

单位代码: 10293 密 级: 公开

南京邮电大学

专业学位硕士学位论文



论文题目: 基于 RFID 定位的停车场智能移动终端设计

学 号 1213022632

姓 名 陈 婷

导 师 杨恒新

专业学位类别 工程硕士

类 型 全 日 制

专业（领域） 电子与通信工程

论文提交日期 2016 年 4 月

Design of Intelligent Mobile Terminal Based on RFID Location for Parking Lot

Thesis Submitted to Nanjing University of Posts and
Telecommunications for the Degree of
Master of Engineering



By

Chen Ting

Supervisor: Prof. Yang Hengxin

April 2016

南京邮电大学学位论文原创性声明

本人声明所呈交的学位论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得南京邮电大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

本人学位论文及涉及相关资料若有不实，愿意承担一切相关的法律责任。

研究生签名：_____ 日期：_____

南京邮电大学学位论文使用授权声明

本人授权南京邮电大学可以保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子文档；允许论文被查阅和借阅；可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索；可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编本学位论文。本文电子文档的内容和纸质论文的内容相一致。论文的公布（包括刊登）授权南京邮电大学研究生院办理。

涉密学位论文在解密后适用本授权书。

研究生签名：_____ 导师签名：_____ 日期：_____

摘要

汽车的普及给人们的出行带来便利，但飞速增长的汽车数量和停车位不足之间的矛盾不断激化。传统的停车场不关注停车位的实时状态和停车场内部的引导，管理技术也较为落后，不能充分发挥停车场的车位利用率。智能化停车场管理系统的建设迫在眉睫。本文分析了停车场管理系统的现状，基于 RFID 定位技术获取停车场车位信息，规划了一种智能停车场管理系统方案，设计了停车场智能移动终端 APP。

本文研究的内容主要包括应用在停车场环境中的 RFID 室内定位算法，RFID 与 Wi-Fi 技术相结合的智能停车场管理系统方案，基于 Android 平台的停车场智能移动终端 APP 设计。本文分析了 RFID 室内定位的基本理论，根据停车场车辆定位精度需求，采用改进的 LANDMARC 定位算法。规划了一种智能停车场管理系统方案，设计了 Android 手机端应用软件，利用 Wi-Fi 通信技术实现客户端与服务器端的数据交互，以图形界面形式为停车场用户提供场内车位、车辆信息及相应的线路信息。

实验结果表明，该系统具有停车场车位查询和预定、车位导航、已停泊车辆位置引导等功能，实现了停车管理的高效化和智能化。

关键词: RFID, 智能停车场, 室内定位算法, Android

Abstract

The popularity of car brings convenience to people's life, but with the amount of the cars growing rapidly, the contradictions between the car number and the parking space are increasing. There are some common problems in traditional parking lot, no focus on real-time status of parking space and internal guide, and management technology is relatively backward, which reduce the utilization of parking spaces. So it is extremely urgent to build an intelligent management system of parking lot. This paper analyzes the current situation of parking lot management system, plans an intelligent management system and designs an intelligent mobile terminal APP of parking lot based on the information of the parking space in the parking lot got by the RFID location algorithm.

The major contents in this paper include: the RFID indoor location algorithm applied in the parking lot, the intelligent management system of parking lot connected with Wi-Fi technology, and the intelligent mobile terminal APP design of parking lot based on Android. This paper analyses the basic theory of RFID indoor location and uses the improved LANDMARC location algorithm according to the accuracy requirements of vehicle positioning in the parking lot. This paper also makes a plan for intelligent management system of parking lot, designs a application software for Android mobile terminal, realizes client and server-side asynchronous data communication with Wi-Fi technology, provides the parking lot users with the information of the parking space, vehicle information and the parking route in the form of graphical interface.

The experiment result indicates that the system has the functions below: reservation and inquires of parking spaces in the parking lot, parking route guidance, location guidance of the parked cars and so on, which makes the management of parking smarter and more efficient.

Key words: RFID, Intelligent Parking Lot, Indoor Location Algorithm, Android

目录

| | |
|---------------------------------|----|
| 专用术语注释表 | V |
| 第一章 绪论 | 1 |
| 1.1 背景介绍 | 1 |
| 1.2 课题研究意义 | 2 |
| 1.3 国内外研究现状 | 3 |
| 1.3.1 国外研究现状 | 3 |
| 1.3.2 国内研究现状 | 4 |
| 1.4 论文研究内容与结构 | 5 |
| 1.4.1 研究内容 | 5 |
| 1.4.2 论文结构 | 6 |
| 1.5 本章小结 | 6 |
| 第二章 RFID 技术原理 | 7 |
| 2.1 RFID 系统的构成 | 7 |
| 2.1.1 阅读器 | 7 |
| 2.1.2 电子标签 | 8 |
| 2.1.3 天线 | 10 |
| 2.1.4 中间件 | 10 |
| 2.1.5 应用系统软件 | 11 |
| 2.2 RFID 发展历程和应用领域 | 11 |
| 2.2.1 RFID 的发展历程 | 12 |
| 2.2.2 RFID 主要应用领域 | 12 |
| 2.3 本章小结 | 13 |
| 第三章 RFID 室内定位算法 | 14 |
| 3.1 RFID 定位基本原理 | 14 |
| 3.1.1 AOA 方法 | 14 |
| 3.1.2 TOA 方法 | 15 |
| 3.1.3 TDOA 方法 | 16 |
| 3.1.4 基于 RSSI 的定位方法 | 17 |
| 3.2 LANDMARC 室内定位算法描述 | 18 |
| 3.3 基于改进的 LANDMARC 定位算法研究 | 20 |
| 3.3.1 LANDMARC 算法中存在的不足 | 20 |
| 3.3.2 改进的 LANDMARC 定位算法 | 21 |
| 3.4 改进算法运用于停车场定位 | 24 |
| 3.5 本章小结 | 27 |
| 第四章 智能停车场管理系统方案设计 | 28 |
| 4.1 智能停车场管理系统的目标需求 | 28 |
| 4.2 整体框架设计 | 29 |
| 4.2.1 停车场规划及布局 | 30 |
| 4.2.2 RFID 硬件布局 | 31 |
| 4.2.3 系统层次功能 | 32 |
| 4.2.4 Web Service 传输体系框架 | 32 |
| 4.3 管理系统模块 | 33 |
| 4.3.1 出入场子系统 | 33 |
| 4.3.2 车辆定位和车位引导子系统 | 33 |

- 4.3.3 RFID 的车位状态识别子系统 34
 - 4.3.4 反向寻车子系统 34
- 4.4 本章小结 35
- 第五章 基于 Android 智能移动终端设计 36
 - 5.1 移动终端相关技术 36
 - 5.1.1 地图技术 36
 - 5.1.2 触摸技术 37
 - 5.1.3 Android 系统库 37
 - 5.2 智能停车业务流程 39
 - 5.3 Android 开发环境搭载 40
 - 5.4 本章小结 42
- 第六章 基于 Android 智能移动终端功能实现 43
 - 6.1 智能移动终端的功能 43
 - 6.2 应用 App 的主要功能实现..... 47
 - 6.2.1 多点触控缩放功能 47
 - 6.2.2 停车位查询功能 49
 - 6.2.3 场内引导及反向寻车 51
 - 6.3 本章小结 52
- 第七章 总结与展望 53
- 参考文献 54
- 致谢 57

专用术语注释表

符号说明:

| | |
|-----------|--------------|
| c | 自由空间中电磁波传播速度 |
| D | 方向性系数 |
| λ | 空间中电磁波传播波长 |

缩略词说明:

| | | |
|------|-------------------------------------|-----------|
| RFID | Radio Frequency Identification | 射频识别技术 |
| AOA | Angle Of Arrival | 基于信号到达角度 |
| TOA | Time Of Arrival | 基于信号到达时间 |
| TDOA | Time Different of Arrival | 基于信号到达时间差 |
| RSSI | Received Signal Strength Indication | 基于信号强度定位 |

第一章 绪论

1.1 背景介绍

伴随着我国经济的快速发展，人们的生活水平日益提高，汽车早已不再是生活中的奢侈品，已成为人们生活中的一种常见的代步工具，走进千家万户。相关部门的粗略汇总结果显示，国内的汽车保有量在 2000 年时的数量大约在 2000 万辆，而在其后的 2005 年，汽车保有量竟已达到了 3000 万辆之多。2011 年的机动车数量在 2005 年的基础上翻了一倍之多，数量已超出 7000 万。可见机动车的数量增长之迅速^[1]，私家车已屡见不鲜，人们的出行更方便快捷，交通运输业亦如火如荼发展起来。如今，我国交通运输业繁荣发展，交通网络遍布四面八方，人们的出行方便性和商品货物的流通性已经成为衡量一个国家的国民经济水平的强有力指标之一。

但是，随着我国机动车数量的不断增加，随之也给城市交通建设带来了一系列相关问题。车辆乱停乱放引起交通拥堵、交通事故不断增加、路网利用率低下、停车泊位缺乏等问题已然成为制约我国城市交通发展的屏障。人们的出行因为私家车的出现得到了更为便利的体验，但与此同时，却也是在很多城市出现了“停车难”、“车多位少”的现象，城市汽车停放成为城市建设必须解决的问题。

大力兴建停车场提供足够的停车位理论上是可以缓解停车难的问题，但是城市的土地资源越发匮乏，地价越发昂贵，停车场扩建的难度巨大，已无法单纯靠增加停车场满足日益增长的停车需求^[2]。现如今，国内相关企业追求商场高盈利额，势必会在停车场的有效面积上能少则少，以减少停车场面积换取商场营业面积、利益最大化，而机动车的数量持续增长，与停车位产生尖锐的矛盾。相关调查结果显示，现在一个城市停车位需要平均分配给 5.5 辆机动车共同使用。

在这种汽车数量快速增长，而停车位严重供不应求，车位增长速度远不如车辆增加速度来得快的情况之下，传统的停车场已无法满足需求。传统停车场的管理方式主要以人为管理为主，考虑的业务多为停车收费这样的主流业务，无法做到自动规范化的智能管理，需要消耗很多的人力和时间。传统停车场对停车位的实时情况并不关注，管理技术较落后，没法实时反馈各种停车位信息，对提高停车位使用率毫无建树，甚至于出现大批空着的停车位却没人停车，浪费宝贵的车位资源。

在这样的形势下，我们需要一个综合的服务平台为驾驶员提供相应信息，进行躲避拥堵、

选择停车场和停车位，最终做到轻松出行轻松停车^[3]。智能停车场建设应运而生，为了提高停车效率，减少在寻找停车位过程中浪费的时间，更为了提高停车位的利用率，缓解“停车难”的矛盾，提高交通运输效率，更凸显出停车场的智能化科学管理建设的重要意义。

智能停车场同时拥有智能进出自动控制系统、安全的信息网络系统、自动高效的收费系统等，是一个以高效泊车为目的停车场管理平台。智能停车场的宗旨是为停车用户提供便捷、舒适、安全的停车环境^[4]，它把系统、服务、管理等特点集成于一体。伴随着科学技术的不断发展，各种高新技术层出不穷，将出现的新兴技术运用到停车场的智能管理中必然能够提高停车场的安全性和可靠性，大大提升停车效率^[5]。对车位状态的实时检测、半自动化出入停车场收费、高效诱导停车、车主迅速反向寻车等多种技术方案的实行为停车场的智能化提供了帮助。

总之，停车难问题日趋严重，传统停车场利用率无法缓解停车位与汽车保有量间的尖锐矛盾，智能化停车场建设迫在眉睫，其中，室内车辆定位和提供人机交互界面的移动端应用软件是建设智能停车场中的两个关键性问题。

1.2 课题研究意义

飞速增长的城市机动车数给交通管理和停车带来了挑战，如若车辆停放的问题得不到很好地解决，停车难的矛盾就没法缓解，最终无法避免面临交通拥堵等问题。停车难，具体表现在两个方面，一是城市的土地资源有限，不能依靠单纯扩建停车场解决问题；二是，已有的传统停车场管理手段单一，人工为主，不能充分利用停车位。

目前的传统停车场对驶入停车场的用户车辆主要是执行停车场门禁时的收发卡和人工收费处理，停车用户不能做到对停车场的车位剩余情况及停车场内部车位分布情况的知悉，无法及时有效地获取各停车场的相关信息。在进入停车场后，只能依靠车主自己进行停车场内部空位的找寻，人工收费使得工作效率得不到提升，成本高。

本课题进行的主要工作是改进传统的停车场管理系统，重点解决两个问题：停车场室内车辆定位、基于 Android 的停车场智能移动终端 APP 设计。本课题的研究和设计对提高停车场的智能化进程具有一定的推进作用和一定的工程借鉴意义。

(1) 提高停车场车位的利用率。对整个城市的停车场进行智能化统一管理，尽可能地充分发挥每个停车位的作用，尽量避免车位紧缺与车位闲置并存的非均衡现象。

(2) 提高停车场收费透明度，有效避免胡乱收费现象。

(3) 停车更便捷, 节省时间。停车场具有的场内车位诱导, 反向寻车功能让车主拥有更好的停车体验, 更加节省时间。

(4) 降低停车场运行费用。统一的智能化管理方案可以提高工作效率, 减少停车场管理的人力、物力资源的投入。

(5) 缓解城市的交通压力。停车场的智能化管理加入了对停车场车位的实时状态监控, 将停车场的实时数据呈现在用户面前, 使得人们可以提前获知各停车场的相关信息, 实时车位情况等, 在出行前便能做出更合理的安排, 合理分配停车场的负载, 减少了因盲目寻找空闲车位而引起的交通拥堵等情况。

1.3 国内外研究现状

1.3.1 国外研究现状

发达国家的经济发展步伐、机动车盛行早于我国, 停车难等交通矛盾更早地呈现在他们面前。面对机动车数量不断增多而引起的系列交通、环境等问题, 发达国家开始提出交通系统管理和交通需求管理方面的研究, 对运输结构做出调整, 建立可持续发展的交通运输体系。二十世纪六十年代后, 科学技术迅猛发展, 计算机技术得到快速发展, 计算机应用开始普及, 发达国家开始了对智能交通的发展, 把先进的科学技术应用或者组合运用到对车辆停放的管理系统中, 运用科学信息化手段缓解交通问题。智能停车诱导系统作为城市智能交通管理系统(Intelligent Transportation Systems, ITS) 的重要组成部分开始踏上舞台, 进入快速发展新阶段^[6]。

20 世纪 70 年代德国琛市率先将停车诱导系统应用到停车场领域, 欧洲其他城市随后相继建立 APIS^[7]。20 世纪 80 年代后期, 1988 年, 日本东京引进停车诱导系统, 利用显示牌显示车位信息, 合理分散车辆流向, 缩短了交通高峰期的等候时间^[8]。1996 年一个大型停车场落成美国圣保罗商业区, 该停车场能够实时监测车位使用状况, 采集车位状态信息上传, 交给中央处理器统一处理, 最后在显示牌上显示。显示牌的种类既有静态的, 也有动态的, 完成对城市车辆的引导, 起到了非常好的效果。

随着科学技术的不断发展, 智能停车场管理技术不断成熟和多元。新加坡的樟宜机场通过安装高智能化的检测、通信和引导设备, 实现了场内无人管理^[9]。荷兰 Jonkers 等人通过模拟对城市停车系统进行研究, 验证了智能停车系统的巨大潜力^[10]。德国 Sayanti Banerjee 等人提出基于图像处理技术的新型停车场系统, 通过摄像记录、图像处理完成车辆的实时引导^[11]。

智能停车系统中的车位检测技术多种多样, 视频、地磁、超声波、红外、无线射频等方案各有千秋, 在实际系统中也都有应用和设计。在室内定位方面有基于红外线的、基于超声波技术的、基于无线局域网的、基于超宽带技术的和基于 RFID 技术等^[12]。国外对 RFID 定位技术研究和开发都比较领先, 早期由密歇根州立大学的 L.Ni 等提出的 LANDMARC 系统^[13]是一种利用 RFID 技术实现定位系统的原型。后来的许多基于 RFID 的定位研究成果都是在此系统基础上改进而实现的。此外, 还有 MIT Oxygen 项目开发的 Cricket 系统^[14], 雷德蒙提出的 RADAR 系统^[15]。

1.3.2 国内研究现状

我国对停车系统的研究在时间上晚于国外, 起步得较晚, 自然在管理系统智能化进程上相对落后。改革开放后, 国内经济发展逐渐平稳, 机动车保有量不断增加。汽车已基本上成为家家必备的代步工具, 成为生活中的重要部分, 然而不断增加的汽车量会引起一系列相关问题。车辆乱停乱放引起交通拥堵、交通事故不断增加、路网利用率低下、停车泊位缺乏等问题已成为制约我国城市交通发展的障碍。二十世纪 90 年代初, 专家们提出智能交通理念, 我国从此开始了对停车场智能化管理的相关研究。矛盾越是尖锐, 越是能够引起重视, 随着科学技术的不断前进, 国内的智能停车场管理系统迅速发展。在北京、上海、深圳等大型城市开始陆续涌现相应的智能化停车管理系统。

北京城市的停车诱导系统建设在 2001 年便陆续开始, 先后在王府井、北京站以及西单等地区都有诱导系统的投建。上海黄浦区的“停车诱导系统示范”工程在 2002 年成立, 工程规模涉及 36 处、64 块停车诱导发布牌, 其覆盖区域涵盖了整个黄浦区中心。近年来, 其他城市也相继建立起停车诱导系统, 在缓解交通压力上取得了一定的效果。

但是, 目前的多数停车场的管理体系依然缺乏系统集成, 功能模块单一, 停车收费系统、泊位引导系统、停车信息诱导系统之间大都是孤立的, 智能化的优势未能得到充分的展现。整体上看, 我国智能停车管理仍然处在起步阶段。

传统的停车场缺乏对车位的实时状态关注, 在车辆引导和定位上也缺乏智能化。现阶段国内的停车诱导采取的主要手段依旧是依靠道路、路口设置诱导显示屏, 用于告知车主当前区域或邻近地带的停车场空位信息。现在的停车场最常采用的 RFID 门禁系统如图 1.1 所示, 虽然能一定程度上加快车辆进出停车场的速度, 记录用户信息, 但是对进入停车场内部以后的智能化服务不够, 场内车位引导、车辆安全、反向寻车等方面都做得还不够。

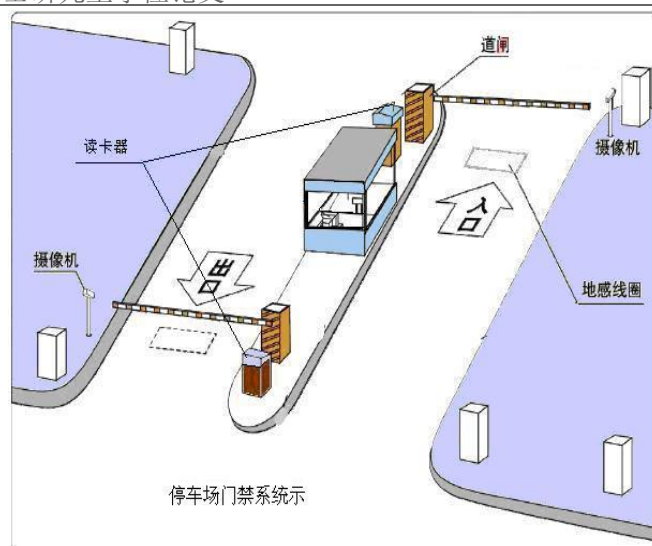


图 1.1 停车场 RFID 门禁系统

在室内 RFID 定位技术的研究上,虽然起步晚于国外,但是也出现了一些基于 RFID 的定位技术研究成果。车位感知方面,我国较为落后,主要依靠对国外关键技术的沿用与改进。如何构建更为集成化、统一化、智能化的停车场管理系统,如何不断将先进的科学技术融入到系统构造中来将是我们未来不断前进的方向。

1.4 论文研究内容与结构

1.4.1 研究内容

论文以智能停车场管理系统为背景,借鉴国内外发展现状,构建一种集成化、统一化、智能化的停车场管理系统,将车辆室内定位、车位感知、车牌识别、出场收费、反向寻车等各个子系统集成在一起。

论文设计的室内车辆识别采用 RFID 技术,通过信号强度值完成对停车场内的车辆定位。RFID 定位系统中,阅读器实时读取电子标签信息及信号强度值,并对数据进行处理上传至服务器,再用于应用层服务。

车辆位置信息的获取对于智能停车场管理系统有着非常重要的作用,很多服务的实现都是在获取室内车辆位置的基础上进行的,所以设计适合停车场室内环境的定位算法是本论文的重点之一。本文分析 RFID 技术原理和不同的 RFID 室内定位算法,结合已有的改进定位算法运用到停车场环境中,并进行仿真验证。

设计 Android 手机客户端应用软件,利用智能手机通过 Wi-Fi 连接方式与停车场系统服务器进行交互,在用户手机显示车位、已泊车位置、引导路线图等信息。

1.4.2 论文结构

第一章 绪论。介绍了智能停车场管理的背景、课题的研究意义和智能停车场在国内外的研究现状，并叙述论文的主要研究内容和论文组织结构。

第二章 RFID 技术原理。介绍了 RFID 的系统组成、工作原理、发展历程和应用领域。

第三章 RFID 室内定位算法。研究停车场智能化管理的关键技术之一——定位技术，着重研究适用于停车场环境的 RFID 室内定位算法。介绍了 RFID 定位的基本原理及 LANDMARC 算法，采用改进的定位算法并进行仿真验证其性能。

第四章 智能停车场管理系统方案设计。依据智能停车场管理系统的目标需求，介绍了智能停车的业务流程，整体架构及各子系统模块设计。

第五章 基于 Android 智能移动终端设计。介绍了移动终端所运用的主要技术，及 Android 手机客户端 APP 的设计。

第六章 基于 Android 智能移动终端功能实现。用户手机通过 Wi-Fi 连接方式与停车场系统服务器进行交互，在用户手机显示车位、已泊车位置、引导路线图等信息。

第七章 总结与展望。对课题所研究的内容进行总结，在所做工作的基础上提出进一步展望。

1.5 本章小结

本章节对论文的背景、研究意义进行说明，详细叙述了本课题智能停车场的国内外研究现状，并概述了论文的主要工作和组织架构。

第二章 RFID 技术原理

无线射频识别（Radio Frequency Identification,RFID）技术是一种非接触式的自动识别技术。它通过射频信号及其空间耦合的传输特性，实现对静止或移动物品的自动识别并获取相关的数据信息^[16]。RFID 系统用电子标签来标识某一对象，电子标签通过射频信号与阅读器进行数据交换，阅读器可以将命令数据传送给电子标签，电子标签接收到阅读器信号时被激活并将其记录的数据返回给阅读器。RFID 技术不要求直接接触、也不需要人工的参与便可直接输入并处理相关信息，与传统方式比较起来，RFID 技术具备操作便利、快捷的优势。已广泛地用于交通、生产、物流、医疗、跟踪、设备和资产管理等各应用领域。

2.1 RFID 系统的构成

一个 RFID 系统的组成如图 2.1 所示，主要有阅读器、电子标签、RFID 中间件和计算机应用系统软件 4 个部分。阅读器、电子标签是系统的核心部件，阅读器是信息采集终端，采用有线或者无线方式与计算机信息管理系统进行通信并且对电子标签进行识别并传输交换信息^[17]。

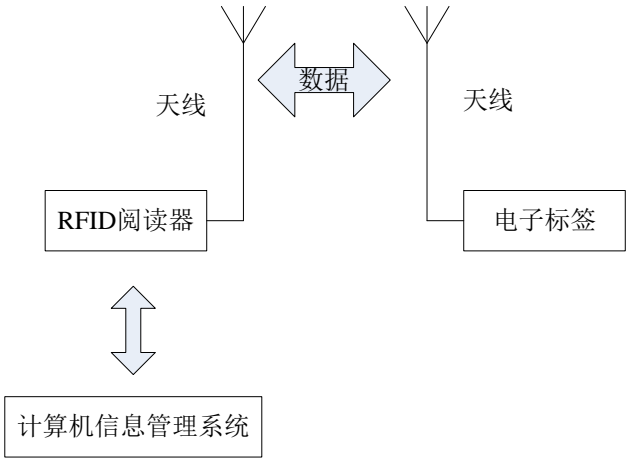


图 2.1 RFID 系统的构成

2.1.1 阅读器

阅读器是 RFID 系统中最基本的组件之一，是计算机信息系统与电子标签之间的桥梁，是利用射频技术对电子标签进行读写操作的设备。如图 2.2 的 RFID 阅读器组成图所示，阅读器通常由三部分组成，分别为天线、射频接口及逻辑控制单元。

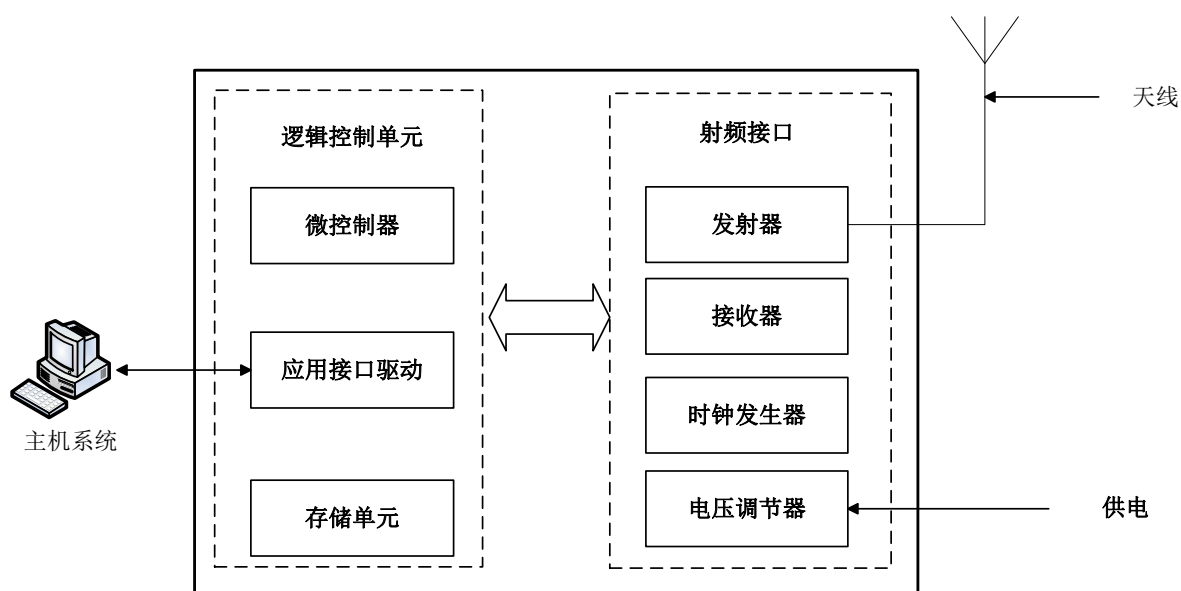


图 2.2 RFID 阅读器组成

天线是一种能进行电磁波和电流信号之间相互转换的装置，它能够接收电磁波信号并将其转换为电流信号，也能将电流信号转换为电磁波信号并发射出去。天线装置是 RFID 系统构造中必不可少的，阅读器必须通过天线发射能量，形成电磁场，继而通过电磁场完成对电子标签的识别。

射频接口模块能够产生高频能量，对电子标签进行激活和能量的供给。它既完成了调制发射信号，将数据信息传输给电子标签的工作，也接收和调制从电子标签方向来的射频信号。

逻辑控制单元也被称为读写模块，其主要任务包括：执行应用系统发来的指令，控制阅读器与电子标签间通信过程，对阅读器和标签进行身份验证，阅读器与标签之间传输的数据的加密和解密，执行防碰撞算法等。

阅读器能在读写范围内查询多个标签，并且有防碰撞功能，能对多个标签做出正确识别；可以识别固定的标签亦或是移动的标签，这一特性决定了阅读器能够对周边大量的电子标签分别进行距离判断^[18]，对 RFID 定位尤为重要。对读写过程中出现的错误信息，阅读器能对其进行校验操作等。国内外厂家在多个频段都推出了相应的阅读器芯片和模块，随着科技的迅速发展，RFID 阅读器呈现出向多功能、多接口、小型化、模块化、便携式方向发展的趋势。

2.1.2 电子标签

电子标签（Electronic Tag）也被称为智能标签（Smart Tag），是 RFID 系统中存储被识别物体信息数据的装置^[19]。电子标签主要由芯片和内置的射频天线组成，通常附着在被识别的

目标物体上，每个电子标签的电子编码具有唯一性，存储着被识别物体的信息数据。

电子标签的内部是由天线、电压调节器、调制器、解调器、逻辑控制单元和存储单元构成的。电子标签的天线是用来接收阅读器发出的信号，并将返回给阅读器的数据发送出去。电压调节器把阅读器发送来的射频信号转化为直流电源，并经过大电容将能量存储起来，继而通过稳压电路为标签内部提供稳定的电源。调制解调器，前者是将逻辑控制电路发送出去的数据调制后加载到天线传输给阅读器，后者便是调制的逆过程，将阅读器发送来的信号中的载波去除，取出原先的调制信号。逻辑控制单元用来对阅读器发送来的信号进行译码，并根据阅读器的要求回送相关数据。存储单元部分包括只读存储器(Read-Only Memory,ROM)与电可擦可编程只读存储器（Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory,EEPROM）两类，是系统运行及存放识别数据的位置。图 2.3 为电子标签的内部结构。

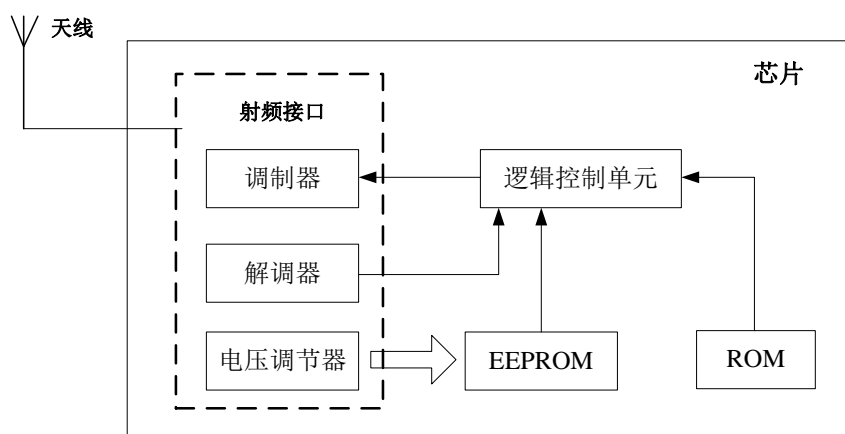


图 2.3 标签结构图

电子标签按照供电方式不同，分为有源和无源标签。根据应用频率的不同可分为低频（30K-1M）、高频（3M-30M）、超高频（300M-1000M）以及微波（2.4G/5.8G）。电子标签所处的频段不一样，相应的工作原理也有所区别，低频（30K-1M）和高频段（3M-30M）的电子标签通常采用电感耦合原理，而微波频段和超高频 UHF 的电子标签则采用反向散射耦合原理。

无源标签进行工作的能量来源是通过电感耦合方法从阅读器的耦合线圈的辐射近场中获取的，电感耦合的工作方式要求标签和阅读器的距离比较近，这样电子标签的线圈才能产生感应电压进而工作。低频段的电子标签通常情况下为无源标签，典型的应用场景有：工具识别、电子闭锁防盗、动物识别等。中高频标签广泛应用于电子身份证、小区物业管理、大厦门禁等系统中。超高频标签主要用途除了用于公路车辆识别与自动收费系统，还用于对车辆的识别和集装箱识别等，超高频标签既有有源标签，也有无源标签。本文即采用超高频的有

源标签。

电子标签自身的很多优点使其已在很多相关领域得到广泛应用。它的使用寿命长，存储数据容量大，存储信息可修改，且防水、防磁，还能对数据进行加密。随着 RFID 技术的不断发展，未来的电子标签必将成本更低、数据容量更大、作用距离更远、数据处理更迅速，加密特性更完善等。

2.1.3 天线

天线是射频识别系统中阅读器和电子标签的空中接口，在阅读器和电子标签中均不可少。天线的工作模式有近场天线工作模式和远场天线工作模式两种，分别与系统的两种耦合方式相互对应，感应耦合模式和反向散射工作模式。感应耦合模式中阅读器的天线和电子标签的天线都采用的是线圈形式。在工作过程中，位于阅读器天线近场范围的电子标签天线在接收到阅读器发出的信号时，会激活电子标签的芯片，电子标签天线中电流的大小受芯片控制。这个电流会对阅读器天线的磁场产生增强或减弱作用。阅读器的内部机制检测到这个由于电子标签而产生的调制量，并对之解调获得电子标签的信息。这种在阅读器和电子标签之间的相互作用就好比是变压器，双向数据通信之所以能够实现是借助了谐振频率载波^[20]。

反向散射工作模式中，阅读器和电子标签之间采用电磁波进行信息的传送。阅读器发射的未调制的电磁波，在被远场的电子标签接受到后，电子标签天线上会产生感应电压，标签内部整流放大后激活芯片。电子标签芯片被激活后，利用自身的唯一标识号对电子标签芯片阻抗进行变化，当电子标签天线和芯片间阻抗刚好匹配时，反射信号几乎为零，反之阻抗匹配不好则几乎反射全部信号。反射信号出现振幅变换，阅读器接收到经过调试的反射信号，并进行标识号的识别和信息的读取。

天线的基本参数包括方向图、增益、天线的极化和频带宽度，根据频带宽度的不同，天线可分为窄频带天线、宽频带天线和超宽频带天线。

2.1.4 中间件

RFID 中间件技术是 RFID 领域的关键性技术，它是一种独立的系统软件或者说是服务程序，扮演着信息采集设备和应用程序之间的桥梁角色。分布式应用软件环境中，硬件平台多样化，网络体系结构多样化，网络协议和系统软件也是多样化，而分布式应用软件借助中间件在不同的技术之间共享资源，使得不同的系统加以集成，实现通透性。

中间件在客户机、服务器的操作系统之上，完成对计算资源和网络通信的管理。RFID 中间件的作用是实现对硬件信息采集设备间的数据传输和管理操作，同时完成与后端应用系统的信息交互。RFID 中间件为应用程序提供一组通用的应用程序接口^[21]（Application Programming Interface, API），连接到阅读器，并能读取电子标签的信息，完成数据的读取和写入工作。中间件在整个系统构造中是独立存在的，可以为多类型的信息采集设备和应用软件系统提供桥梁服务，大大减小多对多连接的维护复杂性。

终端用户能够通过 RFID 中间件接口直接配置阅读器，并具有监控功能，完成向阅读器的指令发送。对于在标签信息传送中发生的错误或者冗余，RFID 中间件有相应的算法进行纠正和过滤冗余数据，避免了不同阅读器读取同一个电子标签的碰撞，提高数据的准确性。RFID 中间件具有对最初的数据进行过滤、汇总、传递的功能，它将数据进行存储，经过处理后将采集到的不同的信息流传递给相应的应用程序。在进程管理过程中，中间件能够根据客户的不同要求进行数据监控和事件的触发。

RFID 中间件的发展经历了应用程序中间件、架构中间件和解决方案中间件^[22]三个阶段。应用程序中间件是最初阶段，各个设备生产商提供各自的驱动程序，通过阅读器适配器完成数据交互；架构中间件是目前广泛应用的模式，而解决方案中间件面向服务，为不同的 RFID 应用提供包括硬件、软件和运行平台等的整套解决方案。

RFID 中间件技术的广泛应用，使得项目的实施周期大大缩短，也减小了维护的复杂性。当存储数据信息的数据库或者后端应用程序增加和变更，亦或者是阅读器种类发生变化时，应用端无需修改，只需更改中间件的相关配置便能达到效果。RFID 中间件技术的发展给人们带来了很大的好处。

2.1.5 应用系统软件

RFID 应用系统软件的开发具有针对性，对于不同的行业、不同的用户以及需求都有不同的产品。应用软件的主要功能体现在两个方面，一是有效控制阅读器与电子标签之间的信息读写，二是对收集到的信息进行集中性分析与处理的功能。RFID 应用系统软件可结合到各个不同的行业，提高生产效率，给各个相关行业带来效益。

2.2 RFID 发展历程和应用领域

RFID 技术是一种利用无线射频通信实现的非接触式自动识别技术，RFID 的容量大、穿

透能力强、抗污染能力强等特点,使得 RFID 技术被广泛应用。近几年来,其应用不断扩张,已经被广泛应用于身份识别、物流、车辆管理等多个行业。目前,RFID 技术及其应用迅速发展,RFID 已被认为是 21 世纪最有发展潜力的技术之一^[23-26]。

2.2.1 RFID 的发展历程

RFID 技术是无线电广播技术与雷达技术相互结合的技术^[27],它的首次实际应用时间相当早。在二战期间,英国采用特殊的信号识别方式进行敌友辨别,在当时取得了很好的效果。这种特殊的信号便是无线电信号,在友军的战机上安放信号接收器,控制塔的探寻器是信号的发射点,当接收器接收到发射过来的信号后会进行身份确认信号的回送。依据回送的信号做出敌友识别,避免了盟军飞机与敌方飞机难以区分的状况。1948 年,Harry Stockman 发表“利用反射功率进行通信”一文,该文章的出现为 RFID 系统奠定了理论基础。

20 世纪 50 年代时,RFID 技术刚刚处于探索阶段,在其后的十多年里逐渐发展,直到 60 到 80 年代期间才变为现实。随着 RFID 应用的扩大,RFID 的标准化建设也得到重视,开始进入发展阶段。九十年代末,EPC global(全球电子产品码协会)应运而生。在随后不断的发展下,RFID 标准的雏形终于 21 世纪初出现。技术不断往越发成熟的方向发展,电子标签的制造成本相应越来越低,应用领域不断扩展。沃尔玛公司在 2003 年 11 月 4 日的一个巨大举动拉开了 RFID 技术在开放系统中运用的序幕,对供应链系统中的商品采取 RFID 技术追踪,沃尔玛作为世界零售业巨头,这一决定对 RFID 技术的发展是重大的。

国外 RFID 技术发展很快,产品种类繁多且各有特点。在美国,TI、Intel 等集成电路厂商对芯片投入巨资进行开发,IBM、Microsoft 和 HP 等积极开发相应的软件及系统。在欧洲,Philips 等大公司大力开发廉价的 RFID 芯片,SAP 大力开发相应的应用管理软件。欧洲的物资跟踪、仓储管理、身份识别、生产线自动化控制和车辆管理等应用领域都陆续引入 RFID 技术。

随着中国经济不断发展,RFID 技术在中国市场有着广阔的应用前景^[28]。国内 RFID 技术的研究确实起步较晚,但近年来,RFID 相关技术的研发和产业化工作初步开展,RFID 技术已经广泛应用于物流管理、防伪以及公共交通管理等多个领域中。

2.2.2 RFID 主要应用领域

社会进步,对各个领域的管理水平和效率提出更高的要求。物流这一词汇不知不觉中成为人们生活中的常见词汇,现在的物流涵盖的物品不仅数量巨大,而且种类繁杂,供应链中

经常有大的地域跨度，传统的物流管理模式已不再能满足要求。在仓库的物品管理中引入 RFID 技术，对物品的出入库以及仓库中的货物余量进行监管，使整个过程实现自动化。在物流的管理中把 RFID 技术加以应用，效率提高和成本降低效果显著。新技术的应用确保了产品的质量，并且有效地避免了物品被偷窃、遗失的状况。RFID 技术在物流活动中能够发挥很大的作用，在物流领域得到广泛应用。

RFID 的每个标签在全球都有一个唯一的 ID 码，即 UID，该 ID 码无法修改和伪造。在 RFID 系统中，阅读器和电子标签间有认证机制，电子标签存储量大且内容可反复擦写。利用这些优点，可以为产品附上一个存储标签，在标签中写进独一无二的识别代码、产品信息、序列号、销售信息等信息，如此，产品便有了一个唯一、完整、可追溯的身份。除了本身具有防污损、没有机械磨损外，在数据安全方面既有标签的密码保护还有相应算法对数据部分进行安全管理。将 RFID 技术应用于防伪领域，能够对产品的生产、运输和销售过程进行严格管理，防止假冒伪劣产品。

随着人类社会的发展，人口、车辆的数量也在不断增长，而土地有限，因而必然会出现车位不足、交通不畅等一系列忧患。在交通运输管理体系中加入新兴的计算机技术和通信技术等等，构造一个实时、高效、准确的综合交通管理控制系统。RFID 具有远距离识别、可存储信息量大、读取速度快等优点，在交通领域有着非常好的应用前景。RFID 已应用于车辆识别管理、交通调度管理、ETC 自动收费系统、停车场管理等多方面。

RFID 技术不断发展，不断应用到各个领域，给人们的生活带来了巨大的变化和便捷。

2.3 本章小结

本章首先对 RFID 技术进行了初步概述，继而详细介绍了 RFID 的系统的构成和 RFID 发展历程及应用领域。

第三章 RFID 室内定位算法

随着经济的快速发展，人们的生活水平不断提高，生活中不断涌现出综合商场、会展中心、地下停车场等大型室内场所，加大了对获取室内目标物体位置信息的需求，刺激了对室内定位技术的发展。全球卫星导航系统(GNSS)，全球定位系统(GPS)无法适用于室内环境，国内外研究机构提出了超声波、WiFi、无线传感器网络以及 RFID 等室内定位技术。

3.1 RFID 定位基本原理

RFID 定位的实质是无线信号定位，就是利用电磁波进行定位，常见的算法包括基于信号到达角度 (AOA)、信号到达时间 (TOA)、信号到达时间差、区域划分以及信号强度 (RSSI)，虽然算法不同，但是其基本的定位机理是相似的。首先位置检测装置从待定位物体获取无线射频信号，然后将获得的无线射频信号进行转换，得到对定位有用的位置信息，对不同的定位算法而言有用信息也有所不同。基于信号达到时间的定位算法中的重要信息是获取到的信号具体达到的时间，其他的算法的有用信息还包括信号到达角度，亦或是接收信号强度等。在获取相对应的有用信息后，进行定位算法的处理，以得到待定位物体的具体坐标信息。

3.1.1 AOA 方法

AOA (Angle Of Arrival) ^[29] 是基于信号到达角度的定位方法，它通常是基于至少两组阅读器，通过检测计算出电子标签反射信号与阅读器之间的到达角度，结合距离完成定位。该定位方法中所使用的标签既可以是有源的，也可以是无源的。定位原理图如图 3.1 所示。

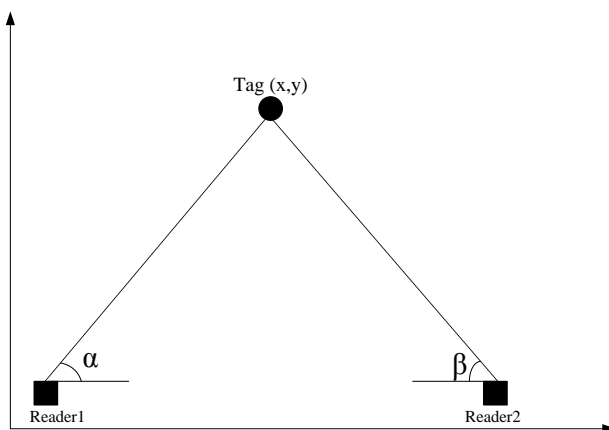


图 3.1 基于到达角度定位原理图

在一个二维平面当中，两条相互不平行的线定会交于一点。利用该平面几何知识，图 3.1 中，信号达到的角度可以经过测量得到，阅读器的坐标又是已知条件，如此便可计算得到标签的位置，完成定位。虽然基于信号到达角度的定位方法具有易于实现、原理简单的优点，但是 AOA 的定位方法会受到多径效应的影响，发生测量角度错判，引起定位的不准确或出现错误的定位，与此同时天线阵列的成本也比较高昂。

3.1.2 TOA 方法

TOA(Time of Arrival)算法中测量的重要参数是信号传输所经历的时间，从信号被发送至信号被接收，又已知电磁波在空气中的传播速度，继而计算距离^[30]。设电磁波在空气中的传播速度接近光速 V_c ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$)，信号从发出到接收的时间为 t ，可得出阅读器与电子标签之间的距离为 $Dist = V_c \times t$ 。如图 3.2 中分布着三个阅读器和一个待定位标签，运用上面的方法可迅速得到各个阅读器到待定位标签 Tag 的距离 R_i ($i=1,2,3$)。由此可以确定以阅读器为圆心、以 R_i ($i=1,2,3$) 为半径的三个圆，三个圆交于一点，交点的坐标就是电子标签所在位置^[31]。

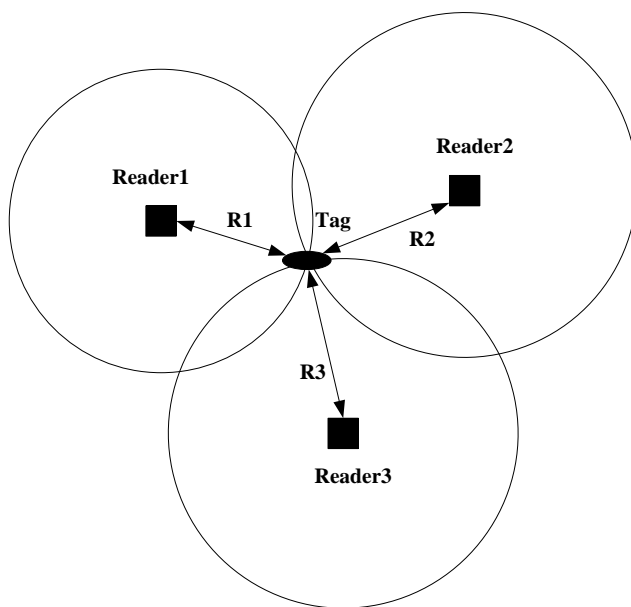


图 3.2 基于信号到达时间定位的原理图

假设图中分布的 3 个阅读器的坐标依次为 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) 和 (x_3, y_3) 。待测电子标签 Tag 的坐标设定为 (x, y) 。有方程组：

$$\sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2} = R_1 \quad (3.1)$$

$$\sqrt{(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2} = R_2 \quad (3.2)$$

$$\sqrt{(x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2} = R_3 \quad (3.3)$$

通过解析几何解此方程组便能得到 x 和 y 的值，即目标标签 Tag 的位置。

虽然 TOA 定位中采用的计算相对简单，但是运用 TOA 定位方法面临着时钟精度和同步的技术问题。该定位方法中计算目标标签位置的距离值是通过信号到达时间来计算的，而无线信号的速度非常快，必须使用高精度的时钟，且要求信号发送端与信号接收端的时钟保持同步，一旦系统时钟精度和时钟同步达不到系统的要求，就会产生较大的误差。高精度的时钟使得系统的成本比较昂贵，加之多径效应的影响，TOA 方法并不常用在室内环境下的定位。

3.1.3 TDOA 方法

TDOA (Time Difference Of Arrival) 是在 TOA 的基础上加以改进，被称为基于信号到达时间差的定位方法^[32]。顾名思义，TDOA 是通过测得不同的阅读器对同一个电子标签发射信号检测的时间差来计算目标位置的方法。

TDOA 同 TOA 相似，如上面的图 3.2，具有 3 个阅读器，首先测量其中的两个阅读器到同一个电子标签的信号时间差，根据距离时间公式计算出两个阅读器之间的距离差值。分别以 2 个阅读器为焦点，以计算出的距离差为半径进行双曲线的绘制，待定位的电子标签会出现在这条双曲线上的某个位置。同样的道理，拿之前还未被采用的第三个阅读器与此前的两个阅读器中的任意一个重复上述算法便能够得到一条不同的双曲线，待定位标签 Tag 的位置便位于这两条双曲线的交点处。具体的计算方法如下：

$$r_1 - r_3 = \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} - \sqrt{(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2} \quad (3.4)$$

$$r_2 - r_3 = \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2} - \sqrt{(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2} \quad (3.5)$$

$r_1 - r_3$ 为 1 号阅读器和 3 号阅读器到待定位标签 Tag 之间的距离差值，记为 d_1 。 $r_2 - r_3$ 为 2 号阅读器和 3 号阅读器到待定位标签 Tag 的距离差值，记为 d_2 。

$$r_1^2 = (d_1 + r_3)^2 \quad (3.6)$$

$$r_2^2 = (d_2 + r_3)^2 \quad (3.7)$$

将 (3.6) 式和 (3.7) 式进行展开得到

$$d_1^2 + 2d_1r_3 + r_3^2 = x_1^2 + y_1^2 - 2x_1x - 2y_1y + x^2 + y^2 \quad (3.8)$$

$$d_2^2 + 2d_2r_3 + r_3^2 = x_2^2 + y_2^2 - 2x_2x - 2y_2y + x^2 + y^2 \quad (3.9)$$

又有

$$r_3^2 = x_3^2 + y_3^2 - 2x_3x - 2y_3y + x^2 + y^2 \quad (3.10)$$

所以

$$d_1^2 + 2d_1r_3 = (x_1^2 + y_1^2) - 2(x_1 - x_3)x - 2(y_1 - y_3)y - (x_3^2 + y_3^2) \quad (3.11)$$

$$d_2^2 + 2d_2r_3 = (x_2^2 + y_2^2) - 2(x_2 - x_3)x - 2(y_2 - y_3)y - (x_3^2 + y_3^2) \quad (3.12)$$

联合 (3.11) 式与 (3.12) 式解出 x , y 两个未知数, 即目标电子标签的坐标。

TDOA 定位方法对阅读器的时钟精度要求很高, 一旦不能满足要求容易造成很大的误差。同时在室内环境下, 还受到多径干扰和障碍物等因素的影响, 导致定位系统的定位准确度不高。

3.1.4 基于 RSSI 的定位方法

RSSI (Received Signal Strength Indication) ^[33,34] 是基于接收信号强度的定位算法, 由测量到的接收信号的强度, 根据自由空间中传输信号功率损耗大小与传播距离的关系来估算阅读器和电子标签的距离, 继而完成定位。RSSI 定位方式的原理如图 3.3 所示:

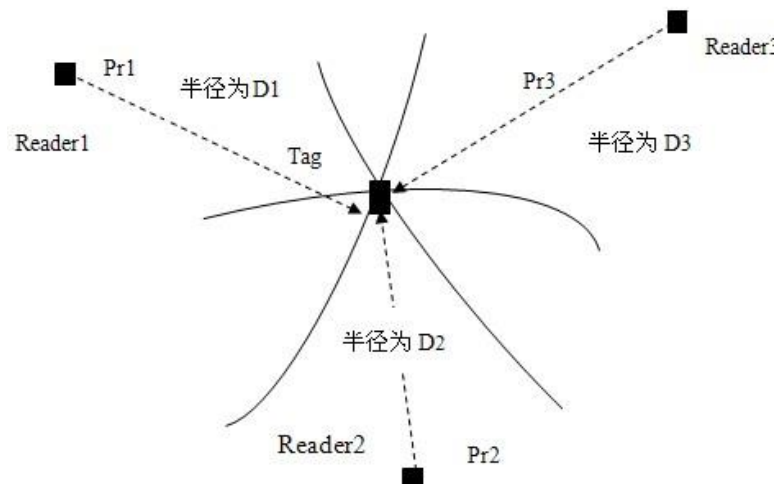


图 3.3 基于信号强度的定位方法

无线信号在实际应用中, 会受到很多环境因素的影响^[35], 模型的选取将直接影响最终测距的精确度。常见的路径损耗模型有自由空间损耗模型、室内的对数损耗模型等。自由空间电磁波传播的模型公式如下:

$$P_{\text{Tag}} = \frac{P_{\text{TX}} \cdot G_{\text{TX}} \cdot G_{\text{RX}} \cdot \lambda^2 \cdot D}{16\pi^2 \cdot d^2} \quad (3.13)$$

λ 为自由空间电磁波的传播波长； D 为方向性系数，若全向同性则 D 的值取 1； G_{TX} 代表发射天线的增益； G_{RX} 代表接收天线的增益； P_{Tag} 代表接收信号的强度， P_{TX} 代表的是发射端发射功率；通过公式我们可以看出 G_{TX} 、 G_{RX} 、 λ 为已知常量， P_{TX} 是定值， P_{Tag} 可以由阅读器测量获取。电子标签以恒定的功率向阅读器发射信号，阅读器测量接收到的信号的功率，根据电磁场理论计算出阅读器与电子标签的距离 d 。在理想的状态下，测量三个不同的阅读器到同一个电子标签的距离，分别以三个阅读器为圆心，分别得到的距离为半径，便能得到一个三个圆的交点，这个交点便是需要测量的待定位标签的位置。现实环境中，电磁波在传输的过程中会受到噪声、多径等的干扰，使得计算出的距离有一定的误差。

本文设计的是应用于室内停车场的定位算法，这种场景下发射出的无线信号除了自然衰减损耗以外，还应考虑多径、障碍物、绕射等带来的损耗。所以本文采用室内对数常态分布损耗模型更为合理。模型的数学表达式为：

$$P_{(d)} [\text{dB}] = P_{(d_0)} [\text{dB}] + 10 \times \alpha \times \lg \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_d \quad (3.14)$$

d 代表发射点与接收点的距离，单位是 m； d_0 是单位距离，通常设为 1m； $P_{(d)}$ 表示在经过距离 d 后信号的路径损耗； $P_{(d_0)}$ 表示单位距离 d_0 后的路径损耗值； α 表示路径损耗因子，代表路径损耗随距离增加而不断增大的速率，它的值越小就代表信号在传播中的衰减越小； X_d 是环境衰减量。在实际的应用场景中，有很多影响信号的元素存在，不同的外界温度、建筑物的分布以及环境中的湿度情况都会对信号的传输产生不同程度的衰弱。具体本文采用的定位算法将在第三小节中详细说明。

3.2 LANDMARC 室内定位算法描述

LANDMARC 系统中引入位置已知的参考标签^[36]，一旦待定位标签进入到室内定位环境中，阅读器将动态侦测环境中 RSSI 的变化情况，包括参考标签和待定位标签，找到最近邻参考标签，最后通过一系列加权计算得出待定位标签的位置。具体算法原理如下：

我们假设系统中一共有 RFID 阅读器 M 个，参考标签 N 个，待定位的标签 L 个，其中参考标签是室内位置已知的标签，设参考标签的坐标分别为 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_N, y_N)$ 。定义

阅读器接收到的参考标签的信号强度矩阵 $\theta \in \mathbf{R}^{M \times N}$ 为

$$\theta = \begin{bmatrix} \theta_{11} & \theta_{12} & \cdots & \theta_{1N} \\ \theta_{21} & \theta_{22} & \cdots & \theta_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \theta_{M1} & \theta_{M2} & \cdots & \theta_{MN} \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

式中 θ_{ij} 表示第 i ($1 \leq i \leq M$) 个阅读器侦测到的第 j ($1 \leq j \leq N$) 个参考标签的信号强度。

定义阅读器接收的待定位标签信号强度矩阵 $T \in \mathbf{R}^{M \times L}$ 为

$$T = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} & \cdots & T_{1L} \\ T_{21} & T_{22} & \cdots & T_{2L} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ T_{M1} & T_{M2} & \cdots & T_{ML} \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

式中 T_{ij} 表示第 i ($1 \leq i \leq M$) 个阅读器侦测到的第 j ($1 \leq j \leq L$) 个待定位标签的信号强度。

定义待定位标签与参考标签的关联矩阵 $E \in \mathbf{R}^{L \times N}$ 为

$$E = \begin{bmatrix} E_{11} & E_{12} & \cdots & E_{1N} \\ E_{21} & E_{22} & \cdots & E_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ E_{L1} & E_{L2} & \cdots & E_{LN} \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

其中

$$E_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^M (T_{ki} - \theta_{kj})^2} \quad (i \in [1, L], j \in [1, N]) \quad (3.19)$$

表示第 i 个待定位标签与第 j 个参考标签之间的欧几里德距离。 E_{ij} 的值越小说明参考标签 j 与待定位标签 i 之间的距离越小，也就是与待定位标签 i 越接近。

LANDMARC 系统采用“ K 近邻”算法^[37]，例如现在进行定位的对象是第 l ($l \in [1, L]$) 个待定位标签，首先比较 N 个 E_{lj} ($j \in [1, N]$) 值，按照从小到大排序，选取出前 K 个 E_{lj} ($j \in [1, N]$) 值，这 K 个 E_{lj} 值所对应的参考标签就是距离待定位标签最近的 K 个，那么第 l ($l \in [1, L]$) 个待定位标签坐标估计为：

$$(x_l, y_l) = \sum_{i=1}^K w_{li} (x_i, y_i) \quad (3.20)$$

式中 w_{li} 表示第 i 个参考标签在第 l 个待定位标签位置估算中的权值, $i \in (1, K)$, (x_i, y_i) 为参考标签的坐标位置。

参考标签的权值 w_{li} 表达式为:

$$w_{li} = \frac{1/E_{li}^2}{\sum_{i=1}^K 1/E_{li}^2} \quad (3.21)$$

通过式 3.21 表达式可以得知, E_{li} 值越小的参考标签, 其权值越大。

第 l 个待定位标签的定位误差^[38]为:

$$e_l = \sqrt{(x_l - x_{l_0})^2 + (y_l - y_{l_0})^2} \quad (3.22)$$

其中, (x_l, y_l) 为算法所得到的坐标, (x_{l_0}, y_{l_0}) 为待定位点的实际坐标。

3.3 基于改进的 LANDMARC 定位算法研究

LANDMARC 系统应用了参考标签进行辅助定位, 采用最近邻居算法。通过研究 LANDMARC 定位算法, 针对算法中在选择标签方面的不足改进算法, 优化最近邻标签的选取, 降低不良参考标签对定位精度的影响, 从而提高系统的定位性能。

3.3.1 LANDMARC 算法中存在的不足

LANDMARC 系统的定位方法是依赖于定位中所选取的参考标签的, 采用“ K 近邻”算法, 选择 K 个最小的值, 然后进行加权处理。理论上 E_{ij} 的值越小说明当前参考标签与待定位标签之间的距离越小。但是, 在复杂的室内环境下, RFID 射频信号会受到多径效应、反射、衍射等等的影响, 选取最近邻标签时往往会引入问题标签, 必定就会影响定位精度, 降低定位的准确性。

如下图 3.4 所示, 假设每个阅读器的最大检测范围如图中的圆形区域所示, 只有 2 号、3 号和 4 号阅读器能够检测到图中所示的待定位标签, 那么远离 2 号、3 号和 4 号阅读器检测范围的参考标签接近待定位目标标签的几率就很低。如果直接用上述的 LANDMARC 经典算法, 把只在 1 号阅读器检测范围内的参考标签引入到计算中, 那无疑会导致一些不必要的计算。所以, 我们将针对 LANDMRAC 的不足提出改进算法, 研究如何高效选取系统中的参考标签, 减少不合理标签的介入, 提高系统的定位性能。

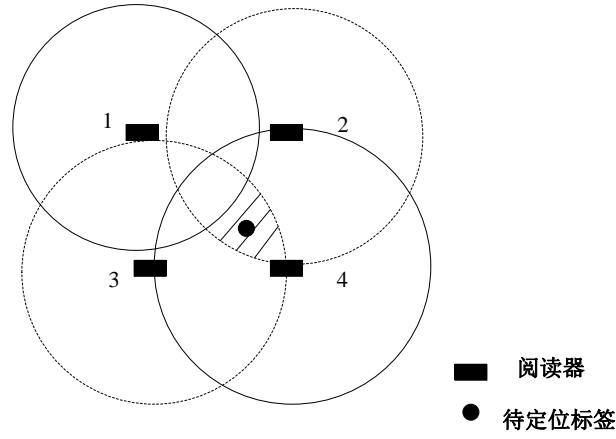


图 3.4 合理选择最近邻标签

3.3.2 改进的 LANDMARC 定位算法

改进的算法依照 LANDMARC 算法的基本原理，并且在传统算法的基础上加入初次定位确定待定位标签所处范围，再次定位提高定位精度的方法，控制问题标签引入的可能性，降低定位误差。

假设参考标签间的间距为 R ，在参考标签中核心参考标签的个数为 n ，现在对某一待定位电子标签 Target 的位置进行侦测。依据上面的定位原理，我们设定待定位 Target 标签与核心参考标签间的欧几里德距离为 $\overrightarrow{E_{TC}} = (E_{TC_1}, E_{TC_2} \cdots E_{TC_n})$ 。

首先进行的是初步定位，将 $\overrightarrow{E_{TC}}$ 中的 n 个值从大到小依顺序进行排列，选取其中的前 $\frac{n}{2}$ 个值得到新的 $\overrightarrow{E_{TC}}$ ， $\overrightarrow{E_{TC}} = (E_{TC_1}, E_{TC_2} \cdots E_{TC_{\frac{n}{2}}})$ ；分别以 n 个核心参考标签所在点为圆心、 $2\sqrt{2}R$ 长度为半径作圆形区域，并统计出每个圆形区域中出现 $\overrightarrow{E_{TC}}$ 中前 $\frac{n}{2}$ 个核心参考标签的个数，从核心标签 1 到核心参考标签 n 一一统计完毕；在统计的数据中找到包含 $\overrightarrow{E_{TC}}$ 中前 $\frac{n}{2}$ 个核心参考标签数目最多的那个核心参考标签，就是择选出的中心标签。

下面进行进一步的精确定位，如上文分析得到的停车场室内环境的信号距离-损耗模型表达式为

$$P_{(d)}[\text{dB}] = P_{(d_0)}[\text{dB}] + 10 \times \alpha \times \lg\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_d \quad (3.23)$$

X_d 进行扩展后：

$$X_d = \varepsilon_d + \sum_{i=1}^{N_W} \gamma_{Wi} + \sum_{j=1}^{N_F} \gamma_{Fj} \quad (3.24)$$

式中, ε_d 为遮蔽因子, 是一个均值为 0, 标准差为 σ dB 的正态随机变量; γ_{wi} 为墙体的衰减系数; γ_{Fi} 为楼板的衰减系数; N_w 和 N_F 分别为发射机与接收机之间的墙面和楼板的数目。

那么当距离为 $d + \Delta d$ 时, 信号损耗为:

$$P_{(d+\Delta d)}[dB] = P_{(d_0)} + 10 \times \alpha \times \lg\left(\frac{d + \Delta d}{d_0}\right) + X_{d+\Delta d} \quad (3.25)$$

设标签的发射信号强度为 P_{sum} , 接收的信号强度 P_{rec} , 则:

$$P_{\text{sum}} - P_{(d)\text{rec}} = P_{(d)} \quad (3.26)$$

$$P_{\text{sum}} - P_{(d+\Delta d)\text{rec}} = P_{(d+\Delta d)} \quad (3.27)$$

分别对接收的信号多次测量并求其均值, 再由式 3.26 与式 3.27 相减可得式 3.28:

$$\begin{aligned} & \overline{P_{(d+\Delta d)\text{rec}}} - \overline{P_{(d)\text{rec}}} \\ &= \overline{P_{(d)}} - \overline{P_{(d+\Delta d)}} \\ &= P_{(d_0)} + 10 \times \alpha \times \lg\left(\frac{d}{d_0}\right) + \overline{X_d} - \left(P_{(d_0)} + 10 \times \alpha \times \lg\left(\frac{d + \Delta d}{d_0}\right) - \overline{X_{d+\Delta d}} \right) \\ &= 10 \times \alpha \times \lg\left(\frac{d}{d + \Delta d}\right) + (\overline{X_d} - \overline{X_{d+\Delta d}}) \\ &= 10 \times \alpha \times \lg\left(\frac{d}{d + \Delta d}\right) + \overline{\varepsilon_d} - \overline{\varepsilon_{d+\Delta d}} + \sum_{i=1}^{N_{wd}} \gamma_{wi} + \sum_{j=1}^{N_{Fd}} \gamma_{Fj} - \sum_{i=1}^{N_{W(d+\Delta d)}} \gamma_{wi} - \sum_{j=1}^{N_{F(d+\Delta d)}} \gamma_{Fj} \end{aligned} \quad (3.28)$$

其中 ε_d 以及 $\varepsilon_{d+\Delta d}$ 是均值为 0、方差为 σ 的正态分布, 所以有 $\overline{\varepsilon_{d+\Delta d}} = 0$, $\overline{\varepsilon_d} = 0$, γ_{wi} 为墙体的衰减系数, γ_{Fi} 为楼板的衰减系数, N_w 和 N_F 分别为发射机与接收机之间的墙面和楼板的数目。公式 3.28 化简为式 3.29:

$$\overline{P_{(d+\Delta d)\text{rec}}} - \overline{P_{(d)\text{rec}}} = 10 \times \alpha \times \lg\left(\frac{d}{d + \Delta d}\right) + \sum_{i=1}^{N_{wd}} \gamma_{wi} + \sum_{j=1}^{N_{Fd}} \gamma_{Fj} - \sum_{i=1}^{N_{W(d+\Delta d)}} \gamma_{wi} - \sum_{j=1}^{N_{F(d+\Delta d)}} \gamma_{Fj} \quad (3.29)$$

在完成初步定位后得到了中心参考标签 (Center Reference Tag) 的位置信息, 接着我们作一个中心参考标签为圆心、 $2\sqrt{2}R$ 为半径的圆区, 在该圆形区域内选取与待定位标签距离最近的 K 个参考标签。我们已知越是接近待定位标签的参考标签应有更小的欧几里德距离, 所以我们选取欧几里德距离最小的 K 个参考标签组成集合 $F = \{F_1, F_2, \dots, F_K\}$ 且 $E_{TF_1} < E_{TF_2} < \dots < E_{TF_K}$, 其中 F_i ($1 \leq i \leq K$) 为参考标签, E_{TF_i} 为待定位标签与参考标签 F_i 的欧几

里德距离。

定义第 j ($1 \leq j \leq M$) 号阅读器的信号强度矢量为 $\overrightarrow{S_j} = (\overline{\theta_{j1}}, \overline{\theta_{j2}}, \dots, \overline{\theta_{jK}}, \overline{T_{jT}})$ ，式中的 $\overline{T_{jT}}$ 代表的是 j 号阅读器反复对待定位标签 **Target** 进行多次侦测得到的信号强度均值，式中的 $\overline{\theta_{ji}}$ ($1 \leq i \leq K$) 代表的是 j 号阅读器分别对参考标签集合 F 中的标签对象执行多次侦测得到的信号强度均值。定义距离矩阵 $\overrightarrow{D_{Tj}} = (d_{j1}, d_{j2}, \dots, d_{jK})$ ，其中 d_{ji} ($1 \leq i \leq K$) 为 j 号阅读器与标签集合 F 中标签的欧几里德距离。

将 $\overrightarrow{S_j} = (\overline{\theta_{j1}}, \overline{\theta_{j2}}, \dots, \overline{\theta_{jK}}, \overline{T_{jT}})$ ， $\overrightarrow{D_{Tj}} = (d_{j1}, d_{j2}, \dots, d_{jK})$ 代入公式 3.28，在标签集合 F 中各个标签具有一个共同的特点，它们彼此间的位置接近，由此我们可以把集合中每个电子标签与同一个阅读器进行通信时受到的物体阻隔和衰减视为相等，即式中 $N_{Wd} \approx N_{W(d+\Delta d)}$ ，同时

$N_{Fd} \approx N_{F(d+\Delta d)}$ ，所以我们有 $\sum_{i=1}^{N_{Wd}} \gamma_{Wi} + \sum_{j=1}^{N_{Fd}} \gamma_{Fj} - \sum_{i=1}^{N_{W(d+\Delta d)}} \gamma_{Wi} - \sum_{j=1}^{N_{F(d+\Delta d)}} \gamma_{Fj} = 0$ 。进一步我们可以得到公式 3.30。

$$\begin{cases} \overline{\theta_{j1}} - \overline{\theta_{j2}} = 10\alpha \lg\left(\frac{d_{j2}}{d_{j1}}\right) \\ \overline{\theta_{j1}} - \overline{\theta_{j3}} = 10\alpha \lg\left(\frac{d_{j3}}{d_{j1}}\right) \\ \vdots \\ \overline{\theta_{j1}} - \overline{\theta_{jK}} = 10\alpha \lg\left(\frac{d_{jK}}{d_{j1}}\right) \end{cases} \quad (3.30)$$

由式 3.30 解方程组计算得出 $K-1$ 个 α 值，运用拟合算法^[39,40]得到最优 α_j 。3.30 的公式也同样适用于待定位标签的定位，通过拟合得到最优 α_j 进行对 α 替换，因此得公式 3.31。

$$\begin{cases} \overline{T_{jT}} - \overline{\theta_{j2}} = 10\alpha_j \lg\left(\frac{d_{j2}}{d_{jT}}\right) \\ \overline{T_{jT}} - \overline{\theta_{j3}} = 10\alpha_j \lg\left(\frac{d_{j3}}{d_{jT}}\right) \\ \vdots \\ \overline{T_{jT}} - \overline{\theta_{jK}} = 10\alpha_j \lg\left(\frac{d_{jK}}{d_{jT}}\right) \end{cases} \quad (3.31)$$

由 3.31 式的方程组计算出 $\overline{d_{jT}}$ 的大小， $\overline{d_{jT}}$ 代表待定位标签与第 j 个阅读器间距离的平均值。运用同样的定位计算过程，我们可以得到待定位标签与所有阅读器间的距离大小值。最后，我们将能够用极大似然估计算法计算出待定位标签的位置坐标 (x_T, y_T) 。

3.4 改进算法运用于停车场定位

为验证改进的算法在停车场中车辆定位的功能效果，我们设置一个区域，如图 3.5 中，在该 $14m \times 14m$ 的区域中安放阅读器 4 个，参考标签共放置 49 个，其中核心参考标签 16 个，阅读器与阅读器之间的间隔距离设为 6m，参考标签彼此间距离为 2m，核心参考标签彼此间的距离为 4m，路径损耗指数设定为 1.8。

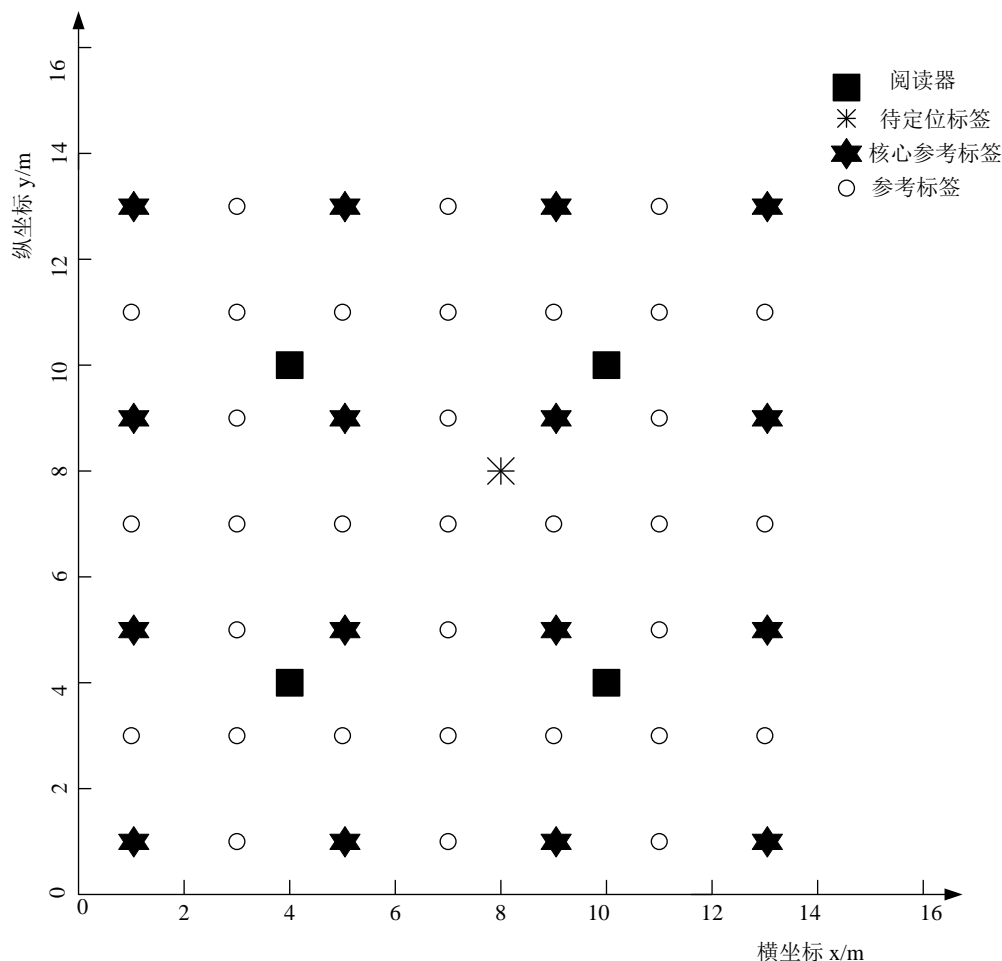


图 3.5 定位分布模型

通过对待定位标签进行 100 次的定位仿真试验，计算出的均值为待定位标签的估算坐标 (x_T, y_T) 。设定待定位标签的坐标为 (x, y) ，定义定位误差：

$$error = \sqrt{(x_T - x)^2 + (y_T - y)^2} \quad (3.32)$$

为进一步验证改进后的 LANDMARC 在定位上的精确度，针对 $14m \times 14m$ 范围中的右上角 1/4 分区进行定位检测。表 3.1 展示的是对待定位点 (8,8) 进行 LANDMARC 定位，多次仿真后的部分数据

表 3.1 LANDMARC 算法对待定位点 (8, 8) 的部分仿真数据

| 测试 次数 | 最近邻参考标签 | | | | | | | | 误差估计 |
|----------|---------|----|----|----|--------------------|----------|----------|----------|----------|
| | 标签的下标 | | | | 标签与 Target 的欧几里德距离 | | | | |
| 1 | 31 | 38 | 26 | 25 | 3.218250 | 3.710082 | 4.113001 | 4.602545 | 0.781834 |
| 2 | 38 | 31 | 25 | 46 | 3.711229 | 4.430111 | 4.824200 | 5.248670 | 2.019948 |
| 3 | 31 | 32 | 24 | 38 | 3.041012 | 3.746328 | 4.098309 | 4.159444 | 1.116628 |
| 4 | 31 | 25 | 24 | 17 | 4.248977 | 4.392607 | 4.966141 | 5.589364 | 0.852476 |
| 5 | 24 | 25 | 31 | 32 | 3.056259 | 3.150379 | 3.534334 | 5.924299 | 0.363197 |
| 6 | 31 | 24 | 25 | 26 | 3.523181 | 3.888165 | 4.800414 | 4.995004 | 0.308902 |
| 7 | 24 | 31 | 25 | 38 | 3.913097 | 3.948749 | 4.215308 | 5.214301 | 0.548321 |
| 8 | 31 | 24 | 38 | 25 | 3.218500 | 4.250508 | 5.123525 | 5.491406 | 0.891253 |
| 9 | 25 | 26 | 32 | 24 | 4.045982 | 4.953973 | 5.051349 | 5.615363 | 1.232272 |
| 10 | 24 | 25 | 26 | 31 | 2.829795 | 3.529323 | 5.334697 | 5.434350 | 0.759374 |
| 11 | 31 | 25 | 24 | 38 | 3.168565 | 4.036399 | 4.040643 | 4.880581 | 0.662104 |
| 12 | 25 | 24 | 31 | 38 | 3.256096 | 4.407958 | 5.035230 | 5.249643 | 0.148841 |
| 13 | 25 | 24 | 34 | 32 | 3.666964 | 4.937760 | 5.092790 | 5.911260 | 1.420224 |
| 14 | 38 | 31 | 24 | 25 | 4.038682 | 4.221735 | 4.258933 | 5.188572 | 0.955749 |
| 15 | 24 | 25 | 17 | 26 | 4.357003 | 4.804516 | 5.671119 | 5.783883 | 1.430914 |

表 3.2 是对待定位点 (8, 8) 运用改进后的 LANDMARC 定位算法实行多次仿真测试后的部分数据。

表 3.2 改进后算法对待定位点 (8, 8) 的部分仿真数据

| 测试次数 | 中心参考标签 | 待定位标签与个阅读器间距离 | | | |
|------|--------|---------------|----------|----------|----------|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 |
| 1 | 32 | 5.669505 | 4.668684 | 3.04808 | 4.599377 |
| 2 | 32 | 5.753066 | 4.53527 | 2.510127 | 4.52131 |
| 3 | 32 | 5.67839 | 4.48111 | 3.08641 | 4.713516 |
| 4 | 32 | 5.662899 | 4.477341 | 2.7374 | 4.665694 |
| 5 | 32 | 5.422588 | 4.608781 | 2.747645 | 4.466701 |
| 6 | 32 | 5.458158 | 4.396494 | 2.663002 | 4.436976 |
| 7 | 32 | 5.513443 | 4.479861 | 2.828654 | 4.225804 |
| 8 | 32 | 5.655301 | 4.740959 | 2.770495 | 4.472152 |
| 9 | 32 | 5.852382 | 4.604062 | 2.755979 | 4.546032 |
| 10 | 32 | 5.631918 | 4.422866 | 2.906229 | 4.431895 |
| 11 | 32 | 5.724569 | 4.495143 | 2.84854 | 4.490841 |
| 12 | 32 | 5.692838 | 4.637043 | 2.902276 | 4.575111 |
| 13 | 32 | 5.81327 | 4.617102 | 2.908015 | 4.332149 |
| 14 | 32 | 5.617122 | 4.265976 | 2.789341 | 4.307727 |
| 15 | 32 | 5.676227 | 4.595043 | 2.976474 | 4.396512 |

如图 3.7 所示的仿真验证结果，改进后的 LANDMARC 定位算法在定位误差的稳定性上有更大的优势，改进后定位算法的误差基本维持在 0.4m 左右，在个别位置更达到 0.15m 的精

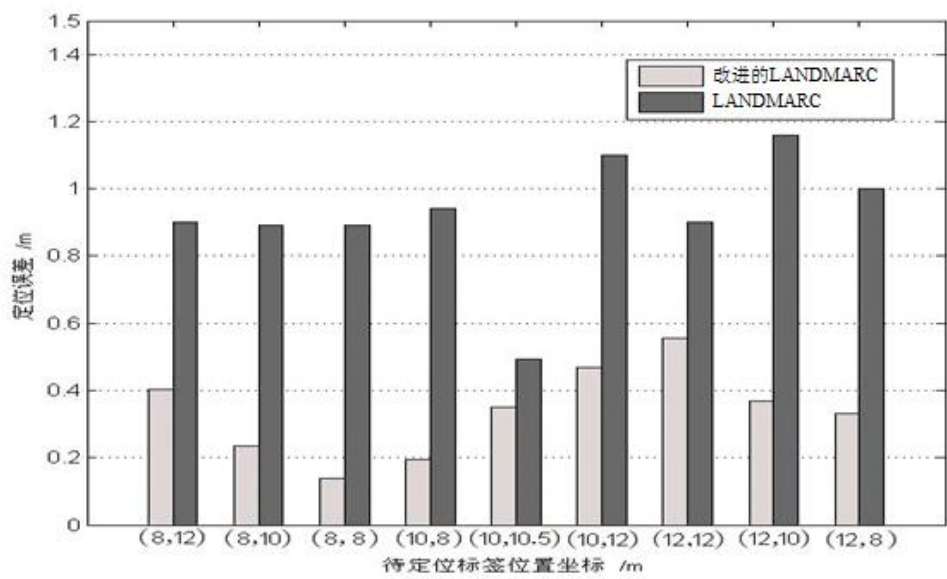


图 3.7 算法定位误差与待定位标签位置关系

在标签和阅读器的布局范围内进行更多待测点的定位实验，获取各位置的定位误差对比数据，从图 3.8 中可以看出待定位点的位置越是接近中心地带，定位误差越小。从阅读器的分布看，越是中心地带越是得到 4 个阅读器的信号覆盖，定位精度也越高。

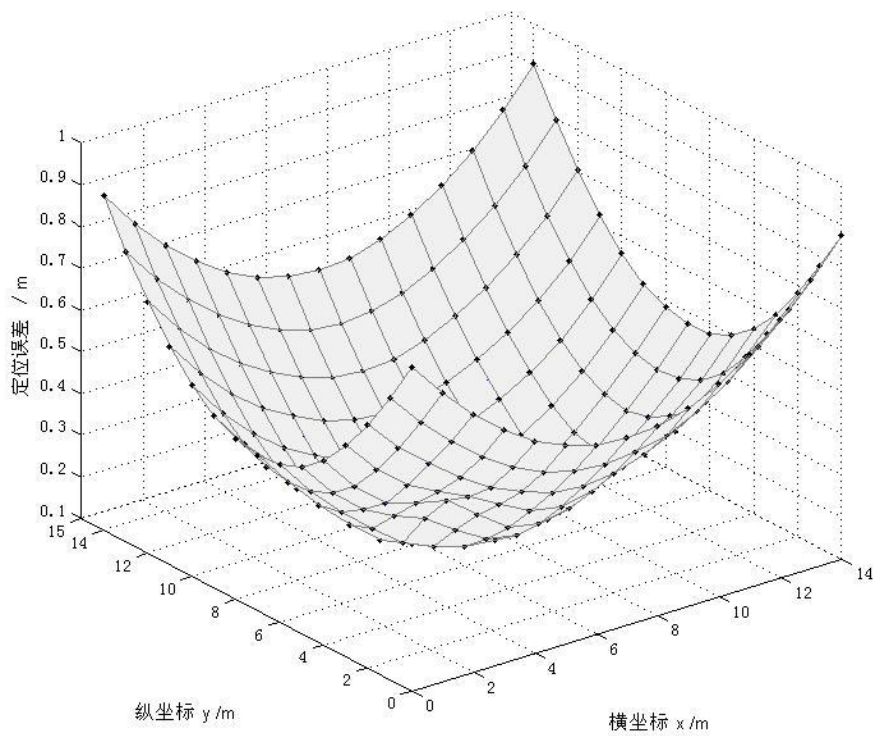


图 3.8 改进的 LANDMARC 算法在区域各处误差

3.5 本章小结

本章节首先进行定位原理论述，RFID 定位中常见的定位包括 AOA（基于信号到达角度定位）方法、TOA（基于信号到达时间定位）方法、TDOA（基于信号到达时间差定位）方法和基于 RSSI 的定位方法。接着进一步叙述的是 LANDMARC 算法原理，并分析 LANDMARC 算法存在的不足，验证改进的 LANDMARC 算法运用到停车场定位的可行性。

第四章 智能停车场管理系统方案设计

本章节的主要提出 RFID 技术与 Wi-Fi 技术等相结合的智能停车场管理系统方案设计。本智能停车场管理系统是基于 RFID 定位，设计的目的是为车辆提供智能化服务。提供车辆从出行前的信息查询，到具体停车场路线导航，再到进入停车场寻找车位，最终反向寻车缴费离开等一整套服务。系统由车辆定位、车位路线引导及反向寻车等多个子系统共同组成，提供全方位的服务和管理。

4.1 智能停车场管理系统的目标需求

本智能停车管理系统基于 RFID 定位，融入各项其他技术，本着为车辆提供更为优质智能的停车服务，提供车辆从进场到出停车场的引导。其功能需求包含以下各点：

1. 出行前通过相应手机移动终端 APP 定位适当的周边停车场

通过打开智能移动手机上安装的 App 应用，对想要前往的目的地周围的各个停车场进行信息查询，获取停车场车位剩余数量及相对应的导航线路^[47]，如果该停车场有预定停车位功能，用户还可以提前预定停车位。

2. 实时定位，引导车辆进场后寻找车位

我们采用基于改进 LANDMARC 定位算法的获取车辆的位置信息，服务器负责对数据处理。当车辆驶入停车场区域时，车主通过手机移动终端与停车场服务器取得连接获取车位引导路线图。

3. 进入停车场的车辆按停车时间和车辆类型收费

停车场管理方作为停车服务的提供方，制定合理的停车收费标准是管理工作中不可缺少的部分。针对停车用户车辆所停放的时间进行监测，按照标准收费并进行中文语音播报，收取停车费用是停车场的主要收益来源。

4. 尽可能加快车辆进出停车场的速度

在停车场车位空余的情况下，通过出入车辆自动检测、车牌自动识别技术等尽可能使得单位时间内驶入驶出停车场的车辆多，节约停车用户的时间，提高停车场的工作效率。

5. 反向寻车

停车场一般建设在室内，环境较为阴暗，面积较大且格局相当相似，这给在完成停车之后，再次进入停车场反向寻车的车主们造成了一定的困扰。不少车主在寻找自己停放车辆时耗费很长时间，在停车场内来回找寻。我们可以通过智能手机软件，直接呈给车主停放车辆

6. 系统要具备合理性、可靠性和可扩展性能

系统要从用户的角度出发，尽可能地简洁便利，符合人们的使用习惯，给予用户好的使用体验。另外，系统在平常的工作运行中应具有较高的可靠性和健壮性，从长期发展的角度，系统还得考虑可扩展性。

4.2 整体框架设计

本文设计的基于 RFID 智能停车场系统的整体架构分为四个层次，如图 4.1 所示，分别为硬件设备层、数据采集层、网关传输层和业务应用层。

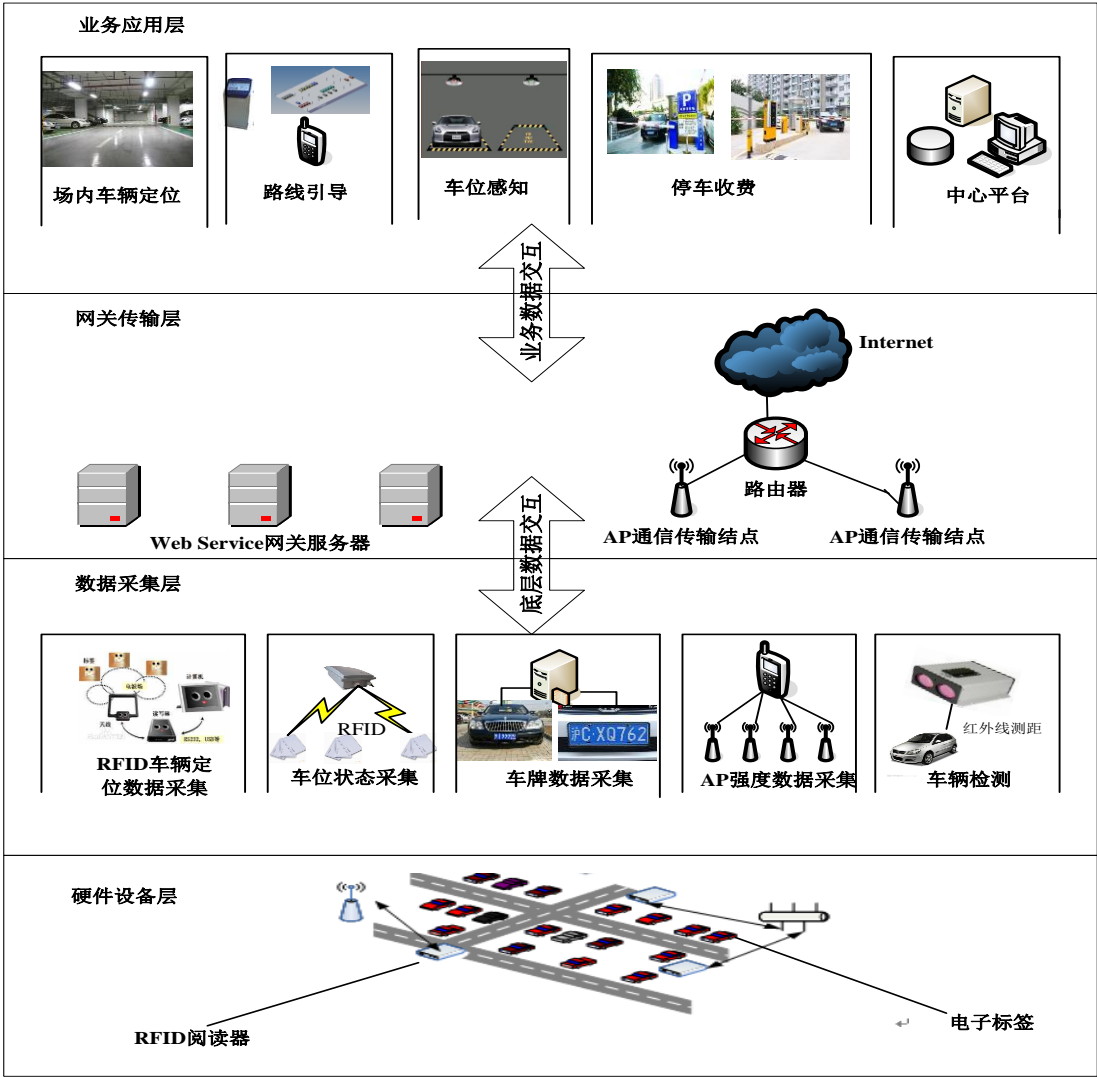


图 4.1 智能停车场系统的整体架构

其中，硬件设备布局是管理系统的最底层；数据采集层是整个智能停车场管理系统中最基础的组成部分，主要负责采集底层数据信息；网关传输层的主要工作是采集信号到数据库中心之间、以及信号与 Internet 之间的交互通信；业务应用层完成的任务是对系统提出的各项

4.2.1 停车场规划及布局

本文是针对城市停车场的智能化建设，为适应城市公共停车场建设发展，保证城市公共停车项目质量，停车场需遵循城市公共停车场工程建设标准。在工程建设中，停车场的建设需要综合考察多项指标，很多因素都会影响到停车场规模的大小，如停车场所处地段的交通规划要求、车辆停靠需求、道路承载等。

城市公共停车场的规模分为小、中、大和特大四种类型，划分的依据是停车场提供的停车位数量，停车位数量所处区间不同，停车场的类型也有所不同。具体划分标准如表 4.1 所示。

表 4.1 城市公共停车场规模分类

| 停车场类型 | 停车位数量（个） |
|--------|----------|
| 特大型停车场 | >500 |
| 大型停车场 | 301-500 |
| 中型停车场 | 51-300 |
| 小型停车场 | ≤50 |

特大型停车场的出入口数不得少于 3 个，大、中型停车场的出入口数不得少于 2 个。图 4.2 是本文所设计的停车场的空间布局图，运用软件对停车场空间布局绘制，设计的停车场中分为 6 个主要区域，每个区配备 8 个停车位。

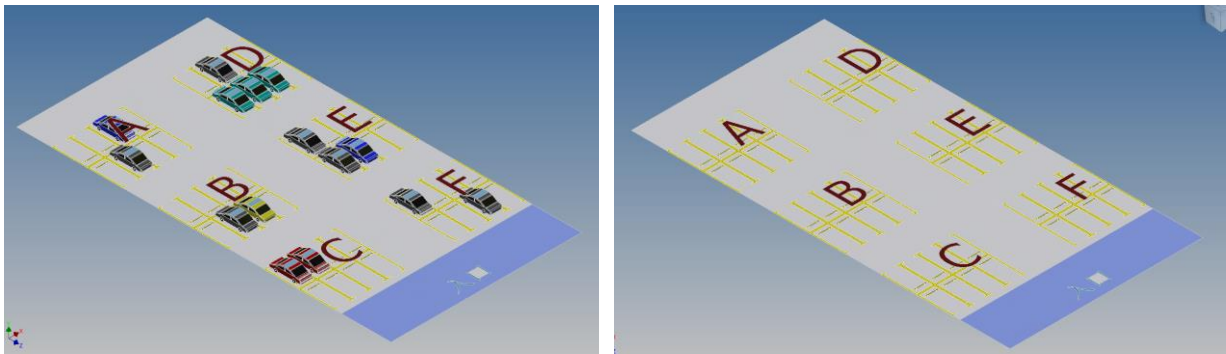


图 4.2 停车场布局图

按照国家规定的停车位标准尺寸，大车停车位宽 4 米，长度 7 米到 10 米，视车型而定；小车停车位宽 2.2 米到 2.5 米，长度 5 米；旁边道路小车，单面停车 5 米宽，双面 6 米，大车 8 米。本文主要对停小型车为主的停车场进行规划，停车位的尺寸采用宽 2.5 米、长 5 米。如图 4.3 展示的停车位图，图中每个停车位的尺寸为 2.5×5 米，停车位四周边线的规格为 0.15m，中间行车过道的宽度为 5m，正对出入口的过道的宽度设计为 7m。

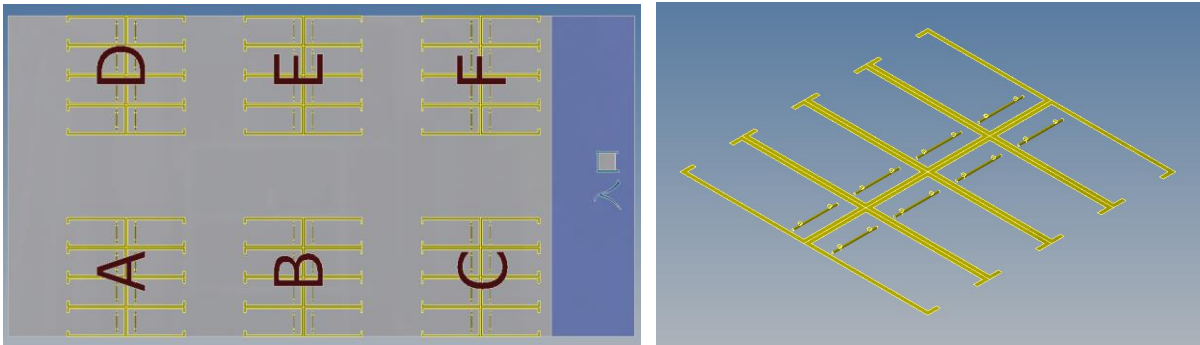


图 4.3 停车位布局图

4.2.2 RFID 硬件布局

本文设计的应用场景是智能停车场，对选用的 RFID 阅读器设备必须具备一定的特性才能满足系统所提出的要求，要求保证数据采集的兼容性、车辆位置定位的准确性等。这些特性分别是：具备可测量 RSSI 值，支持主动数据上传及被动上传模式，具有全向天线，与上位机的接口方式具备串口通信（RS232）/网口通信。

综合考虑这些特性和系统设计要求，我们选取的电子标签是有源电子标签，工作电源完全由其内部的电池提供，电子标签与阅读器之间进行通信所需要的射频能量也是由内部电池的能量部分转化。有源电子标签有更远的读写距离，适用于远距离读写的场合。

在14m×14m的停车范围内放置 4 个阅读器，阅读器与阅读器之间的间距为 6m，参考标签与参考标签之间的间距是 2m，核心参考标签之间的距离是 4m。阅读器标签布局方式如图 4.4 所示。

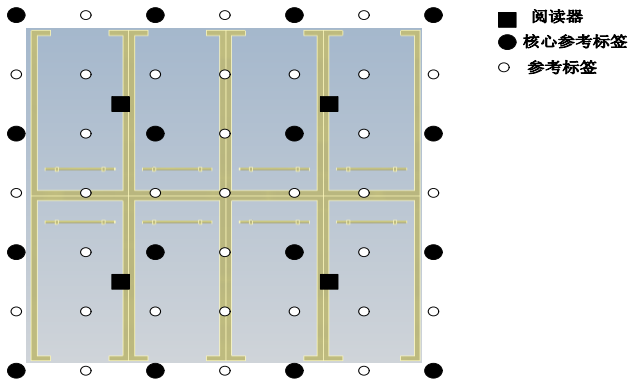


图 4.4 阅读器标签布局图

4.2.3 系统层次功能

数据采集层采集各种数据，包括停车场内的车辆定位数据、实时监控车位的状态数据、以及用于鉴别用户车辆身份的图片数据等。采集层中分布着不同规格的各类传感器，在存在通信协议、型号等各种差异的情况下仍然能共同工作，归功于网关传输层。

网关传输层运用开放的 XML 标准，使用的是 Web Service 网关服务器进行沟通传输^[49]，Web Service 网关服务器是独立、低耦合、自包含的平台。在它的作用下，即使使用的语言不同，或者不在同一个平台，甚至内部协议也不一样，都照样可以进行数据间的交流互换。

业务应用层的业务化处理包括车辆定位、车位引导、车位感知、反向寻车、出入场收取费用等。各业务从物理上看是分布在停车场不同的区域，因为有网关传输层当中间枢纽，相互之间可以进行必要的数据交互。业务应用层是直接面向车主用户和停车场管理人员的，业务层在智能停车场建设中的重要性不言而喻。Web Service 充当的是中间桥梁角色，它发挥的作用就是让主系统和其他不同设备在进行数据交流时接口和协议统一化。

4.2.4 Web Service 传输体系框架

实际的停车场系统环境中，物理设备分散在内部各个角落，在物理位置上彼此互不相连。Web Service 技术能够做到让不相连的设备整合成一个通信整体，实现不同子系统、不同物理设备和系统中心数据库间通信无阻。Web Service 既是一种网络技术，更是一种新型的软件工程技术^[50]。有了这样一种技术，即使位置不是同一个、机器不同、平台相异，它们之间依旧可以进行数据传输和交换，且不需要增加和借助第三方软件或者是硬件。

Web Service 网关子系统在每个子系统和设备都可以进行信息的发布与接收，在通信中使用的协议是 SOAP 协议^[51,52]。SOAP 的全称是简单对象访问协议，WSDL^[53](Web Services Description Language)是网络服务语言，工作内容是表述简单对象访问协议接口的消息的格式等。

在智能停车场管理系统里面主要是利用 Web Service 接口控制停车场管理中心和各个子功能系统间的数据互通。停车场内车辆定位信息上传接口，中心服务器从该接口及时获取车位的位置信息；停车场内车位状态监测服务接口，实时获得场内车位状态数据等等。

4.3 管理系统模块

4.3.1 出入场子系统

出入场子系统包括自动入场和收费出场两个主要模块。在车辆自动入场模块中，采用红外线检测横杆自动放行策略。抬杆处的红外线设备在车辆经过是，收发端之间受到阻挡，此时车辆识别摄像头会即刻对车辆进行拍照，进行车牌号码的识别，再进行抬杆放行。入场子系统通过 Web Service 网关子系统的相关服务接口将采集的照片、车牌号、车辆入场时间等数据信息上行传送给中心管理子系统。

车牌的自动识别技术是一个集通讯、信息和计算机处理技术于一体的问题^[54]。车牌识别技术主要由车牌定位技术^[55](Plate Location Technology)、字符分割技术^[56] (Character Segmentation Technology)和字符识别技术^[57](Character Recognition Technology)三个部分组成。系统框架如图 4.5 所示，在停车场智能管理系统中，车牌识别子系统是其中的一个重要组成部分，对于智能停车场的建设、车辆检测、交通状况的改善都有着重要意义。在车辆进场是进行车牌识别，为后续的场内实时监控、反向寻车等提供数据上的支持。

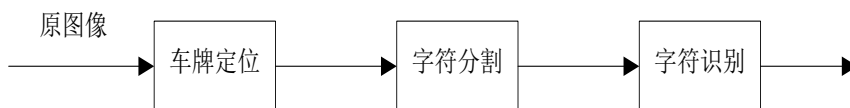


图 4.5 车牌识别的一般步骤

出场子系统中，当车辆驶出停车场时，车牌识别系统将识别车牌上传至中心管理子系统，查询数据库中当前车辆用户使用停车位的时间段，在实行核对之后向中心管理系统请求计算停车总费用，在收费完成后实行抬杆放行。通过多次与管理中心的数据交流和人工收费员监督，收费系统便可以完成可靠出场收费的工作^[58]。

4.3.2 车辆定位和车位引导子系统

本文设计的智能停车场管理系统采用的室内车辆定位技术是基于改进的 LANDMARC 定位算法，在传统 LANDMARC 算法的基本原理上结合初步定位和再精确定位，减少了问题标签的影响，更一步提高的系统定位精度。

运用移动手机 App，当打开应用并完成注册登录模块后，用户可进行车位查询选择操作。

当停车用户的车辆到达停车场的入口时，用户手机检测到停车场内的 WiFi，通过 WiFi 认证用户身份，将用户信息发送至服务器。服务器端在接收到个人信息之后会进行数据库访问，判断用户是否提前预定车位，如果提前预定则将用户预定的车位编号和入口至所选车位的路线图发送至用户的手机端，用户依据路线图进入停车场寻找车位完成停车，而如果用户未提前预定车位，服务器将进行场内空余车位判断，若仍然有车位，将选择其中一个发送车位编号和路线图，没有空位时提示车位已满。

通过 RFID 定位子系统获取车辆的实时位置信息，通过手机端应用软件进行车位预定，当手机和服务器端通过 WiFi 连接后，服务器将发送停车场的车位引导平面图到手机用户端，对车主的停车进行引导，提高停车场的效率。

4.3.3 RFID 的车位状态识别子系统

车位感知技术是一种能够实时判断车位状态的技术，它借助传输媒介来感知车位，再通过综合利用计算机通信技术完成对车位状态的实时掌控。研究车位感知技术的运用，大大节省寻找车位的时间，提高停车场的管理效率和车位利用率。

停车场车位感知的方案依据传输媒介的区别可以分为五大类：地磁线圈、红外线、视频、超声波和 RFID 感知方案^[59]。每个方案的优缺点各有不同，无线射频技术，我们从上文已经了解到它的优势，我们的停车场主要是位于室内，考虑到准确度、外界环境干扰等因素，可采用 RFID 技术来进行车位状态的判别。

在车位状态识别子系统中，RFID 标签采用与车位一一对应的组合方式。由自由空间电磁波传播公式，我们知道在直接传输的情况下，接收端的信号强度是随着距离的大小而衰减的。当电子标签和阅读器之间出现车辆时，阅读器接收电子标签的信号发生强度上的减弱，利用其中存在的信号差异性便能够判别车位的是否已被使用。

4.3.4 反向寻车子系统

反向寻车是能够帮助车主快速地找寻到自己车辆的方式，在这个经济快速发展、汽车保有量不断增加的今天，停车场的规模不断扩大。实际生活中的停车场大多处在地下，布局格调相似，方向不易辨识，如何能快速找回用户所停放的车辆是一项能提高车主停车满意度的途径之一。室内 WiFi 位置指纹定位方法^[60,61]的运用可用于反向寻车时获取车主位置。

在反向寻车过程中有两个信息是最重要的，一个是车主停放车辆的位置，另外一个就是当前车主所处位置。用户的车辆当进入停车场入口工作区域时，用户的手机会检测到停车场

内的 Wi-Fi，与智能停车场管理系统的后台系统进行交互，通过各个子系统的相互协作将整个停车场的具体车位分布平面图和车位引导路线图借助手机端的软件呈现在用户面前。那么当我们反向寻车时，我们可以获取之前的车辆从入口到所选车位之间的路线图，再加上停车场内一标志性地点至车位的路线图，便能够方便地寻回车辆。

4.4 本章小结

本章对智能停车场管理系统的方案进行设计。本智能停车管理系统基于 RFID 定位，融入各项其他技术，本着为车辆提供更为优质智能的停车服务，提供车辆从出行前的信息查询，到具体停车场路线导航，再到进入停车场寻找车位，最终反向寻车缴费离开等一整套服务。将 RFID 定位技术、WiFi 技术等与 Android 智能手机结合起来，方便车主进行车辆的停放，提高车位利用率。从智能停车场管理系统的目标需求、整体框架设计、系统子模块功能实现等方面对整个停车场系统进行阐述。

第五章 基于 Android 智能移动终端设计

5.1 移动终端相关技术

5.1.1 地图技术

我们需要将停车场的地理位置信息展示给用户,使用户可以直观获取停车场的基本信息,选择最为合适的路线驱车前往自己所选择的停车场。此时,基于移动终端的地图技术就发挥出其作用。

地理信息系统 (GIS) ^[41]对地面实体进行测绘测量获得相应图形信息,将有关数据存录于数据库中,并通过计算机技术对空间对象进行分析和重现。GIS 是以地理空间数据库为基础,借助计算机软硬件,运用系统工程和信息科学理论,从而科学管理和分析地理空间数据的技术系统。GIS 侧重于信息分析,通过它可以很便捷地集成各种属性的数据,高效率管理信息资源,为制作地图提供空间位置相关的服务。常见的 GIS 系统有 ArcGIS、MapInfo、ArcCAD、MapGIS 等。

GIS 系统会依据不同的数据结构和绘图仪,采用矢量图形或者是栅格图形的方式进行展示。我们眼中的一张完整的地图实际上是由多个地理信息数据图层叠成的。GIS 技术在经过了多年不断的发展后,如今已成功渗透到了其他各个领域,在城市的规划、交通运输的管理等方面都发挥了重要的作用。

我们熟悉的电子地图就是 GIS 在交通运输领域的应用实例,借助计算机技术,以数字形式存储和查阅的地图。在电子地图上我们可以进行搜索某个地点获取从起始地点到目的地之间的路线图或者通过搜索某个地点获取其周边信息。

Google 公司以第三方工具方式提供了开发者使用的 Google Maps API 后, GIS 电子地图功能被完美地加入安卓应用。目前比较流行的互联网电子地图有 Baidu 地图、高德地图、谷歌地图、Sogou 地图等。

GIS 系统在数据管理与分析上有明显优势,但要构建一个城市的地图,其难度系数高,工作量大,耗费时间。为了具备互联网查询功能,本文客户端软件在出行前的停车场导航环节中采用互联网电子地图,为用户提供定位服务、搜索到附近停车场的相关信息,并完成从出发地到目标停车场之间的路线导航,完成停车场出行前和出行中的诱导任务。在进入停车场服务范围后,通过相关通信方式与停车场服务器端连接,服务器向客户手机端发送停车场的空间格局图和车位分布图。

5.1.2 触摸技术

在如今这样一个多媒体信息呈现方式日趋多样化和层次化的生活里，键盘和鼠标输入的传统模式已经显得笨拙和落后，触屏技术有着操作方便、轻盈易携带的优点，是一种崭新的人机交互方式。

触摸屏中的两个主要装置是触摸屏控制器与触摸检测部件，其中检测部件进行的工作是检测用户对触摸屏点击触摸的位置，并完成传送检测信息给控制器，检测部件的安装位置通常是处于显示屏的前方。触摸屏控制器主要进行的是触摸信息收取，把检测设备送来的信息进行处理，计算触点坐标数据上传 CPU，另一方面控制器也接收并执行 CPU 的命令。现在，触摸屏技术早已不再是仅限于单点，已经实现多点触屏技术^[42]。

触摸屏技术根据屏幕表面定位原理的不同，可以分为声学脉冲识别（APR）技术，表面声波（SAW）技术电容式触摸屏技术和电阻式触摸屏技术红外/光学式技术两类。其中电阻式触摸屏技术利用人在触摸屏幕表面时产生的压力差异，借助压力感应系统进行信息的传输工作。在压力感应系统中，占据核心地位的是电阻薄膜屏。当人使用自己的手指亦或是其他的可用物体与薄膜屏触碰时，系统内的电阻大小被改变，通过电阻变化完成触摸点的定位。它具有不惧怕灰尘、油污等外界污染，能用任何物体进行触摸以及精度高等优点。电容式触摸屏的玻璃表面是融入特殊技术的，表面上附有一层特殊金属导电物质，当人体的手指与特殊金属层发生触摸时，人体本身的电场会形成一个耦合电容，触点处的电容会发生变化，从而引起相应的振荡器频率发生变化，再通过对频率变化量的测量获取触摸位置信息。

触屏技术正变得越来越普及，随着不断提出的更高性能要求和更多功能要求，触屏控制器技术得到了促进性的发展。如何在大屏幕上的反应时间更加快速，如何提高屏幕的清晰度和触屏精度，更有如何实现复杂的多重触摸数据处理等都将是未来触屏技术的发展方向^[43]。

5.1.3 Android 系统库

本文的 App 是运行在搭载 Android 操作系统的智能移动终端设备上的。Android 是谷歌与开放手机联盟合作开发的开源手机操作系统。开放手机联盟（Open Handset Alliance）是一个全球性的联盟组织，由美国谷歌公司于 2007 年 11 月 5 日宣布组建。开放手机联盟共同开发 Android 的开放源代码的移动系统，Android 平台是第一个完整的、开放的、免费的智能移动开发平台。在开放手机联盟成立后，Android 的发展速度大大加快，系统功能得到进一步完善。Android 系统具有自由开放的特征，鉴于这一特性，自其被推出便得到了众多终端公司的青睐，

占据系统市场的很大份额^[44]。

Android 操作系统分为应用层、应用框架层、系统库和 Android 运行时以及 Linux 内核。Android 平台的体系结构如图 5.1 所示。



图 5.1 Android 平台的体系结构

应用程序层提供日历、短信、浏览器、Email、联系人管理等一系列核心应用程序包，该层用 Java 编写应用程序，能简化组件的重用。在应用程序框架的作用下，技术员可开发自己的应用替代 Android 提供的程序，且不会发生与核心应用程序冲突。

在 Android 平台上，开发人员可访问核心应用程序所使用的 API 框架。并且，任意应用程序都能够发布自身的功能模块，其他应用程序则可以使用这些已发布的功能模块。基于这重用机制，用户就能够很便捷地替换平台本身的各种应用程序组件^[45]。

系统库的各个子系统分别为媒体库、Surface Manager、SGL、SQLite、FreeType、libc、WebKit、OpenGLState 与 SSL，一共是九个。组成 Android 运行时的成员是核心库以及 Dalvik 虚拟机，前者核心库不只是包含 Android 的核心库，更是兼备了提供给大多数 Java 语言调用的功能函数。后者的任务是进行堆栈管理、生命周期管理、安全和异常管理、线程管理以及垃圾回收等。Dalvik 虚拟机，事实上就是一种基于寄存器的 java 虚拟机。Linux 内核扮演的是硬件层和系统其他层次间的一个抽象层的概念，核心服务包括安全机制、内存管理、进程管理、网络与硬件驱动等。

Android 系统框架除了支持组件的替换，同时还支持组件的重用。Android 平台的内部集成浏览器还提供了包括 2D 和 3D 在内的图形库，同时支持 SQLite 数据库，它是一个基于开源 WebKit 引擎的浏览器。在多媒体支持方面，不仅对蓝牙、WiFi 提供良好的支持，而且

对照相机、GPS 等硬件提供很好的支持。在开发环境上，Android 除了提供模拟器功能之外，还具有调试工具，最后还配备着内存及性能分析图表和 Eclipse 集成开发环境插件等工具，极大地方便了用户开发高效的应用程序。

5.2 智能停车业务流程

智能停车场管理系统的核心目的是服务于停车用户，高效停车，同时也促进停车场管理的统一智能化发展。我们以一次车辆停车的过程为例，我们将经过下面几个流程。首先是通过 Android 手机端的 PGIS(Parking Guidance and Information System)软件查询周边停车场的信息，包括停车场总停车位、空闲车位数目、停车费用收取情况及具体地址。选择合适的停车场后，若该停车场允许提前预定，可进行车位的提前预定。接着进行从用户当前位置到目标停车场地的路线导航工作。

当停车用户在路线导航或者其他方式下顺利抵达所选择的停车场入口时，停车场管理系统会进行用户车辆信息的采集工作。拍摄停车用户所在的车辆的照片，照片中的车牌号码信息应尽可能清晰。照片发送到计算机后，经过相应的处理后获得各种信息，例如车牌号码、车辆颜色信息等，并与用户卡一一对应存储在数据库内。正是 RFID 电子标签 ID 号的唯一性，我们能够将用户信息、车辆型号属性信息、车辆的进出场时间及停放总时间、所选择的车位号码信息、车位引导路径、停车费等信息归纳起来，对应存放在数据库中，实行“一车一卡一位”的管理模式^[46]。

在车主到达停车场入口时，车主将利用自己的 Android 手机通过 WiFi 接入方式与服务器建立连接，完成相应的身份和车辆信息验证。在验证成功后停车场的服务器端将发送相应的车位编号和停车场内路线引导图到手机端，车主在引导下完成车辆的停放。在每个车辆完成停放时，车位感知系统会对车位状态进行更新并上传至服务器，更新相应数据库。最后，利用反向寻车功能，取回车辆，在出口处完成停车费用收取后离开停车场。图 5.2 是车辆在停车场入口处获取车位引导路线图的主要流程图。

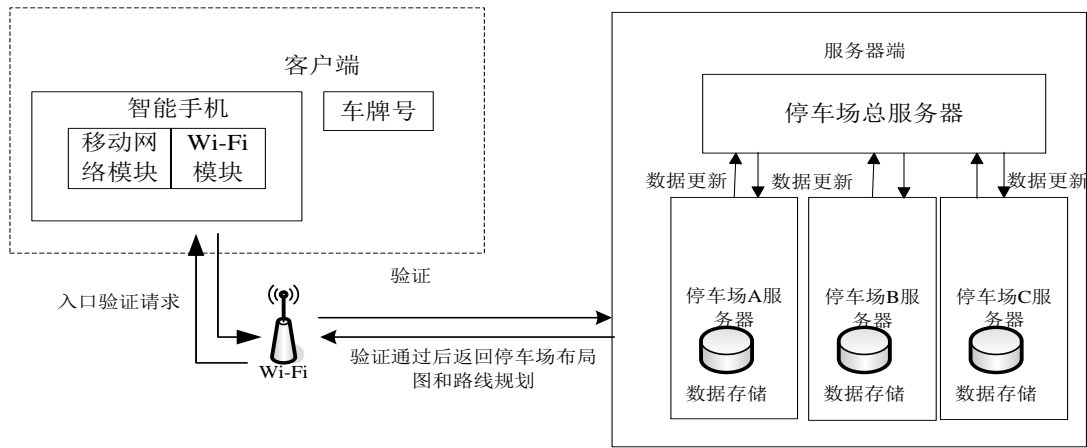


图 5.2 车辆获取车位引导图的主要流程

5.3 Android 开发环境搭载

Android 开发语言是基于 Java 体系的,其开发环境包括 Java 开发包 JDK(Java Development Kit)、开发工具 Eclipse, 以及 Android 开发包 Android Development Kit(简称 ADT), 和其他组件如 Android Virtual Device(简称 AVD), 也就是 Android 模拟器。

本论文在智能移动终端软件开发的过程中所采用的开发环境是 Eclipse 加上 ADT 插件。Eclipse 集成开发环境 JDK, 所以最先进行的准备工作就是对 JDK 工具包的安装。JDK 是 Sun Microsystems 针对 Java 开发的产品, JDK 不断发展, 到现在已发展成最被广泛使用的 Java SDK。JDK(Java Development Kit)是 Java 的核心, 不仅包括了 Java 的运行环境 (Java Runtime Environment), 还包含了 Java 工具和给开发者开发应用程序时调用的 Java 基础类库等。

本设计中使用的是 JDK1.8 的版本, 下载到本地电脑后双击进行安装。安装完成后进行环境变量的配置, 把 JDK 的安装路径添加到系统 Path 中。可打开控制台窗口, 运行"java -version" 检查 JDK 是否安装成功, 如出现如下图 5.3 所示界面则表示安装成功。登录到 Android developer tools 官方网页, 在界面上找到相应的位置下载 Eclipse 开发包, 这样操作的缘由是它已经绑定 Eclipse 和 ADT 插件。作为开发人员, 只需要直接下载并解压便可以进行使用, 免去复杂繁琐的下载工作, 简化了 Android 环境的搭建工作。本论文采用使用的 ADT 版本是 adt-bundle-windows-x86-20130917.zip。



图 5.3 执行 Java 命令窗口

在 Android 开发环境成功搭载的前提下，启动 Eclipse 设置 WorkSpace 路径，进入 Eclipse 开发界面，图 5.4 是 Eclipse 启动界面和开发界面。进入开发界面点击 File 选项，新建一个 Android Application Project，进行应用名称、项目名称及要创建的包名的命名等操作，创建 SelectParkingSeat 项目。

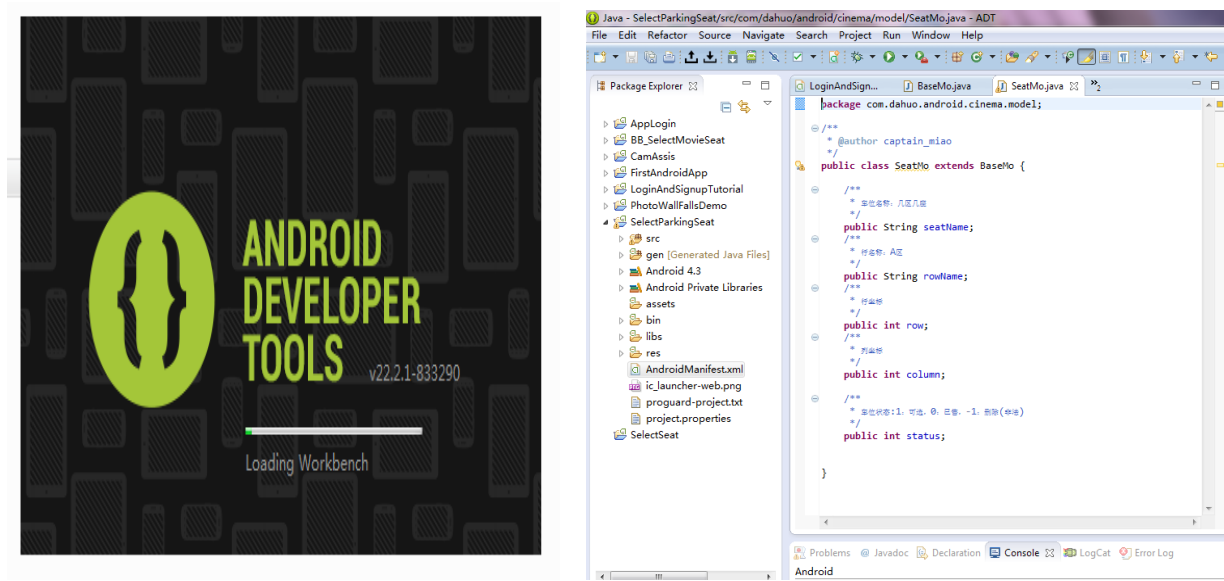


图 5.4 Eclipse 启动及开发界面

项目创建完成后进行 Android 项目的运行，选中项目鼠标右击，先点击 Run As，在下拉选项中选择 Android Application，选择调试 Android 应用的模拟器后运行程序。图 5.5 是本文智能移动终端软件开发所采用的开发设备环境，PC 机及安卓智能机，调试的模拟器为 htc-htc_desire_S_SH21ATL02550。

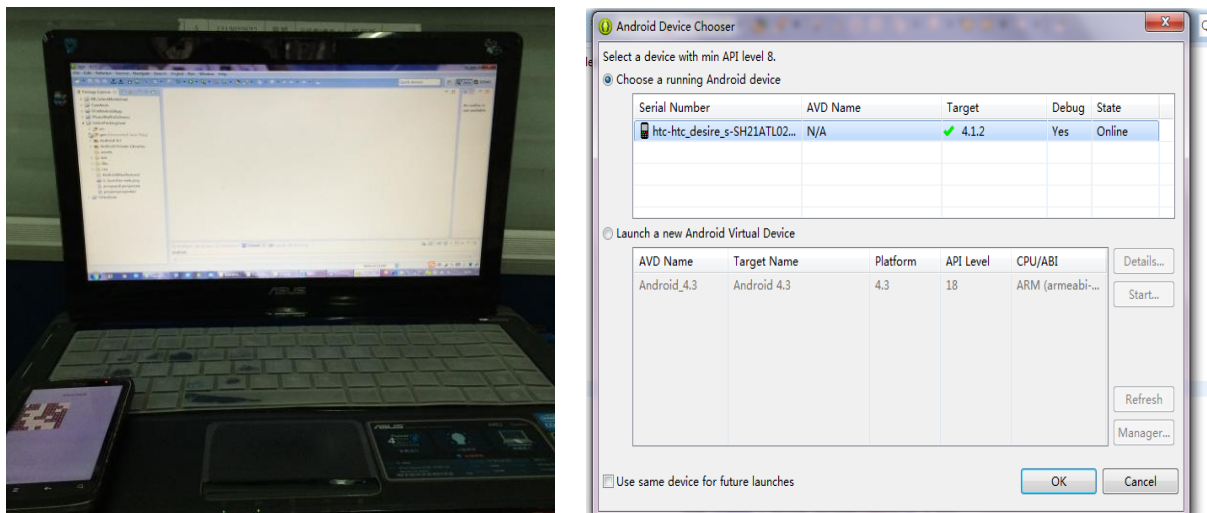


图 5.5 应用开发环境及模拟器选择

5.4 本章小结

本章节首先就 Android 移动终端技术中的地图技术和触摸技术进行原理介绍，对 Android 系统库和智能停车业务流程进行说明，介绍 Android 开发环境的搭载等。

第六章 基于 Android 智能移动终端功能实现

6.1 智能移动终端的功能

停车场手机 App 采用 MVC 三层架构，分别是 Model 层、View 层和 Control 层，Model 层由 Hibernate 实现，View 层通过 ExtJS 自带的组件完成，Control 层由 Struts2 负责。本论文的 Android 智能端软件的设计完成的功能块主要分成 5 个部分，分别提供软件使用用户进行账户注册与登录、出行先预先查询停车场车位情况、出行过程中地图导航、进入停车场时连接停车场中心以及获取停车场布局图和路线图。

(1) 用户注册/登录

用户在登录之前需完成个人注册环节，需要向服务器提供的信息包括用户名、用户车辆牌照号码、设置的个人密码和用户的联系电话等。注册和登录的实行需要服务器端的支持，采用的通信方式是 Socket 通信。登录界面上设有 Button 和 EditView，其中 EditView 充当的是用户个人信息中用户名和设置密码的容器。不同的 Button 分别完成不同的任务，是注册、亦或是登录，这些都是用户在使用过程中需要的功能。当用户在打开软件进入界面选择注册按钮并点击之后，界面实现跳转功能，跳转至注册界面供用户输入个人信息，在用户完成个人信息填写确认后，所有的用户信息将传送给相应的服务器。图 6.1 是注册/登录模块的流程图。图 6.2 分别是用户登录界面和注册界面显示。

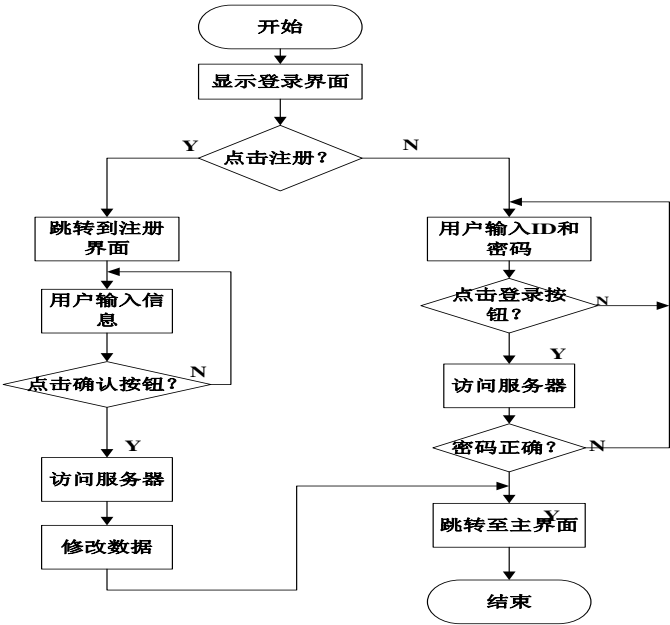


图 6.1 登录/注册流程图

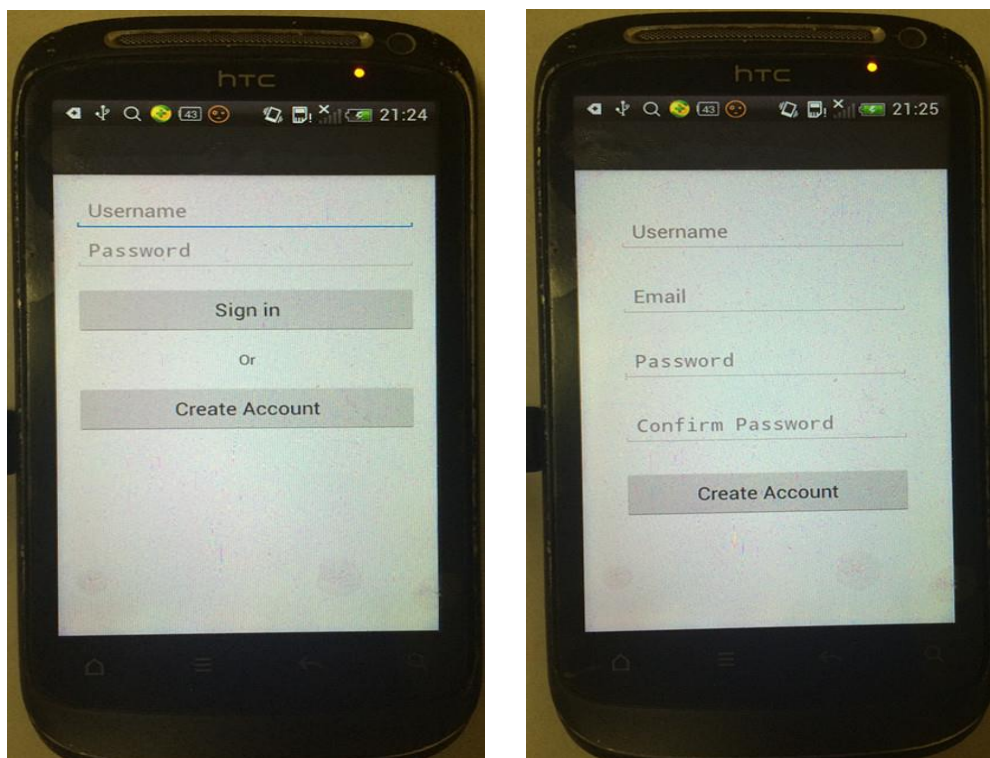


图 6.2 登录/注册界面图

(2) 停车场查询及车位预定

进入应用界面后，用户输入目的地，单击查询确认按钮之后，服务器将根据用户选择的目的地所在位置进行查询，给用户返回相对应的周边停车场信息和停车位信息。该模块的 Activity 的 UI 将采用 ListView 控件，从用户角度考虑提供更直接的分类信息，在同一个栏目中罗列出停车场的名称、车位数量等必要信息。之所以采用 ListView 的另外一个原因，是因为其拥有的 `onClick()`，这个属性能够使得用户直接实行点击选择操作。用户选择好某一停车场进行点击后，将弹出对应停车场的车位利用情况，用户在选车位界面进行车位的选择进行预订操作。从选车位界面可以直接看出该停车场的哪些车位已被占用，当显示全满时，用户执行返回重新选择其他停车场。在用户车位预定步骤最终完成后，Android 智能客户端会把用户进行车位预定的信息发送给远处的服务器。车位预定的具体流程如图 6.3 所示。

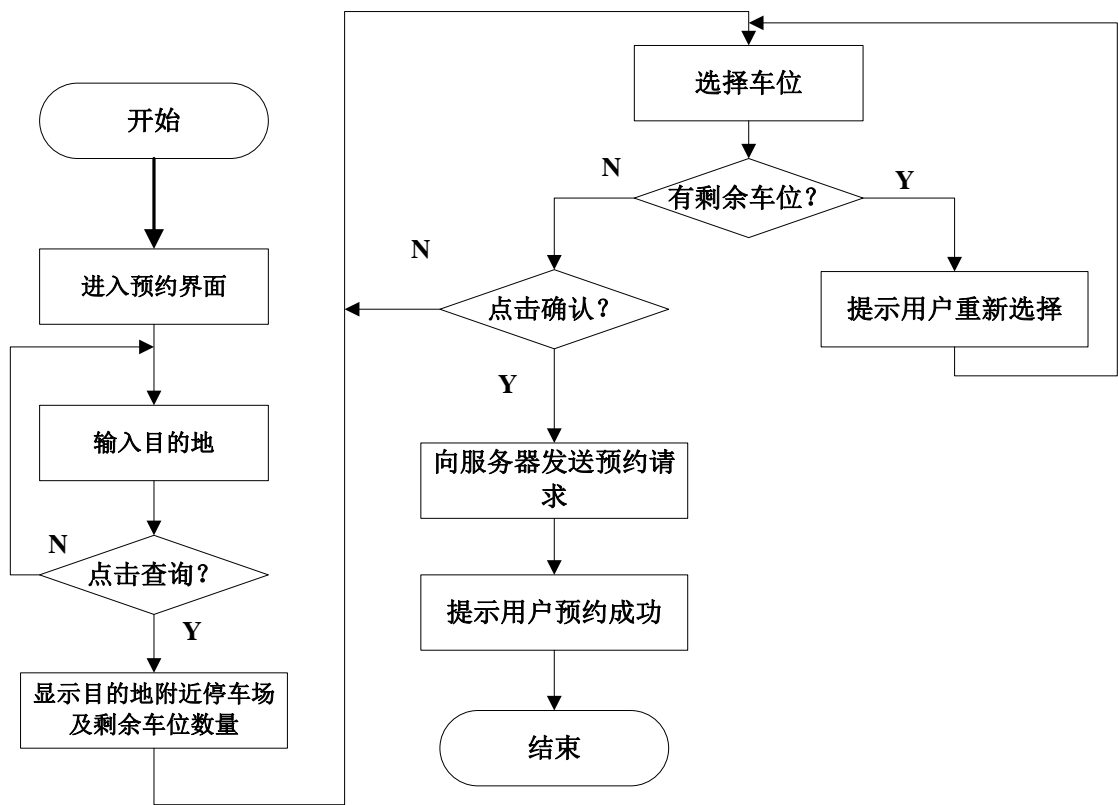


图 6.3 预约流程图

（3）百度地图路线导航

为了使用户能够快速找到停车场的入口，本文设计的智能停车场管理系统将记录每个停车场入口的经纬度并存放。用户在选择好期望抵达的目的地附近合适的停车场后，借助于拥有地图、定位与导航功能的 Baidu Map API，便能够在其引导下顺利行驶到相应的停车场指定入口位置。

不管是身处于室内的用户，还是位于室外环境的用户都能够利用百度地图 SDK 进行当前位置的定位，因为 Baidu SDK 的定位方式融合了 Wi-Fi、GPS、基站。在停车场的数据库当中已对各停车场入口的经纬度有存储记录，获取的方式简单便捷，直接查询就可以，车主所处当前位置的经纬度可通过手机定位获取。在使用百度地图 API 之前的准备工作是申请密钥，官方确认需要在联网的状态下进行，再设置客户端定位选项，例如是否打开 GPS、设置坐标类型等。图 6.4 是载入的百度地图获取当前的定位图。在获取到当前位置的经纬度以及停车场入口的经纬度之后，将坐标在地图上标记出来，并实时进行更新。在经纬度显示的实现上主要依靠 MapController.animateTo()方法，在方法中传入相应的纬度和经度数据，对路径的规划由 onGetDrivingRouteResult()方法实现。



图 6.4 电子地图导入定位图

(4) 停车场入口用户验证

当车辆用户在地图导航或其他方法的引导下顺利抵达停车场入口位置时，此时已经处在停车场 Wi-Fi 覆盖区域之内，用户打开手机 Wi-Fi 功能在可用 Wi-Fi 网络中将出现当前停车场。此时，用户的手机 Wi-Fi 处于工作状态，智能手机应用端 App 将实行一键式自动连接功能，与停车场的 Wi-Fi 通信。在连接上停车场 Wi-Fi 后，手机监听 Wi-Fi 的信号强度，当抵达 Wi-Fi 强度阈值后，将自动往服务器发送停车用户的身份信息。服务器对传送来的身份信息进行认证核查，查询对比相关数据判断出用户是否预先进行了车位的预定。如若判断的结果是已提前预定，及时将用户预先定下的车位以及从入口至车位的路线发送到用户的智能终端上，在路线图形的提示下迅速找寻停车位，完成车辆的停靠；如若判断出用户在之前并未预定停车场的任何车位，服务器会进行当前停车场车位使用状况的统计，在依旧有车位剩余的情况下将其中一个车位的信息和路线发送给用户；当然也会出现用户抵达入口而停车场车位已满的状况，则给出相应提示。入口处 Wi-Fi 连接与身份验证的流程图如图 6.5。

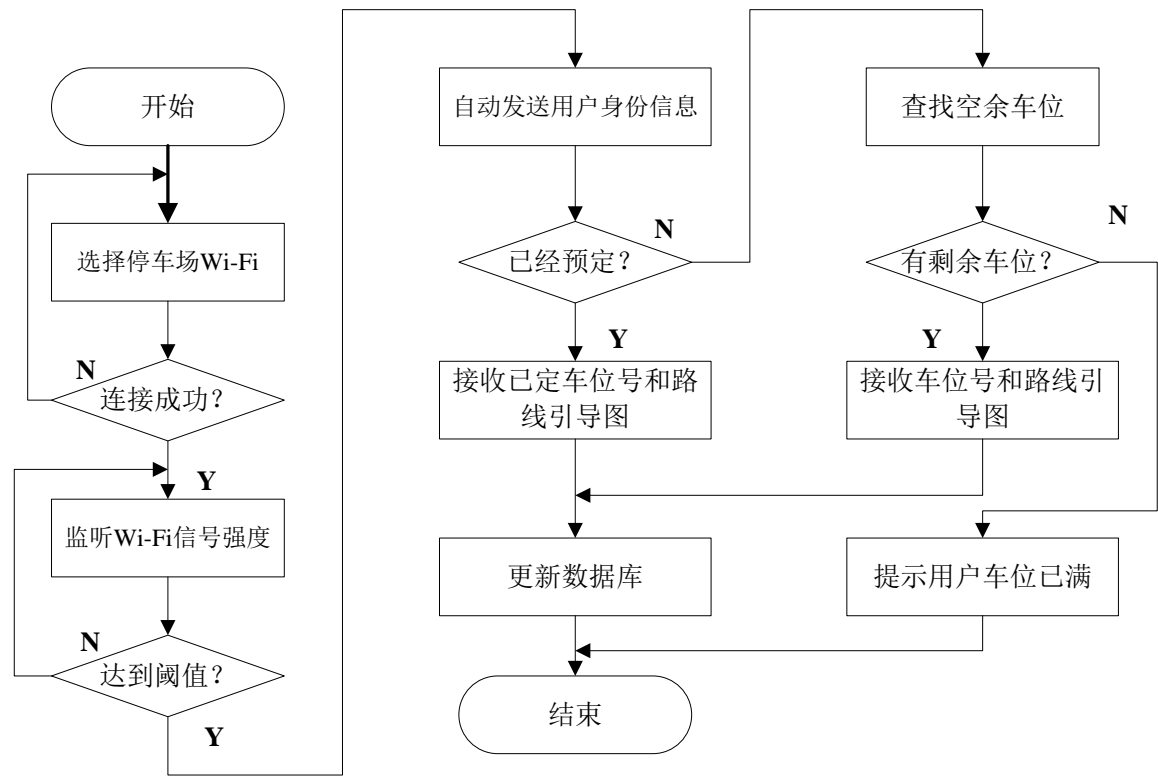


图 6.5 入口处 Wi-Fi 检测及身份验证流程图

(5) 反向寻车路线图模块

当用户准备离开停车场，寻找已停放的车辆时，利用智能手机端与停车场管理系统之间的连接，在智能手机端输入当前位于停车场的坐标位置获取从指定位置到停放车辆之间的路线引导图，提高用户反向寻车的有效性。

6.2 应用 App 的主要功能实现

6.2.1 多点触控缩放功能

在多点触控缩放功能中有四种不同的操作动作，分别是图片的初始化、图片放大、缩小以及进行的移动。应用项目中用 `ZoomImageView` 实现多点触控缩放的核心功能，定义四种状态变量记录当前状态下的不同动作。对于初始化状态，通过 `ZoomImageView` 构造函数把当前操作状态设定进去。`setImageBitmap()`方法执行要展示图片的传入任务，通过重写其方法可以获得图片的宽度、高度等数据并求解出缩放的极限值。方法中包含 `invalidate()`，此函数将直接调用 `onDraw()`方法，实行强制性重绘工作。图 6.6 是 `setImageBitmap()`方法的具体实现：


```
public void setImageBitmap(Bitmap bitmap) {
    sourceBitmap = bitmap;
    invalidate();
}

@Override
protected void onLayout(boolean changed, int left, int top, int right, int bottom) {
    super.onLayout(changed, left, top, right, bottom);
    if (changed) {
        // 分别获取到ZoomImageView的宽度和高度
        width = getWidth();
        height = getHeight();
    }
}
```

图 6.6 setImageBitmap()方法

函数 `protected void onLayout()` 的执行顺序位于 `layout` 调用之后, `ZonmImageView` 会 `override` 该函数。通过 `override onDraw()` 函数可以实现绘制操作以达到自己期望的效果, 图 6.7 是其主要代码段。`onTouchEvent()` 函数是用来处理触屏事件的, 方法中具有对当前屏幕上发生触摸状态的识别, 并分别作出相应的处理。当屏幕上的触摸动作是由两只手指共同发出时, 判定当前的状态是缩放, 运用 `distanceBetweenFingers()` 方法对两只手指间的距离进行计算, 调用 `onDraw()` 对图片进行绘制。如果当前在屏幕上的是单只手指, 此时是处在移动的状态下, 需要计算的数据是手指在屏幕上移动产生的距离。不管是缩放状态亦或者是移动状态, 都需要进行相应的控制, 缩放下要控制缩放比例, 移动时进行边界检查, 不能出现图片超出屏幕边界的情况。图 6.8 是 `onTouchEvent()` 函数的片段:

```
protected void onDraw(Canvas canvas) {
    super.onDraw(canvas);
    switch (currentStatus) {
        case STATUS_ZOOM_OUT:
        case STATUS_ZOOM_IN:
            zoom(canvas);
            break;
        case STATUS_MOVE:
            move(canvas);
            break;
        case STATUS_INIT:
            initBitmap(canvas);
        default:
            canvas.drawBitmap(sourceBitmap, matrix, null);
            break;
    }
}
```

图 6.7 onDraw() 函数程序片段


```
public boolean onTouchEvent(MotionEvent event) {
    switch (event.getActionMasked()) {
        case MotionEvent.ACTION_POINTER_DOWN:
            if (event.getPointerCount() == 2) {
                // 当有两个手指按在屏幕上时，计算两指之间的距离
                lastFingerDis = distanceBetweenFingers(event);
            }
            break;
        case MotionEvent.ACTION_MOVE:
            if (event.getPointerCount() == 1) {
                // 只有单指按在屏幕上移动时，为拖动状态
                float xMove = event.getX();
                float yMove = event.getY();
                if (lastXMove == -1 && lastYMove == -1) {
                    lastXMove = xMove;
                    lastYMove = yMove;
                }
                currentStatus = STATUS_MOVE;
                movedDistanceX = xMove - lastXMove;
                movedDistanceY = yMove - lastYMove;
                // 进行边界检查，不允许将图片移出边界
                if (totalTranslateX + movedDistanceX > 0) {
                    movedDistanceX = 0;
                } else if (width - (totalTranslateX + movedDistanceX) > currentBitmapWidth) {
                    movedDistanceX = 0;
                }
                if (totalTranslateY + movedDistanceY > 0) {
                    movedDistanceY = 0;
                } else if (height - (totalTranslateY + movedDistanceY) > currentBitmapHeight) {
                    movedDistanceY = 0;
                }
            }
    }
}
```

图 6.8 onTouchEvent() 函数程序片段

图 6.9 展示的是实现多点触控缩放的应用效果图。

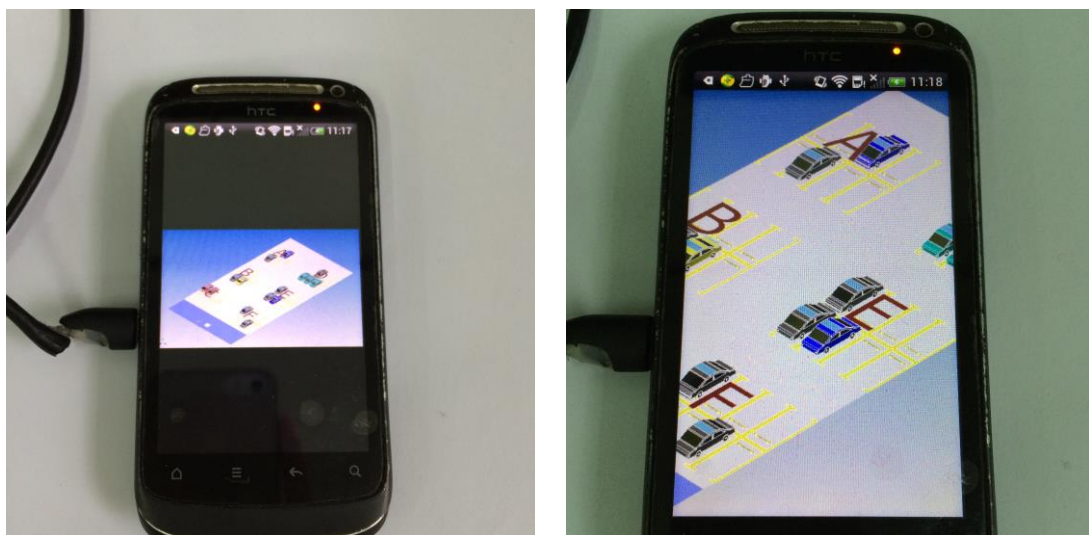


图 6.9 多点触控缩放的应用效果

6.2.2 停车位查询功能

Android 应用程序的入口是 AndroidManifest.xml，如图 6.10 所示，对应用的包名、应用程序图标、调用 values 文件夹中的字符串数据及过滤器和使用的 sdk 版本都进行说明。<intent-filter>标签监听器，监听 activity 第一个打开。

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>  
    <manifest xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"  
        package="com.chenting.android.parking"  
        android:versionCode="1"  
        android:versionName="1.0" >  
  
        <uses-sdk  
            android:minSdkVersion="8"  
            android:targetSdkVersion="19" />  
  
        <uses-permission android:name="android.permission.WRITE_EXTERNAL_STORAGE" />  
        <uses-permission android:name="android.permission.READ_PHONE_STATE" />  
        <uses-permission android:name="android.permission.ACCESS_NETWORK_STATE" />  
        <uses-permission android:name="android.permission.CAMERA" />  
        <uses-permission android:name="android.permission.VIBRATE" />  
        <uses-permission android:name="android.permission.WAKE_LOCK" />  
        <uses-permission android:name="android.permission.REQUEST_INSTALL_PACKAGES" />  
  
        <uses-feature  
            android:name="android.hardware.touchscreen"  
            android:required="true" />  
        <uses-feature  
            android:name="android.hardware.touchscreen.multitouch"  
            android:required="true" />  
  
        <application  
            android:label="@string/app_name"  
            android:theme="@android:style/Theme.NoTitleBar.Fullscreen" >  
            <activity  
                android:name="com.chenting.android.parking.SelectMovieSeatActivity"  
                android:label="@string/app_name" >  
                <intent-filter>  
                    <action android:name="android.intent.action.MAIN" />  
  
                    <category android:name="android.intent.category.LAUNCHER" />  
                </intent-filter>  
            </activity>  
        </application>  
    </manifest>
```

图 6.10 AndroidManifest 脚本

Android 界面的布局方式有线性布局、绝对布局、相对布局、表格布局和框架布局，本文设计的车位界面采用的方式为 **RelativeLayout**，并在 **Layout** 模块中引入 **SeatTableView**，**SeatTableView** 实现车位的绘制，放大率的设置，对可选的车位、已被停放的车位、当前选择的车位进行设置。

智能手机运行程序后的界面如图 6.11 所示，红色车辆表示该停车位已被占用，白色停车位表示当前车位未被占用，当选中某车位后显示车位的坐标并显示为蓝色图标。用户通过手机端的应用软件能够获取选择停车场的车位占用情况。车位布局规模可在程序中通过对 `maxRow` 和 `maxColumn` 值的设定进行更改，核心代码如下：

```
private int maxRow = 8;
private int maxColumn = 6;
private void initSeatTable() {
    seatTable = new SeatMo[maxRow][maxColumn]; // mock data
    for (int i = 0; i < maxRow; i++) {
        for (int j = 0; j < maxColumn; j++) {
            SeatMo seat = new SeatMo();
            seat.row = i;
            seat.column = j;
            seat.rowName = String.valueOf((char)('A' + i));
            seat.seatName = seat.rowName + "区" + (j + 1) + "座";
            seat.status = randInt(-1, 1);
            seatTable[i][j] = seat.status == -2 ? seat : seat;
        }
    }
}
```

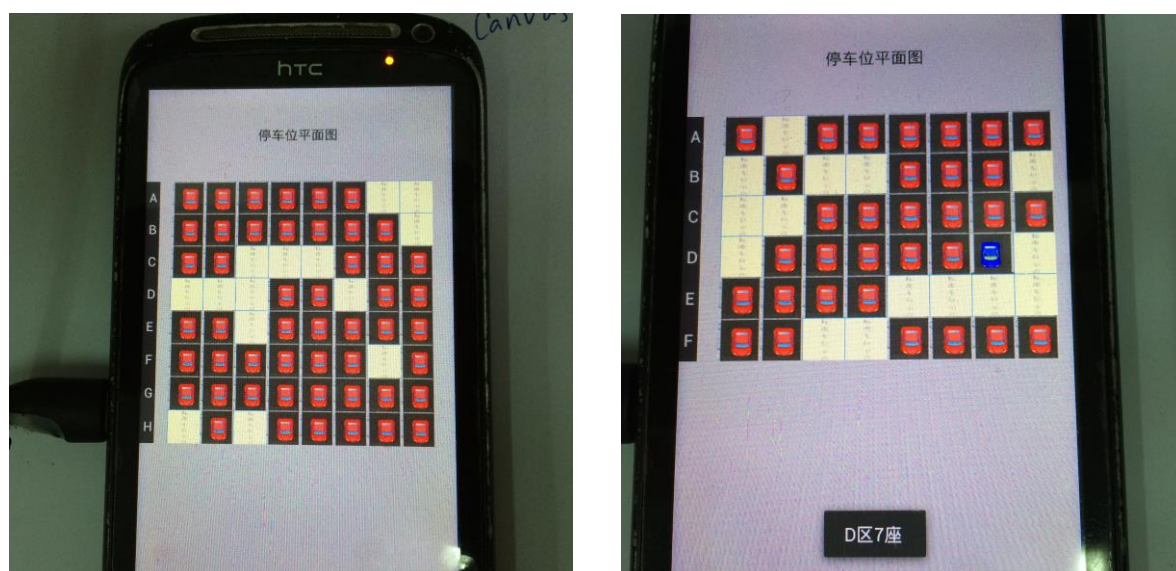


图 6.11 停车位效果图

6.2.3 场内引导及反向寻车

当车辆用户在地图导航或其他方法的引导下顺利抵达停车场入口位置时，此时已经处在停车场 Wi-Fi 覆盖区域之内，用户打开手机 Wi-Fi 功能在可用 Wi-Fi 网络中将出现当前停车场。此时，用户的手机 Wi-Fi 处于工作状态，智能手机应用端 App 将实行一键式自动连接功能，与停车场的 Wi-Fi 通信。在连接上停车场 Wi-Fi 后，手机监听 Wi-Fi 的信号强度，当抵达 Wi-Fi 强度阈值后，将自动往服务器发送停车用户的身份信息。服务器对传送来的身份信息进行认证核查，查询对比相关数据判断出用户是否预先进行了车位的预定。如若判断的结果是已提前预定，及时将用户预先定下的车位以及从入口至车位的路线发送到用户的智能终端上，在路线图形的提示下迅速找寻停车位，完成车辆的停靠；如若判断出用户在之前并未预定停车场的任何车位，服务器会进行当前停车场车位使用状况的统计，在依旧有车位剩余的情况下将其中一个车位的信息和路线发送给用户；当然也会出现用户抵达入口而停车场车位已满的状况，则给出相应提示。

场内引导路线的绘制可以根据 Dijkstra 算法，通过确定停车场内布局图中的入口、出口和分布在停车场中的各车位的具体位置，依据停车场出/入口至停车位、停车位到出/入口 Note 之间的权值确定场内路线最短路径的规划，本文直接采取指定路线的绘制。图 6.12 中展示了从停车场入口到 A 停车区及 B 停车区的车位路线引导图。

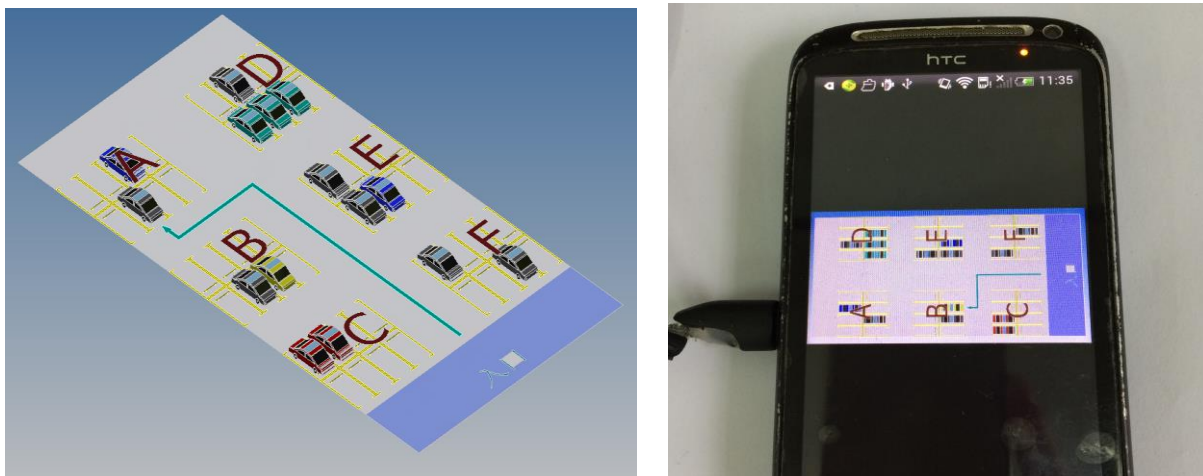


图 6.12 停车位引导路线图

停车用户进行反向寻车离开停车场时，打开手机的 Wi-Fi 与停车场的网络中心进行连接，接收入场时从入口到选定停车的路线图，同时接收服务器发送的从停车场内部一特定标志位到停车位的路线图。用户依照停车场布局图及路线引导图进行当前位置的定位及找寻停放车辆。图 6.13 是停车场车位的反向路线图。

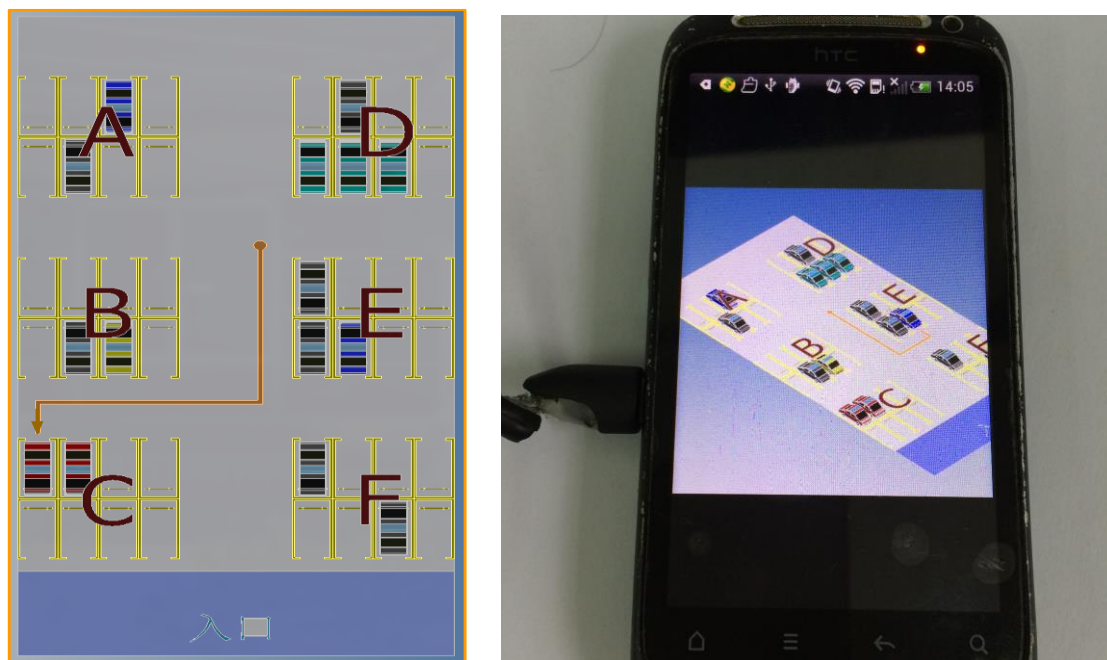


图 6.13 停车场车位的反向路线图

6.3 本章小结

本章节重点讲述手机客户端 App 的功能实现，介绍智能移动终端的主要功能模块，讲述登录/注册模块、停车位状态显示模块、停车场布局图及停车场内路线引导显示功能的具体实现过程。

第七章 总结与展望

随着我国机动车数量的不断增加,随之也给城市交通建设带来了一系列相关问题。车辆乱停乱放引起交通拥堵、交通事故不断增加、路网利用率低下、停车泊位缺乏等问题已然成为制约我国城市交通发展的屏障。人们的出行因为私家车的出现得到了更为便利的体验,但与此同时,却也是在很多城市出现了“停车难”、“车多位少”的现象,城市汽车停放成为城市建设必须解决的问题。

传统的停车场不关注停车位的实时状态和停车场内部的引导,管理技术也较为落后的弊端,智能化停车场管理系统的建设刻不容缓。本文分析停车场管理系统的现状,基于 RFID 定位技术进行停车场车位信息获取,规划了一种智能停车场管理系统方案,设计了停车场智能移动终端 APP,以图形界面形式为停车场用户提供场内车位、车辆信息及相应的线路信息。

本文的主要工作有:

第一,介绍了本课题智能停车场管理的背景,分析课题研究意义和国内外的研究现状,主要说明传统停车场的不足,强调建设智能化停车场管理系统的必要性;

第二,分析了 RFID 室内定位的基本理论,RFID 的系统组成、工作原理、发展历程和应用领域。分析对于室内车辆位置信息获取的重要性,对 RFID 室内定位算法进行研究,着重研究适用于停车场环境的 RFID 室内定位算法。在 LANDMARC 算法的基础上改进定位算法,并通过搭建仿真平台进行改进后的算法用于停车场定位的性能验证。

第三,研究设计 Android 智能移动终端应用软件,通过手机端应用软件的设计,实现停车场车位查询功能,并通过客户手机端接收停车场的车位引导路线图,引导场内停车及反向寻车。

第四,提出基于 RFID 室内定位的智能停车场系统方案,将 RFID 定位技术、WiFi 技术、等与 Android 智能手机相结合。系统集成定位、车辆识别、车位引导、自动进出及收费等功能,实现停车场管理智能化。

然而,本文的研究还需改进,有一些问题有待解决,一些工作还需要继续深入开展。

(1) 本文只是对算法进行仿真验证,没有进行实际测量。由于室内环境复杂多变,通过建立实测平台分析算法的性能是个很好的研究方向。

(2) 基于 Android 移动终端的设计仍然存在很多可以继续完善和改进的地方。

(3) 在 RFID 定位系统中,防碰撞技术占据极其重要的地位,如何解决标签之间的防碰撞是移动定位系统的研究重点。

参考文献

- [1] 李蒙, 张恺. 城市交通出行方式选择的博弈分析[C]. 2010亚太地区信息论学术会议. 2010.
- [2] 周嗣恩, 韩凤春. 智能化停车场管理体系研究[J]. 中国人民公安大学学报:自然科学版, 2008, 14(1):22-26.
- [3] 王尧, 王娜, 潘嘉欣. 物联网技术在智能停车场系统中的应用研究[J]. 现代建筑电气, 2012(8):42-45.
- [4] 刘伟东. 停车场智能化管理的探讨[J]. 建厂科技交流, 2004(3):41-43.
- [5] 杜预. 基于无线射频的停车场车位检测系统设计与实现[D]. 成都:西南交通大学, 2012.
- [6] 吴涛. 停车引导和信息系统--ITS 在停车领域的应用. 国外公路, 2000, 20(2):4-6.
- [7] Reich B, Kempter S. THE PRS 2100 PARKING MANAGEMENT SYSTEM[J]. Transportation systems : theory and application of advanced technology. Vol. 1, 1995.
- [8] 俞燕琳, 王向燕. 上海市黄浦区停车诱导系统发展综述[J]. 城市停车, 2005(1):10-13.
- [9] 姚湘陵. 基于 TC35i 智能停车场管理系统的设计[D]. 武汉:武汉工程大学, 2013.
- [10] Yan G, Olariu S, Weigle M C, et al. SmartParking: A Secure and Intelligent Parking System[J]. Intelligent Transportation Systems Magazine IEEE, 2011, 3(1):18-30.
- [11] Jonkers E, Van Noort M, Van d V J L. Parking guidance — Modelling, simulation and impact assessment[C]. International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems. IEEE, 2011:858-864.
- [12] 王峰. 基于 UHF RFID 的室内定位系统研究与设计[D]. 重庆:重庆大学, 2012.
- [13] L. Ni, Y. Liu, Y. Lau, et al. LANDMARC: Indoor Location Sensing Using Active RFID[C]. Proceedings of the First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, 2003: 407-415.
- [14] Nissanka, B. Priyantha, Anit Chakraborty etc. The Cricket Location-Support[C]. The 6th ACM international conference on mobile computing and network, Boston, MA, 2000.
- [15] P. Bahl, V. N. Padmanabhan. RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System[C]. In Proc. of Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, 2000: 775-784.
- [16] 贝毅君, 甘红华, 程学林等. RFID 在物联网中的应用[M]. 北京:人民邮电出版社, 2013: 8-95.
- [17] 宁焕生. RFID 重大工程与国家物联网[M]. 北京:机械工业出版社, 2011: 129-135.
- [18] 高飞, 薛艳明, 王爱华. 物联网核心技—RFID 原理与应用[M]. 北京:人民邮电出版社, 2010: 55-153.
- [19] 许毅, 陈建军. RFID 原理与应用[M]. 北京:清华大学出版社, 2013: 5-153.
- [20] 彭力, 徐华. 无线射频识别技术与应用[M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 2014: 15-18.
- [21] Kang S S, Park G L. Design and Implementation of ALE v1.1 middleware in RFID systems[C]. International Conference on New Trends in Information and Service Science, 2009: 815-818.
- [22] 陈琛, 刘有源. 一种 RFID 架构中间件的设计[J]. 物流工程与管理, 2009, 31(4): 116-118.
- [23] 穆万里. 区域定位系统原理与关键技术研究[J]. 电信快报, 2012, 3: 6-8+17.
- [24] Kharrat. I, Duroc. Y, Awad. M, et al. New technique for indoor location based on RSSI method using UHF RFID systems[C]. Telecom World (ITU WT), 2011 Technical Symposium at ITU. 2011: 1-4.
- [25] Xin Xiao, Xiaojun Jing, Siqing You, et al. An environmental-adaptive RSSI based indoor positioning approach using RFID[C]. 2010 International Conference on Advanced Intelligence and Awareness Internet. 2010: 127-130.
- [26] Qi Lei, Geng Wang, Dong Wang. Design of a Handheld UHF RFID Reader for the Internet of Things[C]. 2011 International Conference on Computer and Management, 2011: 1-4.
- [27] 罗春彬, 彭龔, 易彬. RFID 技术发展和应用[J]. 通信技术, 2009, 42(12): 112-114.
- [28] 周晓光, 王晓华. 射频识别 (RFID) 技术原理与应用实例[M]. 北京:人民邮电出版社, 2006: 32-68.

- [29] Zhou J, Zhang H, Mo L. Two-dimension localization of passive RFID tags using AOA estimation[C]. IEEE Instrumentation & Measurement Technology Conference, 2011:1-5.
- [30] J. S. Wang, Z. X. Shen. An Improved MUSIC TOA Estimator for RFID Positioning[C]. IEEE Trans. on Radar Conference, 2002:478-482.
- [31] Liu H, Darabi H., Banerjee P, et al. Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and System[J]. IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics, 2007, 37(6):1067-1080.
- [32] T. Han, X. C. Lu, Q. Lan. Pattern Recognition Based Kalman Filter for Indoor Localization Using TDOA Algorithm[J]. Applied Mathematical Modeling, 2010, Vol(34):2893-2900.
- [33] Polito S, Biondo D, Iera A, et al. Performance Evaluation of Active RFID Location Systems based on RF Power Measures[C]. IEEE 18th International Symposium on PIMRC, 2007: 1-5.
- [34] Zhao J, Zhang Y, Ye M. Research on the Received Signal Strength Indication Location Algorithm for RFID System[C]. International Symposium on Communications and Information Technologies, 2006: 881-885.
- [35] 方震, 赵湛, 郭鹏. 基于 RSSI 测距分析[J]. 传感技术学报, 2007, 20(11): 2528.
- [36] Li W, Wu J, Wang D. A novel indoor positioning method based on key reference RFID tags[C]. Information, Computing and Telecommunication, 2009. YC-ICT '09. IEEE Youth Conference on, 2009:42-45.
- [37] Zhao Y, Liu Y, Ni L M. Active rfid-based localization using virtual reference elimination[C]. in Proceeding of ICPP. 2007.
- [38] 邹学玉, 韩付伟. 基于 LANDMARC 的最近邻居改进算法[J]. 武汉大学学报, 2012, 59(3):256
- [39] 林玮, 陈传峰. 基于 RSSI 的无线传感网络三角形质心定位算法[J]. 现代电子技术, 2009, 289(2): 180-182.
- [40] 王书锋, 侯义斌, 黄樟钦. 无线感知网络最小二乘法定位算法的误差分析与优化[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(19): 6211-6214.
- [41] Biel M, Wahl-Schott C, Michalakakis S, et al. Integration of GIS and Artificial Neural Network for prediction of Ozone Concentration in Semirural areas of Rawalpindi and Islamabad[J]. Physiological Reviews, 2009, 89(3):847-885.
- [42] Benko H, Wilson A D, Baudisch P. Precise selection techniques for multi-touch screens[C]. Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM, 2006:1263-1272.
- [43] Ian Crosby. 触屏控制技术的发展[J]. 电子与电脑, 2010(4):24-26.
- [44] 张荣, 宋辉, 曹小鹏. Android 开发与应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2014: 1 - 35.
- [45] 朱凤山, 王慧芳. Android 移动应用程序开发教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2013: 18 - 49.
- [46] 郭稳涛. 基于 RFID 的智能停车场管理系统的研究与设计[D]. 长沙: 湖南大学图书馆, 2010: 10-12.
- [47] 黄震, 薛文科. 基于 Android 的停车诱导信息系统的设计与实现[J]. 现代计算机: 专业版, 2013(24):58-63.
- [48] 王扬, 薛娟. 智能停车场反向寻车系统设计与实现[J]. 无线互联科技, 2012(11):97-99.
- [49] Chen W, Paik I, Hung P C K. Constructing a Global Social Service Network for Better Quality of Web Service Discovery [J]. IEEE Transactions on Services Computing, 2015, 8(2):284-298.
- [50] 王建斌, 胡小生, 李康君, 等. REST 风格和基于 SOAP 的 Web Services 的比较与结合[J]. 计算机应用与软件, 2010, 27(9):297-300.
- [51] 邓昱, 曾文华. SOAP 的原理及实现[J]. 杭州电子科技大学学报, 2002, 22(3):19-23.
- [52] 张仙伟, 张璟. Web 服务的核心技术之一——SOAP 协议[J]. 电子科技, 2010, 23(3):93-96.
- [53] Curbera F, Duftler M, Khalaf R, et al. Unraveling the Web Services Web: An Introduction to SOAP, WSDL, and UDDI[J]. IEEE Internet Computing, 2002, 6(2):86-93.
- [54] 王华. 基于车牌识别技术的车辆管理系统的设计与研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2009.
- [55] Faradji F, Rezaie A H, Ziaratban M. A Morphological-Based License Plate Location[C]. Image Processing, 2007. ICIP 2007. IEEE International Conference on. IEEE, 2007:I - 57-I - 60.

- [56]Guo J M, Liu Y F. License Plate Localization and Character Segmentation With Feedback Self-Learning and Hybrid Binarization Techniques[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2008, 57(3):1417-1424.
- [57]Li Y Z, Wang Y L, Liu Z Z. Study on printed Tibetan character recognition technology[J]. Journal of Nanjing University, 2012, 48(1):55-62.
- [58] 薄璐, 薄玮. 智能停车场收费管理系统的分析与设计[J]. 微型电脑应用, 2014, 30(5):35-36.
- [59] 李超龙. 基于 RFID 的车位感知模型研究及智能停车管理系统的设计与实现[D]. 北京:北京邮电大学, 2015.
- [60] 樊勇, 任燕, 司博章. 一种新型停车场反向寻车系统[J]. 物联网技术, 2013(2):35-36.
- [61] 王扬, 薛娟. 智能停车场反向寻车系统设计与实现[J]. 无线互联科技, 2012(11):97-99.

致谢

时光总是在我们不经意间悄然离去，三年前收到录取通知书时的雀跃似乎就在眼前，而转眼我已走到了毕业的路口。回想过去的学习和生活，我的内心充满感激。在此，我衷心地祝愿所有曾给予我帮助和温暖的老师和同学们。

我要感谢我的导师杨恒新副教授，本论文从选题、设计、编程实现以及撰写都是在杨老师的悉心指导之下完成的。杨老师早在本科期间就担任我的模拟电子电路课程老师，杨老师对教学的严谨和平易近人的人格魅力在大学期间便已亲身感受。之后的研究生三年，成为师门的一员更感受到了老师的知识渊博，对工作的精益求精。在此我向尊敬的杨导师致以衷心的感谢与深深的敬意。

感谢我的师兄王跃霖、师姐宋英娟，在我完成论文期间，他们给我提供了很多宝贵的意见。

感谢师门的邢志鹏同学，在师门中我们共同探讨学术问题，共同在杨老师的教导下完成学习和科研任务，锻炼个人能力。感谢师弟师妹们的贴心问候和陪伴。

感谢我的室友张娜、余珍珍、夏丹丹、李媛，宿舍是我的第二个家，在这个小家庭中我们相互照顾、相互陪伴，收获了珍贵的美好回忆。

最为感谢的是我的父母和家人，在外读书的时光虽不能时刻相聚，但正是有父母在背后义无反顾的支持和激励，我才能够接受良好的教育。在困难和窘困的情况下，正是心底那股想要报恩父母的决心，陪伴我克服学习和生活中的困难。

最后，由衷的感谢在百忙中审阅论文、参与答辩并给予我珍贵意见的各位专家老师。