据无线信号的传播特性来设计基站点的布置；因此，研究无线信号的传播特性对于研究无线网络规划和基于无线信号通信的应用具有非常实现的意义。其首先需要考虑的问题就是无线传播环境对信号质量的影响，也即是研究无线电信号在空气传播过程中的播损耗的问题。也因此，我们必需建立无线电信号的传播模型来对无线电传播过程中的信号衰减情况进行建模。

经常长期有实践观测和理论分析，研究者们发现在，在无线电传播过程中有信号衰减主要由三个原因造成的：无线信号传播路径损耗、多径衰落以及无线信号的慢衰落。

其中，无线信号传播路径损耗是因为在无线信号在传播过程中的弥散特性造成的；这种损耗一般也叫做传播介质空气对无线信号的过滤作用。多径衰落通常是因为无线信号的传播过程中因于物体反射的影响，产生多个通过不同路径通达接收机的信号，这些信号经过叠加后变成变信号，从而造成接收信号的时延扩展衰落[40]。无线信号慢衰落是因为移动接收台在移动过程中，因为地形起伏以及周围建筑环境的变化造成的相对于多径衰落较慢的衰减变化。除了上述三点主要原因，对无线信号产生影响和干扰还有通信环境中一直存在的高斯加性噪声，其一般是由热噪声、雷电噪声等组成；另外还有多个用户的相互干扰，这些噪声干扰一般统称为高斯白噪声[41]。

自由空间在无线通信领域定义为充满了均匀理想介质的空间，在此自由空间中没有地面或其它任何物体的影响。无线电信号在自由空间传播过程中没有反射、折射、散射、绕射和吸收等现象，只会随着空间扩散而有规则的衰减。无线电在自由空间传播时的所产生的损耗是定义无线信号发射器等效全向辐射功率与接收器各向同性接收天线所接收到的可用功率之比。无线电自由空间传播模型只有在在视距情况才使用。

使用分贝表示，无线信号在自由空间中的路径损耗模型是公式（4-1）：

 （4-1）

其中d为接收器与发射器的距离，单位为km，f是无线电发射功率，单位是MHz。

在实际的无线电传播时，传播空间并不是如上所述的自由空间，并在在接收器与发射器的距离较短时，可以近似的当作是自由空间。不过，此时无线电路径损耗公式需要调整为公式（4-2）：

 （4-2）

其中n是无线信号的衰减因子，一般取为2~4。

另外考虑到实际应用中，无线在在空间传输时都存在反射、折射、散射、绕射和吸收现象等，无线信号不仅有传播路径损耗还有多径衰落、及慢衰落以及高斯白噪声的影响。此时，无线电路径损耗公式需要调整为公式（4-3）：

 （4-3）

其中d0取1M，PL(d0)即为无线信号传播单位距离的路径损耗；X是均值为0的高斯分布随机数，其标准差范围为4~10。

接收器接收到的无线信号强度RSSI（dBm）由公式（4-4）表示：

 （4-4）

其中，PT是发射器的无线信号发射功率（dBm），GT是发射天线增益。

## 无线定位方法概述

利用路边基站实现无线终端的定位目前有很多种方法，例如：Cell ID定位、基于到达时间(TOA ，Time Of Arrival)的定位、基于到达时间差(TDOA，Time Difference of Arrival)的定位、基于到达角度(AOA ，Angle of Arrival)的定位，基于接收信号强度指示(RSSI，Received Signal Strength Indication)的定位等等。

Cell ID定位技术是利用无线通信基站进行无线定位的最简单的一种方法。无线终端通过查询其通信所接入的基站的位置，来粗略的估计自己所在的位置。



图4-1 Cell ID定位

基于到达时间(TOA，Time Of Arrival)的定位方法是利用无线信号在传播过程中的时间消耗进行通信双方无线设备之间的测距；然后利用不在同一直线上的多个测距进行几何计算从而实现定位的。



图4-2 基于到达时间(TOA ，Time Of Arrival)的定位

基于到达时间差(TDOA ，Time Difference of Arrival)的定位方法是通过测量两个不同信号（如超声波和无线信号）的不同传播速度差来计算两个无线通信终端之间的距离；然后利用不在同一直线上的多个测距进行几何计算从而实现定位的。



图4-3 基于到达时间差(TDOA ，Time Difference of Arrival)的定位

基于到达角度(AOA ，Angle of Arrival)的定位方法是通过设置方向性天线或阵列天线来确定无线信号的角度信息，进而得到天线到信号发射终端的方位线；再利用几何原理求出无线终端之间的距离，然后进行几何计算从而实现定位。



图4-4 基于到达角度(AOA ，Angle of Arrival)的定位

基于接收信号强度指示(RSSI，Received Signal Strength Indication)的定位方法是利用无线信号强度指示RSSI和无线信号在空气中的传播损耗模型进行测距；然后进行几何计算从而实现定位。

Cell ID定位技术的定位特点是速度快，方法简单，但是定位精度与基站的密度与终端切换方式有很大的关系，一般精度较差。正如前一小节所介绍的，无线信号在传播过程中具有吸收衰减、反射、衍射、多径衰落和阴影效应有传播特性，以上所述的基于测量的定位方法的准确性和精度都必将受到很大的影响。其中TOA 、TDOA、AOA又要求较高的测量灵敏度实现起来误差会更大。对比之下，基于信号强度指示(RSSI，Received Signal Strength Indication)的定位目前在学术研究领域和产品生产领域都得到了广泛的关注，其主要特点是无需给无线终端添加任何硬件就可以利用信号强度实现无线终端定位[42,43,44,45,46]。

基于信号强度的指纹识别(Fingerprinting)属于基于接收信号强度指示RSSI的定位方法的范畴，但是这种方法并不是利用信号传播模型进行测距然后进行定位，而是通过无线信号在特定物理位置的位置指纹信息进行定位。所谓“位置指纹信息”是指，无线信号在传播过程中经过吸收衰减、反射、衍射、多径衰落和阴影效应后，在不同的物理位置形成特定的信号状态。本文即是利用接收到的RSU的信号强度的RSSI作为位置指纹，实现无线终端的定位。

## 位置指纹定位方法

位置指纹定位方法在定位过程中分两个阶段：“离线训练”和“在线定位”。定位主要流程如图4-5所示



图 4-5 位置指纹定位方法

1. 离线训练阶段

在离线训练阶段，定位系统在各个信号采集点收集信号指纹信息，并最终建立一个位置指纹数据库。具体工作流程是无线终端在各个信号采集位置测量不同的无线接收点AP的RSSI值，然后通过特定的处理后同相应的AP标识信息（比如AP的位置信息）记录到数据库中，从而建立位置指纹数据库。

1. 在线定位阶段

在实际的定位过程中，无线终端将首先扫描周围所有接入点AP所发出信号的RSSI，记为矢量(RSSI1，RSSI2，RSSI3，…RSSIN)，再根据设定的匹配计算方法将此矢量与指纹数据库中的数据进行匹配，最终对待定位置做出最佳的估值。目前，常用的指纹匹配方法有：最近邻法（NN, Nearest Neighborhood)、K近邻法(KNN，K Nearest Neighborhood)、K加权近邻法(WKNN, Weighted K Nearest Neighborhood)、贝叶斯概率算法、BP神经网络算法等。



### 最近邻法

最近邻法[38]是最基本的指纹定位方法。取位置指纹的采样位置为。位置指纹的产生是通过在一段时间内的测量各AP的信号RSSI数据，然后计算每个AP的RSSI平均值，每个平均值形成与该位置相关联的信号RSSI矢量中的一个元素。指纹信息可以表示为，其中表示指纹信息的位置，标识第j个AP在位置处得RSSI强度。

在定位阶段，无线终端首先扫描各AP接入点的信号强度RSSI，取为,其中n代表AP的数量，表示第i个AP信号强度RSSI。然后利用公式(4-1)所表示的计算处理方法，计算o与每一个指纹之间的距离。对比所有指纹距离最终可以求得和o具有最小距离的指纹数据。然后即认为此指纹数据的位置就是无线终端的所在的位置。

 （4-5）

公式（4-5）中，当p=1时计算距离是曼哈顿距离，当p=2时是欧几里德距离。在具体的定位实践中我们可以根据需要设置p的取值。实验表明当采用欧几里德距离来计算指纹距离时可以获得较好的定位效果。

### K近邻法

K近邻方法[39]是对最近邻法改进。相对于最近邻法，K近邻方法是一种基于学习的匹配方法。在计算处理时，并不是使用与无线终端信号矢量距离最小的指纹数据来估计定位结果，而是获得距离最近的K(K>=2)个指纹数据，然后计算平均位置并作为定位结果。K近邻方法可以有效的减少异常数据的影响，提高定位的准确性，其计算公式如（4-6）（4-7）所求。一般在计算矢量距离时，取p=2时的欧几里德距离：

 （4-6）

 （4-7）

### K加权近邻法

K加权近邻法又是在K近邻法基础上的改进。K加权近邻法也是一种基于学习的匹配方法。不同于直接利用K（K>=2）个指纹数据的相对位置的均值估计无线终端的位置，而是利用一个加权系数增加近邻指纹数据的权重，最终估计无线终端的位置。具体的计算公式如（4-8）（4-9）所示：

 （4-8）

 （4-9）

公式中参数是为了避免除0所设置的，一般取较小值，比如0.0001。

### 贝叶斯概率法

贝叶斯概率法是使用统计概率的方法估计无线终端的位置。在定位阶段，无线终端获得各AP接入点的信号强度RSSI信号矢量，针对此信号矢量每个位置指纹信息对应一个条件概率值，记作。其贝叶斯推导公式如下：

 （4-10）

的意思是当RSSI信号矢量为o时，无线终端位于的概率；是指纹信息先验概率，在均匀分布的情况下取，其中L为指纹数据库中的指纹信息总数；是似然概率，其计算公式如下：

 （4-11）

由概率统计知识可知在每一个信号采样点处，每个AP信号的RSSI服从高斯正态分布，则：

 （4-12）

最后最终无线终端的位置估计计算公式如下，其中M为选取的参考点数。

 （4-13）

### BP神经网络法

所谓BP神经网络法（Back-Propagation Neural Networks），即是一种多阶段的动态监督学习分类方法。BP神经网络法是目前应用最广泛的人工神经网络；能够可有效地解决输入与输出非线性的映射问题。

只具有输入和输出的两层神经网络在具体的应用中具有很大的限制，分类能力不是很强。1969年，Minsky 和 Papert证明具有一个隐藏层的三层神经网络（图4-6）可以克服很多限制，具有非常好的分类能力，但是并没有给出一个有效的调整输入层到隐藏层权重的方法。直到1986年Rumelhart, Hinton 和 Williams才提出了完成的权重解决方案，从此BP神经网络法开始获得广泛的注意，并引起人工神经网络研究的热潮。

BP神经网络可以具有多个隐藏层，隐藏层越多其分类能力也越强，但是具有单个隐藏层的神经网络比较简单并可以满足一般应用需求，因此得到广泛的应用。BP神经网络的基本思想是信号的正向传播和误差的反向传播。所谓信号的正向传播，即输入样本由输入层进入网络，经过隐层逐层处理后，由输出层输出。所谓误差的反向传播，即当输出层的实际输出与期望输出不同时，则误差的由输出层到隐藏层再到输入层逐层反向传播，在此过程中误差将分摊给各层的所有处理单元，并根据此误差修正各处理单元权重。在数据分类之前，经过一定量数据样本和一定次数的信号正向传播和误差反向传播的学习过程，整个系统处理单元权重将获得一个最优结果。



图4-6 三层BP神经网络

在图4-6所示有三层BP神经器中，取输入向量为，隐藏层输出向量为，输出层实际输出向量为，输出层期望输出向量为，输入层到输出层的权值为，隐藏层到输出层的权值矩阵为，则各层之间的信号关系如下：

对输出层有：

 （4-14）

对隐藏层有

 （4-15）

上式中，变换函数均为单极性sigmoid函数

 （4-16）

其中b为阈值，Sigmoid函数具有连续可导的特点，其导数为：

 （4-17）

以上共同构成三层感知器的数学模型。

## 基于聚类的快速定位

位置指纹数据库建立之后，在线定位阶段需要利用上一小节介绍的匹配方法将待定点所获得的RSSI矢量(RSSI1，RSSI2，RSSI3，…RSSIN)与指纹数据库中的指纹数据进行匹配。在匹配的处理过程中，RSSI矢量必需与每一个指纹数据进行匹配计算，才能找到最佳的估计位置坐标。如果数据库的指纹数据量很大，则匹配过程将非常的耗时，这也将严重限制定位使用的效果；甚至，如果定位应用对于实时性要求较高则根本不可以满足使用。

另外无线信号都有一定的覆盖范围，根据IEEE 802.11p的定义WAVE终端的覆盖范围是1公里，但根据实践验证，一般认为WAVE终端有效覆盖范围为300米；因此考虑到汽车的移动能力，即使实现小规模的定位应用（比如10平方公里），也需要建立很多的RSU基站。那么如果保证指纹数据矢量长度固定，即每一个指纹数据都包括所有AP的RSSI，（接收不到AP信号时认为此AP的RSSI为无穷小值），则指纹数据矢量将会非常的长；这将一方面不利数据的处理，造成数据传输和定位的延时，另一方面也造成数据库严重的数据冗余。

基于以上的原因，在利用位置指纹定位方法对行驶车辆进行定位时必须有解决处理延时以及数据冗余的问题。如果使用聚类的方法在离线训练时对采集到的指纹数据进行分类则可以有效的解决在线匹配时的数据处理量。另外在采集指纹数据时不固定指纹矢量的长度，采用动态的方法处理存储，则一方面可以进一步减少定位延时，另一方面有效缓解数据库的数据冗余。

离线训练阶段对指纹数据进行聚类处理的方法有很多种，考虑到简单性以及实用性，可以基于指纹数据采样点接收到的所有AP的强度大小来进行简单的聚类。具体即在针对每一个AP建立一个聚类分类，在离线训练阶段采集指纹数据时，对接收到的所有AP的RSSI矢量(RSSI1，RSSI2，RSSI3，…RSSIN)进行排序处理（接收不到信号的AP不考虑），以RSSI最大的AP为分类依据，进行分类处理。当处理在线定位阶段的匹配处理时，对待定位置可以接收到AP信号的RSSI矢量，进行排序处理，取得RSSI最大的AP信息，根据此AP获得指纹数据库中的指纹分类，然后将此RSSI矢量与指纹分类中的指纹数据进行匹配处理，最终获得最佳估计位置。在匹配的过程中对行指纹数据存在而待定位置点RSSI矢量中不存在的AP的RSSI，匹配时以某个设定的最小值计算；而对于待定位置点RSSI矢量中存在但指纹数据中不存在的AP的RSSI直接忽略。通过这种速度聚类处理除了可以减少定位延时、缓解数据库的数据冗余，也可以减少定位的精度，因为在指纹的匹配的过程中大大减少了匹配量也同时大减少了异常指纹数据的影响。

## 系统实现

本文利用WAVE系统RSU的信号强度的RSSI作为位置指纹，实现无线终端的定位。整个定位系统的架构如下图4-7所示：



图4-7 定位系统架构

其中，RSU是以AP接入点的角色放置在固定的位置，并利用有线或无线的方式将其与定位服务器连接；OBU代表移动设备，在离线训练阶段在每一个指纹采样点采集的位置指纹信息提交定位服务器构建指纹数据库，在线定位阶段OBU采集可以接收到的RSU的RSSI信息后请求定位服务器的进行定位处理；定位服务器（Position Server）负责建立和维护位置指纹数据库，并处理定位信息。

RSU和OBU都是采用前一章所设计的车联网通信终端，以Linux嵌入式设备方式工作，其中位于OBU上的定位系统客户端应用软件用python语言开发；定位服务器需要较强的数据处理和存储能力，本定位系统设计使用一台具有I3处理器的笔记本实现，操作系统是win7，使用的数据库是SQL server 2005 数据库，开发语言是C#；各设备间通过网络传递数据，定位服务所使用的通信信道是SCH信道。

整个系统采用的开发模式是C/S模式。其中定位服务器的程序采用MVC的开发架构。MVC开发架构将程序的模型、视图、控制层分离，提高模块内的聚合性，降低模块间的低藕合性；具有高重用性、可维护性的优点，对于系统的部署、维护与以后的扩展等工作非常有利。定位服务器的程序架构如图4-8所示。



图4-8 定位服务器程序架构

定位系统的客户端程序主要工作是利用车联网通信终端的网络API接口扫描周围RSU设备的RSSI、进行网络数据的交换以及对通信数据的解析处理，其功能比较简单。客户端程序结构如图4-9所示。



图4-9 定位客户端程序架构

数据库设计如下图4-10所示，其中，数据库表t\_location存储位置指纹数据的采样点位置信息，数据表tb\_ap存储网络中所有的RSU设备信息，数据库表t\_fingerprint存储位置指纹数据在每个采样点所接收到的每一个RSU的RSSI的信息。

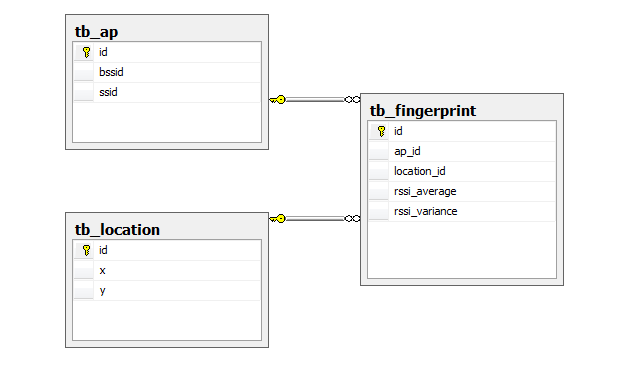


图4-10 数据库结构

系统的工作过程如下：

1. 离线训练阶段，OBU设备在不同的位置采样点以主动方式扫描其所在范围内可以探测到的WSA，分析其所收集到的WSA，选择加入某个RSU所建立的网络；然后设定此OBU设备的扫描时间间隔和扫描次数，扫描周围的RSU基站，收集其RSSI值并以此组成当前所在位置的指纹信息，最后通过网络通信经RSU提交至定位服务器构。对每一个指纹采样点依次做同样的处理，最终采集的所有指纹信息构建成为完整的指纹数据库。
2. 在线定位阶段，OBU设备以主动方式扫描其所在范围内可以探测到的WSA，然后选择加入某个 RSU所建立的网络；然后扫描周围的RSU基站，收集其RSSI值并以此组成当前所在位置的RSSI向量，最后通过RSU设备向定位服务器查询其位置信息。

离线训练阶段OBU设备添加位置指纹操作界面：

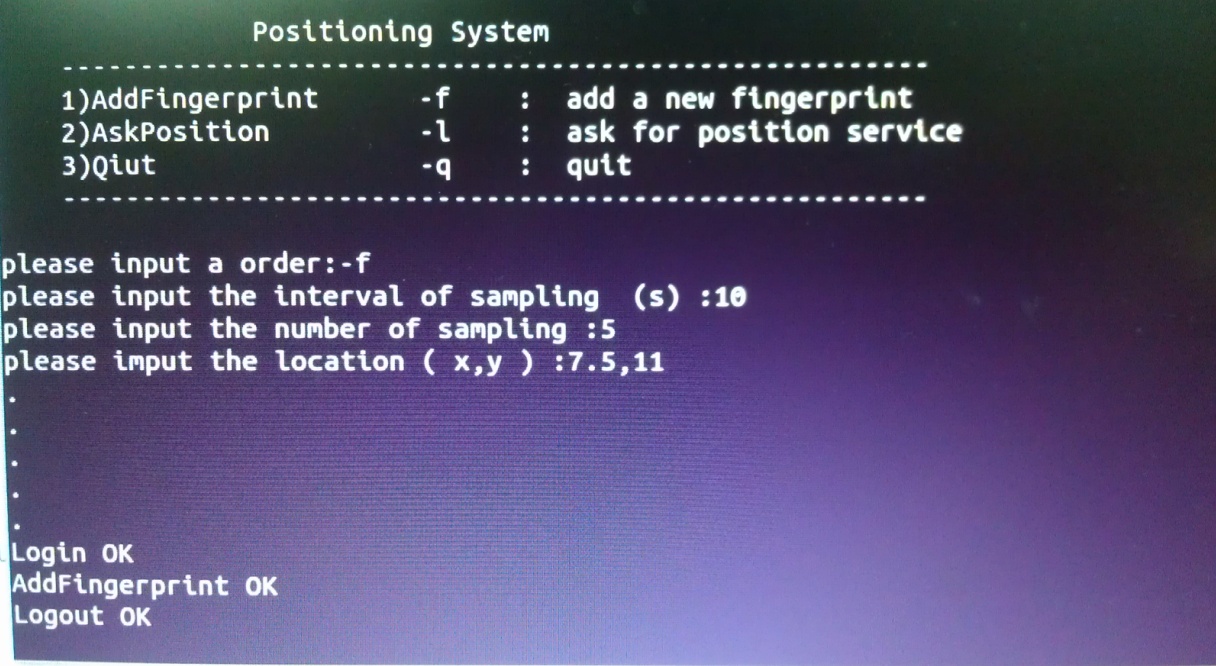


图4-11 离线训练阶段界面

根据提示信息，输入-f命令开始采样位置指纹信息前的设置。接着输入采样的时间间隔，采样次数及位置坐标，然后开始扫描周围的RSU信号，组成一条位置指纹信息并向服务器提交。需要注意的是，这里的位置信息没有使用GPS模块获得真正的位置信息，而是使用手动给出位置坐标的方式，这样做是为了方便程序的调试。

在线定位阶段OBU设备请求定位服务操作界面：

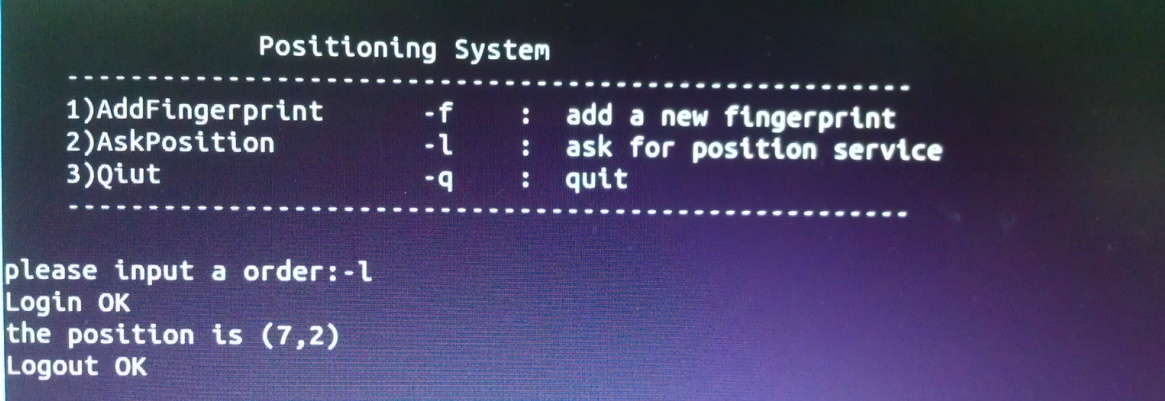


图4-12 离线训练阶段界面

根据提示信息，输入-l命令及发出定位服务请求。程序接下来的操作是扫描周围的RSU信号，组成RSSI向量并服务器请求服务，最终获得定位结果坐标（7，2）。

另外，服务器工作界面如下图所示：

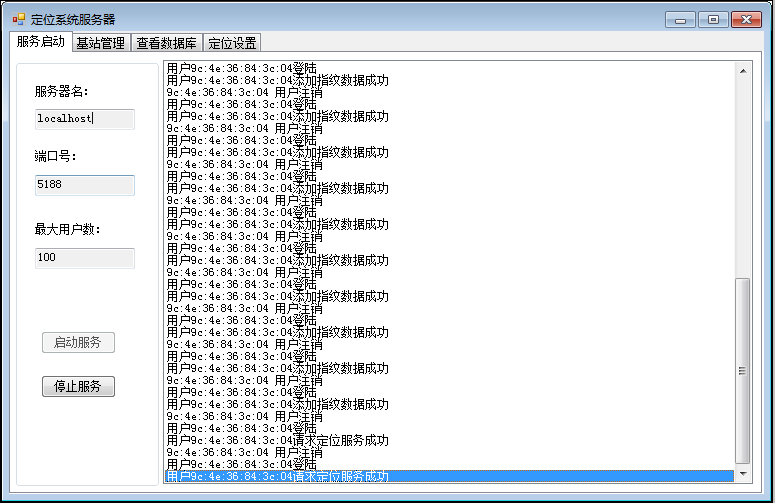


图4-13 定位服务器正常工作界面

为了节省网络通信资源，客户端与服务器的通信都采用短连接的方式，即建立网络连接，进行网络通信，断开连接。

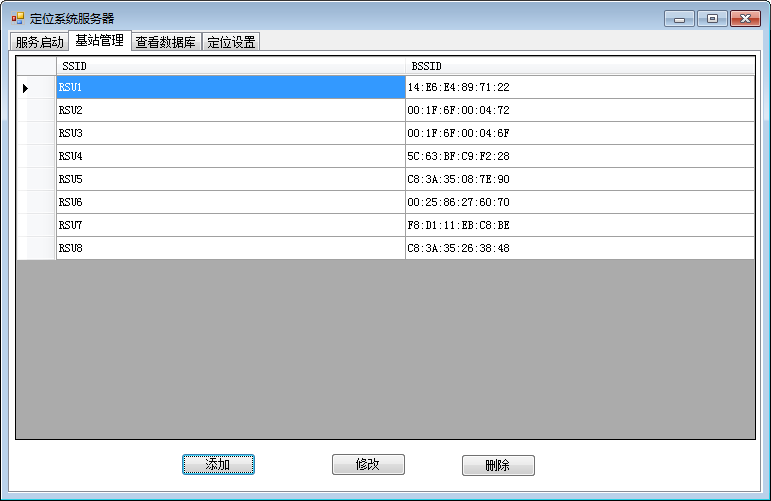


图4-14 定位服务器编辑RSU基站信息

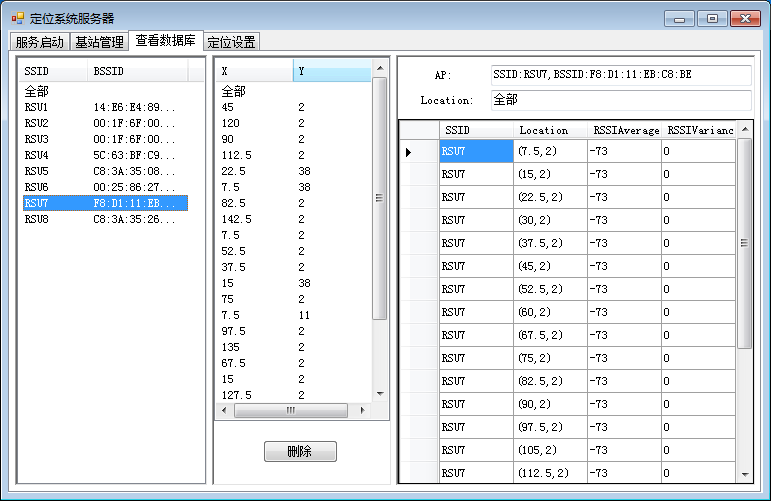


图4-15 定位服务器查看指纹数据库

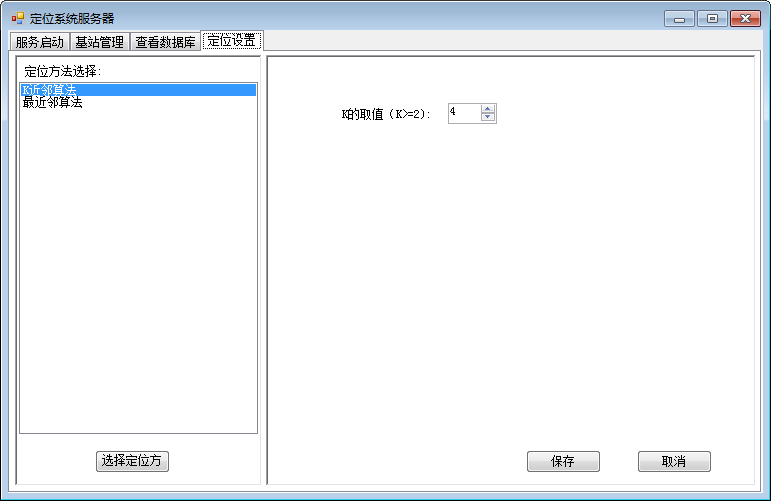


图4-16 定位服务器设置定位算法

目前只实现了最近邻法和K近邻算法。

## 程序测试

本文所在项目目前还处于研究的开发阶段，因为条件的限制，现在还不能进行大规模的车载测试，所以只能进行小范围的检测性测试。本文所选写的测试场景是笔者所在实验室的一个相对空旷的房间进行。即便如此，本测试的结果将对于后续在动态车载环境下更进一步的研究和实验，提供有效参考作用。

本测试的平面示意图如下所示：

图4-17 测试场景

其中红点表示RSU所在的位置，黄点表示离线训练阶段的采样点，蓝点表示测试点（蓝点所在位置也是采样点位置）。为了方便程序的调试，目前位置信息没有使用GPS模块获得真正的位置信息，而是使用手动方式输入位置坐标。

离线训练阶段，取采样的间点的间隔为60cm，在每个采样的点上OBU扫描周围的RSU基站，设定描述次数设定为20次，每次时间间隔为20秒，记录各个RSU无线信号RSSI的平均值与方差。根据这些RSSI信息和当前的位置信息组成一条位置指纹信息。

在线定位阶段，OBU设备在不同的位置点进行定位测试。定位方法分别采用最近邻法和K近邻方法，其中K取2、3、4，在每个测试点，分别测试三次取平均结果。测试数据的平均误差统计结果如下表所示：

表 4-1 测试数据平均误差统计

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 方  法  测  试  点 | NN | KNN(K=2) | KNN(K=3) | KNN(K=4) |
| A | 1.6 | 1.1 | 0.68 | 0.592443 |
| B | 6.359085 | 3.163331 | 4.051459 | 4.106796 |
| C | 1.4 | 2.914214 | 2.008713 | 1.634705 |
| D | 1.6 | 0.9 | 1.342574 | 1.75755 |
| E | 1.280625 | 1.46619 | 1.093526 | 3.482802 |
| F | 1.8 | 0.8 | 1.602718 | 1.15 |
| G | 4 | 5.264741 | 4.260186 | 3.364871 |
| H | 2.741641 | 3.51778 | 5.47083 | 4.715037 |

对测试数据处理，可以得到定位结果平均误差如图4-18所示：

图 4-18 测试数据平均误差统计

从测试数据中可以看到，本文所实现的无线定位系统的平均误差为3米以内。图4-18中采用K近邻方法，K取2时平均误差最小为2.4m，K取3、4时误差反而扩大，这是因为，如果最佳参考位置点在K个参考点的靠前位置，那么K规模较小，引入误差就小，扩大K的规模，将引入更多误差；反之，如果最佳参考位置点在K个参考点的靠后位置， K的规模大一些，才会相对精确一些。

## 本章小节

本章主要介绍了无线定位的相关理论，主要是对基于信号强度指示的位置指纹定位技术的介绍，另外本章在前一章所提出的车联网通信终端设计方案的基础上实现了一个基于位置指纹定位方法的无线定位系统，并进行了简单的测试。位置指纹定位方法是当前得到广泛关注的无线定位方法，其主要思想是利用无线信号在传播过程中的传播特性在不同的物理位置形成特定的信号状态进行定位。本章所实现的定位系统采用C/S模式进行工作，并利用简单快速聚类的方法处理指纹数据，从而减少数据冗余和定位延时。

# 总结与展望

当前，世界各国都在大力开展有关车联网系统的研究。车联网系统利用信息技术能够充分保证交通运输的安全性、高效性和舒适性。因此，针对车联网的研究对于交通运输的发展、人们生活水平的提高，生命财产安全的保障都具有非常重要的意义。

作为车联网系统中的重要通信协议栈，WAVE（Wireless Access in vehicular Environment）协议栈正逐步被完善。虽然基于WAVE技术的应用开发和部署还需要大量而长期工作，并且需要进行更多的测试和论证来校验其性能，但是在此发展方向上我们必须抓住当前的大好时机。

本文在充分理解WAVE协议栈定义的基础上，立足于当前硬件研究不足并且成本高昂的现实，基于WAVE协议栈的基本特点，利用天漠科技SBC8100的OMAP开发板和思科wusb600n-v2无线网卡，通过修改网卡驱动程序和上层协议程序，提出一套基于WAVE协议栈的车联网通信终端设计方案；同时基于此方案所设计的车联网通信终端和位置指纹定位方法，采用C/S的开发模式设计并实现了一个无线定位系统。这对于WAVE协议栈以及车联网的应用研究都具有很好的实践指导意义。

当然，车联网本身是比较庞大的系统，WAVE协议栈也比较复杂，我们还需要投入更多的时间和工作。因此本文的研究工作还需要在以下方面做出更多的努力：

1. 利用现有的IEEE802.11的无线网卡并通过改写驱动来达到WAVE所定义的物理层通信要求仍然十分的吃力。在技术条件完备的情况下，自行开发IEEE 802.11p网卡设备也许是更好的选择。另外，目前802.11n网卡正在获得普及应用的，考虑到其所提供的MIMO ( Multiple Input Multiple Output)技术可以好的发挥IEEE 1609.4所定义的多信道协作功能，以及具有高可配置性，并且支持5.9GHz频段，则选择802.11n网卡也是很好的策略；
2. 本文没有包括路由方面的研究，然而具体到实际的应用时，特别是在WIBSS工作方式下，路由的实现方法决定了网络的拓扑方式，其工作性能对于WAVE应用的正常工作非常的重要。
3. 本文所实现的无线定位系统定位精度还有很大的提升空间，另外本文所依托的车联网研究项目起步还没有太久，没有特别成熟的测试环境，未来我们应该搭建较好的测试环境，对研究工作进行更好的评估。

参考文献

1. 中国调研报告网.2010中国物联网产业发展现状及趋势研究报告（2012年版）[R].2012
2. 百度百科.智能交通[EB/OL].http://baike.baidu.com/view/600248.htm
3. 百度百科.车联网[EB/OL].http://baike.baidu.com/view/3162798.htm
4. 美国ITS的发展历程与现状[EB/OL]. http://www.itschina.org/article.asp?articleid=2143
5. Tsugawa S. The Current Trends and Issues on ITS in Japan: Safety, Energy and Environment. 2011 IMWS-IRFPT[C]. 2011: 1 – 2
6. Ohtsuka E. Communications policy and ITS in Japan. ITS Telecommunications[C]. 2008: 1 -3
7. Amburgey K. The merging of the US and European polar environmental satellite programs and its impact on NOAA. Aerospace Conference[C]. 2005. Page(s): 1176 -1184
8. CarTalk2000[EB/OL]. http://www.cartalk2000.net.2001
9. FleetNet Program[EB/OL].http://www.fleetnet.de.2005
10. FleetNet[EB/OL].http://www.et2.tu-harburg.de/fleetnet/index.html
11. NOW:Network-on-Wheels[EB/OL].http://www.network-on-wheels.de,2004
12. Car-to-Car Communications[EB/OL].http://www.car-to-car.org.2003
13. Zang Yunpeng; Stibor L.; Reumerman H.-J., et al. Wireless local danger warning using inter-vehicle communications in highway scenarios. Wireless Conference[C]. European, 2008: 1-7
14. ADASE: Advanced Driver Assistance Systems in Europe[EB/OL].http://www.adase2.net,

2003

1. COMCAR: Communication and Mobility by Cellular Advanced Radio[EB/OL]. http://www.comcar.de, 2004
2. DRiVE: Dynamic radio for IP-services in vehicular environments[EB/OL]. http://www.ist-drive.org, 2002
3. CHAUFFEUR 2[EB/OL].http://www.chauffeur2.net,2005
4. Shiraki Y.; Ohyama T.; Nakabayashi S., et al. Development of an Inter-vehicle communications system[J]. Special Edition on ITS( Intelligent Transportation Systems ),

2001,68:11-13

1. Werner J.USDOT outlines the new VII initiative at the 2004 TRB Annual Meeting[A].Newsletter of the ITS Cooperative Deployment Network[C].Washington DC,USA,2004
2. Nadeem T.; Dashtinezhad S.; Liao C. Traffic View: Traffic data dissemination using car-to-car communication[J]. ACM SIGMO-BILE Mobile Computing and Communications Review, 2004,8(3):6-19
3. 杜英田. 基于IEEE802.11p/1609协议的智能交通无线车载通信协议优化研究[D].北京邮电大学, 2011
4. IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments - Security Services for Applications and Management Messages[S]. IEEE Intelligent Transportation Systems Committee. July 2006
5. IEEE Std 802.11-2007, IEEE Standard for Information technology—Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks—Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications[S]. IEEE，2007
6. Mattbew S.G. 802.11Wirelss Networks：The Definitive Guide [M],O'Reilly,2007.12
7. IEEE Std 802.11p, IEEE Standard for Information technology­—Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks-Specific requirements- Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications-Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments [S]. IEEE，2010
8. 曹颖荣,林小玲. IEEE 802.11p无线车载自组网络协议的性能分析与模拟[J].仪表技术,2011，2:19-22
9. IEEE 1609 - Family of Standards for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) [EB/OL]. http://www.standards.its.dot.gov/fact\_sheet.asp?f=80
10. IEEE Std 1609. 0-2012. IEEE Draft Guide for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Architecture. IEEE P1609.0/D5[S]. IEEE, 2012
11. IEEE Std 1609.1 -2006. IEEE Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)—Resource Manager. IEEE Vehicular Technology Society (VTS) [S].October 2006
12. IEEE Std 1609. 3-2010, IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)-Networking Services[S].IEEE, 2010.
13. IEEE Std 1609. 4-2010，IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)-Multi-channel Operation[S].IEEE, 2011
14. 詹源. WAVE下基于RPR切换技术的车联网系统研究与设计[D].浙江大学,2012
15. 常促宇, 向勇，史美林. 车载自组网的现状与发展[D].清华大学,计算机系, 北京100084
16. 唐波. WAVE架构及相关协议设计与实现[D].华东师范大学,2008
17. 陈文聪. 车联网前端系统研制[D].浙江大学，2012
18. 顾振飞. 车联网系统架构及其关键技术研究[D]. 南京邮电大学,2012
19. 维基百科.嵌入式系统[EB/OL].http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%B5%8C%E5%85-

%A5%E5%BC%8F%E7%B3%BB%E7%BB%9F

1. Nakjung Choi; Sungjoon Choi; Yongho Seok, et al. A Solicitation-based IEEE 802.11p MAC Protocol for Roadside to Vehicular Networks[C].IEEE INFOCOM 2008，2008
2. Morgan Y. L. Notes on DSRC & WAVE Standards Suite: Its Architectures, Design, and Characteristics [J].IEEE Communications Surveys & Tutorials，2010, 12 (4):504-515
3. 张明华,张申生,曹健.无线局域网中基于信号强度的室内定位[J].计算机科学，2007,34(6): 68-75
4. 魏雷. Wifi位置指纹定位技术研究及仿真器设计[D]. 西南交通大学,2012
5. 朱登科. 基于RSSI的无线传感器网络测距和定位技术研究[D]. 国防科技大学研究生院,2010
6. Chan E.C.L.; Baciu George, Mak S.C. Using Wi-Fi Signal Strength to Localize in Wireless Sensor Networks[C]. International Conference on Communications and Mobile Computing, 2009, I: 538-542
7. Wu Di; Xu Yubin; Ma Lin. Research on RSS based Indoor Location Method[C]. Pacific-Asia Conference on Knowledge Engineering and Software Engineering, Shenzhen .2009: 205-208
8. Salter J.; Li Binghao; Woo D., et al. 802.11 Positioning in the Home[C]. Consumer Communications and Networking Conference, 2008: 598-602
9. Di Mauro M.; Della Corte G.; Robustelli A.L., et al. WLAN-Based Location System for Indoor Parking Areas[C]. 17th International Conference on Software, Telecommunications C Computer Networks, 2009: 186-190

攻读硕士学位期间取得的研究成果

一、已发表（包括已接受待发表）的论文，以及已投稿、或已成文打算投稿、或拟成文投稿的论文情况**（只填写与学位论文内容相关的部分）：**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **作者（全体作者，按顺序排列）** | **题 目** | **发表或投稿刊物名称、级别** | **发表的卷期、年月、页码** | **相当于学位论文的哪一部分（章、节）** | **被索引收录情况** |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

注：在“发表的卷期、年月、页码”栏：

1如果论文已发表，请填写发表的卷期、年月、页码；

2如果论文已被接受，填写将要发表的卷期、年月；

3以上都不是，请据实填写“已投稿”，“拟投稿”。

不够请另加页。

二、与学位内容相关的其它成果（包括专利、著作、获奖项目等）

致谢

岁月如梭，光阴似箭，转眼三年的研究生活即将结束，在这短短三年紧张而又充实的学习生活中，我学到了许多专业知识，结识了许多良师益友，更为重要的是这个过程培养和锻炼了自己分析问题和解决问题的能力，我感到无比欣慰。马上就要踏入人生的另一个旅程了，还有更多的知识等着我去学习，新的环境等着我去适应，新的困难等着我去克服。但是我充满信心，充满激情和希望。

此时此刻，在本文即将完成之际，向所有给予我帮助和支持的人们表示衷心的感谢。

首先，衷心感谢我的导师谢胜利教授。在实验室学习的三年过程中，谢老师都给了我悉心的关怀和帮助。谢老师清晰而深刻的思维，翩翩的风度，乐观的态度，幽默的语言令学生佩服有加，严谨的治学态度和对学生的严格要求使我受益匪浅。

衷心感谢我所在项目组指导老师余荣副教授。在我本硕两个学习阶段中，余老师都给予了我巨大的帮助，包括本次论文写作，余老师同样给予了耐心的指导和帮助。他严谨的治学态度，孜孜不倦地工作精神令我敬佩，同时鞭策我奋进不止。

当然我还要感谢实验室团队的傅予力老师、周智恒老师、吴宗泽老师、何昭水老师、向友君老师、李波老师、吴霞老师、谭北海老师、李卫军老师等优秀老师，相处期间他们都给了我许多关怀和帮助；感谢我的舍友邱团准、陈博欣、索开华，感谢他们在共处一室的三年中对我的帮助和包容；感谢杨超博士、杨俊杰博士以及李帅旗同学，感谢他们在最后阶段陪我去食堂吃饭；感谢丽丽姐、卓妮姐和刘小姐，一直受到我们调侃都不生气；感谢程博、余晓龙、蔡官明、曾泽、姚旭、张伟强、向道明、刘金海、冯梁谋、范迪和石建松等同窗好友，感谢他们三年来给我带来了精彩的生活……

我还要感谢我的父母和亲人，是他们把我培养成人。他们多年来默默的支持和殷切期望是我不断前进的动力，是他们的支持和理解，使我顺利完成学业!

另外在本文的写作过程中，参考了大量的文献资料，在此向各位专家，学者表示深深的谢意。

最后，深深感谢评阅本论文的专家和学者。