

硕士学位论文

(工程硕士)

基于物联网技术的智能停车场管理系统的设计与实现

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF INTELLIGENT PARKING MANAGEMENT SYSTEM BASED ON INTERNET OF THINGS TECHNOLOGY

姚琳

哈尔滨工业大学

2019 年 12 月

国内图书分类号：TP311

学校代码：10213

国际图书分类号：621.3

密级：公开

工程硕士学位论文

基于物联网技术的智能停车场管理系统的设计与实现

硕 士 研 究 生 姚琳

导 师 黄虎杰教授

副 导 师 董长青高级工程师

申 请 学 位 工程硕士

学 科 软件工程

所 在 单 位 计算机科学与技术学院

答 辩 日 期 2019 年 12 月 27 日

授予学位单位 哈尔滨工业大学

Classified Index: TP311

U.D.C: 621.3

Dissertation for the Master Degree in Engineering

**DESIGN AND IMPLEMENTATION OF
INTELLIGENT PARKING MANAGEMENT
SYSTEM BASED ON INTERNET OF THINGS
TECHNOLOGY**

Candidate:	Yao Lin
Supervisor:	Prof. Huang Hujie
Academic Degree Applied for:	Master of Engineering
Speciality:	Software Engineering
Affiliation:	School of Computer Science and Technology
Date of Defense:	Dec, 2019
Degree-Conferring-Institution:	Harbin Institute of Technology

摘 要

随着经济不断发展和民众生活水平稳步提高,汽车大量进入家庭,很多城市不但出现交通拥堵,还引发了车位紧张、停车难等一系列难题。在停车管理中采用信息技术,不但能提高停车位的资源利用率,也有助于减少因寻找车位而增加的交通流量。从 20 世纪 70 年代起,德国等发达国家就开始采用诱导系统等进行停车管理,但传统的管理系统存在效率低、扩展性差、服务内容少等问题。随着新的信息技术的不断涌现,B/S 架构、互联网、移动客户端、移动支付等信息技术,图像传感器、图像和视频识别、车辆检测和位置传感器、WiFi 定位、近距离无线通信、自组网等物联网技术陆续被应用到停车场管理系统中,使之更加智能、便捷、易用。

本文首先对现有的停车场管理系统进行调研分析,分析了目标用户的资源管理、用户服务等需求需求和响应时间、定位精度等性能需求,分析了车牌识别、近距离无线通信和组网、位置感知和定位等相关的物联网技术,在此基础上进行系统架构设计、网络架构设计、功能设计、数据库和表结构设计。

采用成熟的 B/S 架构、MySQL 数据库,设计实现运行在服务器端的资源管理模块,完成用户资源、场地资源、设备资源信息的增删改查,生成报表等功能。设计实现用户服务模块,提供预定车位、行车线路规划和导航、充电等服务。分析各种定位技术的优缺点,根据应用场景和业务需求选择指纹定位方案。室内定位与导航服务模块采用 WiFi 指纹定位技术和 WKNN 算法,在地下和室内停车场的应用场景下提供定位、导航、寻车等服务,根据用户的预定情况,提供最优的行车线路、缴费方式。采用 MVC 模式的开发框架,开发运行在手机上的 APP 客户端,提供用户管理、停车、反向寻车、定位导航、缴费等服务。设计基于 HTTP 协议的资源管理模块与客户端的通信接口,开发服务器端模块,实现服务器端资源管理模块与客户端的数据交互。系统能够感知车辆的达到和离场,采用定位算法,根据车辆所在位置推荐最优的行车线路,根据用户类型自动选出合理的缴费方式,可以实现整个服务过程的无人值守,初步具备了一定的智能服务能力。

通过对系统的各个模块进行功能测试和性能测试,确定系统达到了预期的功能,响应时间较快,用户体验良好,定位精度满足车辆导航要求,并在武汉市某停车管理企业上线运行,有效提高了停车资源的管理效率和利用率,为用户提供很多便利。该系统的管理规模可按需扩展,并能根据新需求增加其他特色功能。

关键词: 停车管理; 物联网技术; 指纹定位; 室内导航

Abstract

With the rapid increase of cars and traffic in urban area, traffic difficulties and parking difficulties have become a problem in many big cities, especially in mega-cities. Application of IT technologies in parking management will improve efficiency of parking lot, and reduce traffic caused by looking for parking lot. From 1970's, Germany and other advanced countries applied IT technologies such as parking guide, but traditional management systems have low efficiency, bad scalability and few service. Various IT technologies such as B/S architecture, internet, mobile client, mobile payment, as well as Internet of things technologies such as image sensor, image and video recognition, ground inductance coil and WiFi positioning, short distance wireless communication, ad hoc networks were implemented in parking lot management system to improve management efficiency and resource utilization performance. Parking management systems become more intelligent, more convenient, and easy-to-use.

This article investigate and analyze current parking management systems, analyze target user's resource management requirement, user service, response time, positioning precision, etc., analyze IoT technologies such as vehicle license plate recognition, short distance wireless communication, ad hoc networks, position sensor and positioning. The article proceed system framework design, network framework design, feature design, database design and data sheet structure design based on requirement analysis.

We use mature B/S framework, MySQL database to develop resource management modules for user resource information, site resource information, and devices resource information's add, delete, check and instead, generate report tables. User service modules to provide various service such as subscribe parking lot, path planning and navigation, charging. Article analyzes parking space navigation solutions, advantages and disadvantages of various positioning technologies, chose fingerprint positioning solution according to application scene and business requirements. Indoor positioning and navigation modules use WiFi fingerprint positioning technology and WKNN algorithm, provide positioning, navigation, car searching service in underground car park, provide optimal path and payment method according to user's order. APP client on mobile phone is developed with MVC modeled development framework, offer user management, parking, car searching, Wifi positioning and navigation, charging service. Communication interface is based on HTTP protocol, provide data interchange between resource management modules on server and client on mobile phones. This system can detect the arrival and depart of vehicle, use positioning algorithm to provide optimal path according to car's position, and recommend the best payment pattern according to user's type. The system realize unattended operation in the whole service process and primary

intelligent service.

We test the system including functional test and application performance test, and prove that the system based IoT has prospective performance, fast response, user friendship, good precision for vehicle navigation. The system was implemented in Wuhan, improve management performance and resource efficiency, provide convenience for users. The system was scalable for different parking facilities and new features.

Keywords: Parking Managemenet, IoT Technology, Fingerprint Positioning , Indoor Navigation

目 录

摘 要	I
ABSTRACT	II
第 1 章 绪 论	1
1.1 课题研究背景	1
1.2 课题研究的目的和意义	1
1.3 国内外现状	2
1.4 本论文研究内容	4
1.5 内容结构	5
第 2 章 停车场管理系统需求分析与总体设计	6
2.1 系统需求分析	6
2.1.1 系统总体需求	6
2.1.2 系统功能性需求分析	7
2.1.3 非功能性需求分析	11
2.2 关键物联网技术分析	12
2.2.1 车辆和车牌识别技术	13
2.2.2 近距离无线通信和组网技术	14
2.2.3 位置感知和定位技术	15
2.3 系统总体设计	16
2.3.1 架构设计	16
2.3.2 网络架构设计	18
2.3.3 系统功能设计	20
2.3.4 数据库设计	21
2.4 本章小结	28
第 3 章 停车场资源管理模块的设计与实现	29
3.1 用户资源管理模块的设计与实现	29
3.1.1 用户注册模块	30
3.1.2 更改密码模块	32
3.2 场地资源管理模块的设计与实现	33
3.3 设备资源管理模块的设计与实现	36
3.4 本章小结	37

第 4 章 停车场服务模块的设计与实现	38
4.1. 用户服务模块的设计与实现	38
4.1.1 线路规划和导航	38
4.1.2 充电模块	40
4.2 室内定位与导航服务模块的设计与实现	41
4.2.1 定位技术简介	41
4.2.2 WiFi 定位算法	43
4.2.3 WiFi 定位 AP 部署	49
4.2.4 WiFi 指纹定位	51
4.3 手机客户端的设计与实现	55
4.3.1 客户端架构设计	55
4.3.2 客户端界面设计与实现	56
4.3.3 客户端模块设计与实现	57
4.4 资源管理模块和客户端通信的设计与实现	64
4.4.1 通信接口设计	64
4.4.2 基于 HTTP 协议的服务器端开发	65
4.5 本章小结	66
第 5 章 停车场管理系统测试与分析	67
5.1 管理系统测试环境	67
5.2 系统测试	68
5.2.1 服务端测试	68
5.2.2 客户端 APP 测试	71
5.3 性能测试	74
5.4 本章小结	75
结 论	76
参考文献	77
哈尔滨工业大学学位论文原创性声明和使用权限	80
致 谢	81
个人简历	82

第1章 绪 论

1.1 课题研究背景

随着经济不断发展和民众生活水平稳步提高,汽车大量进入家庭,很多城市不但出现交通拥堵,还引发了车位紧张、停车难等一系列难题。因此,优化停车场的管理与服务,不仅能够有效提高停车资源的利用率,而且也能减少因寻找停车位而增加的交通流量。

目前,国内的停车场已经普遍应用了管理系统,常见的主要有以下几种类型:

(1) 基础型,可进行出入口管理,在出入口使用识别摄像机或者 RFID (无线射频识别) 卡来识别车辆,由岗亭的值班电脑记录车辆信息、出入场时间并计算收费金额,并管理车辆进出。车辆出场时,使用 RFID 卡或摄像机获得车辆信息,从数据库中查询车辆入场时间,根据停车时长计算收费金额并显示;(2) 在基础型的基础上,增加了将停车场剩余车位数发布到互联网或其他显示终端的功能,但停车场内部的管理功能较弱;(3) 使用 PC 机或服务器搭建本地的系统管理中心,值班岗亭使用 PC 作为管理终端,场内还有显示屏、道闸等设备。这种方式的局限性是只能管理本地局域网内的设备,无法通过互联网进行管理控制和服务。

目前常见的停车场管理系统还有很多待改进的地方,如人工值守,发卡管理,效率较低,只能本地离线使用,不能提供车位预定、在线缴费、反向寻车、车辆防盗等增值服务,而且进出管理、缴费和车位引导等功能没有很好地集成到整套系统中。很多管理系统采用 PC 机进行管理和控制,由于 PC 机的可靠性不高,难以保障系统连续稳定运行。

因此,一些大型停车管理企业也在积极利用信息化手段,优化服务流程、改善用户体验、提高停车资源利用率。

1.2 课题研究的目的和意义

随着我国经济不断发展,城市的规模和人口不断扩张,汽车广泛进入家庭,交通拥堵、停车难交织在一起,已有的传统停车场管理技术和模式已无法满足用户的实际需要,迫切需要应用新的信息技术,对传统停车场管理系统进行改造和升级,为用户提供便捷、易用、智能的服务。

住建部、发改委等部委先后发布了多个城市停车设施的规划、建设和管理指导意见,鼓励利用信息技术,改造和提升传统停车场,建设互联网服务平台和应用,提供信息查询、电子缴费、车位预约等服务。

进入 21 世纪,物联网技术获得快速发展和广泛应用,如高清摄像机、传感器、图像识别、近距离无线通信、WiFi 定位等,使得应用物联网技术来改造和提升传统的停车场管理系统,实现部分无人值守乃至全部无人值守,室内定位和导航等成为可能。

为适应停车用户对预约服务、在线支付、室内定位等需求,基于物联网技术开发智能停车场管理系统,实现高效的资源管理和 Service 管理。资源管理模块对用户资源、场地资源、设备资源进行集中统一管理,用户服务模块提供预定车位、在线支付、停车位导航、充电等服务。停车管理企业应用该系统后,显著提高了资源管理效率和利用率,减少人力支出和人为差错,提高经济效益,并且为用户提供了很多便利和移动互联网服务,为大量停车管理企业提高管理水平,提高经济效益,吸引集团用户、长期用户等提供了良好示范。

1.3 国内外现状

发达国家在 20 世纪 60-70 年代就进入了汽车社会,人口、车辆、公共设施向大城市聚集,引发交通拥堵、停车难等一系列问题。因此,发达国家很早就开始研究和应用停车管理技术^[1]。

1971 年,德国亚琛市部署了全球第一套停车诱导系统,使用显示器发布停车场位置信息^[2]。随后几年,科隆市在中心城区建立了停车管理系统,包括多功能控制中心和一百多个能动态显示停车位信息的标志牌^[3]。德国博世集团在 90 年代研发了停车管理系统,包括停车位引导、数据采集与传输、车位信息动态显示,并且可以和其它交通管理系统联网。

1993 年,日本东京建立了一套停车诱导信息系统,能够实时显示周边 30 多个停车场的六千个车位的信息,并通过标志牌将车辆引导到附近的停车场。

1996 年 2 月,美国亚特兰大市开通了停车信息系统,该系统使用电子显示标志牌进行车位引导,并具有数据采集、处理和实时发布等功能^[4]。

随着智能手机的普及和广泛使用,市场上涌现出一批基于 APP 的停车管理服务,可以通过 GPS 和移动数据通信网络为用户服务。2011 年,就有开发者发布一个 APP Quick Pay,通过向用户提供附近车位的使用情况,不但能够有效提高停车位的利用率,并且还能让用户提前预定车位^[5]。2013 年,美国人 Sam Friedman 推出一款名为 ParkMe 的类似程序,不但能够显示周围停车场的空余车位和导航信息,还能够记录车辆入场时间,以及显示停车费和优惠停车券信息^[6]。有些研究者采取不同的思路,将图像处理技术应用于停车场管理,通过摄像机检测车位,对用户进行引导,可以省掉地面传感器。美国 Street Line 公司是最早将物联网技术应用于停

车管理系统的企业之一，该公司的车位预订系统使用车位传感器识别车位占用状态，并上传到服务器，通过通信网络转发给驾驶员，帮助驾驶员停车^[7]。

最近几年，全程使用机器人的自助停车技术成为一个新的热点。据德国媒体 2014 年报道，德国 Serva Transport System 公司开发出了自动泊车机器人，这种机器人通过接收激光扫描器获取的车辆尺寸等参数，相应地调整叉臂位置，将汽车抬起并运送至指定车位。用户取车时先预约，机器人会在预约时间点前 5 分钟进行准备，缩短用户的等待时间，而且能提高停车场的空间利用率^[8]。其他公司也研制了类似的产品，如法国初创公司 Stanley Robotics 的 Stan 停车机器人，美国 Boomerang 公司的基于车台板交换技术的 AGV 停车机器人及自动代客泊车系统。

我国在 2000 年前后开始停车场管理技术的研究和市场应用。但目前大多数停车场的信息技术应用水平不高，常用的处理方式是在车场入口处安装一个大型 LED 显示屏，向驾驶员显示可用车位的数量，功能十分简陋单一。国内也有一批企业涉足停车机器人的研究和应用，主要企业有深圳怡丰、海康威视、西子智能、松灵机器人等，目前大多停留在验证示范阶段。

2001 年，北京王府井商业区建立了国内首套停车诱导信息系统，服务范围覆盖附近的 14 个停车场，在国内首次实现电脑控制管理收费，通过显示屏向驾驶员提供可用车位信息和方位信息^[9]。同年末，南京投资 3000 万元建设了一套比较先进的停车场管理系统，实现了记录车辆、驾驶员和实时停车等信息^[10]。安居宝的“智慧云停车”平台能够查询附近停车场，支持反向寻车，支持手机在线缴费，但是该系统使用起来不是很方便，在停车、寻车时都要扫描二维码^[11]。

近年来，随着无线通信技术、移动终端技术、图像识别技术、语音识别技术、定位技术的快速发展，越来越多的应用和服务向手机客户端转移。一批停车管理企业综合应用移动互联网技术、大数据技术等新技术，推动业务模式的不断创新和融合扩展，并实现跨地区服务。在停车管理领域，除了 ETCP，还百事通、丁丁停车、e 代泊等，智能停车设备厂商有无忧停车、捷顺科技（捷停车）、安居宝、立方控股（行呗）等，市政交管部门有深圳市道路交通管理事务中心（宜停车）、上海市交通委（上海停车）等。

在理论研究方面，国内的科研机构聚焦应用研究，并取得一批成果。南京邮电大学的张群设计开发了运行在 Android 操作系统上的车位预定和查询模块，具有实时监测车位数量变化的功能，但是没有车位诱导功能。该校陈婷设计的停车场智能移动终端使用 RFID 技术进行定位，在终端上可展示车位信息、车辆信息以及导航界面，虽然通过 RFID 识别可以实现出入场登记、快速缴费等功能，但是在车辆进出场时仍需要手动取卡和还卡，操作复杂，耗时耗力，在车辆出行高峰期容易发生

拥堵,不便于管理^[12]。中电集团第 38 研究所开发的反向寻车系统采用二维码技术,其优点是部署方便,但用户增加了手动扫描操作,不是很简便^[13]。

已经有少数停车场采用刷卡定位、二维码定位等技术,提供了反向寻车服务,但初始设施投资大、用户操作不便等缺点制约了推广应用。另外,如何显示车位信息,对车辆进行安全监控,也是需要解决的问题。

因此,新的停车场相关技术有很好的市场应用前景,并且可以融入到智慧城市建设中,作为智慧城市的重要功能和组成部分,为用户提供智能、安全、可靠的停车服务。从用户的角度看,停车场最需要完善的功能是停车/取车,并且希望操作简便、用户体验好。

随着物联网技术的不断发展、成熟,使新一代智能停车场管理系统成为可能:

(1) 整个城市内部甚至跨城市之间形成统一的停车场管理互联网平台,实现所有停车场信息的共享互联,结合实时道路交通情况,为驾驶者规划合适的出行路线。

(2) 在大型停车场里,车位定位、车辆引导、在线缴费与反向寻车等功能将得到越来越多的应用。

(3) 提高设备的自动化水平,推广自助服务,实现无人化操作值守,减少工作人员数量。

1.4 本论文研究内容

本文的主要研究内容是停车场用户资源管理模块、场地资源管理模块、设备资源管理模块、用户服务模块、室内定位与导航服务模块、手机客户端的设计与实现。系统能够感知车辆的达到和离场,采用定位算法,根据车辆所在位置推荐最优的行车线路,根据用户类型自动选出合理的缴费方式,可以实现整个服务过程的无人值守,初步具备了一定的智能服务能力。

用户资源管理模块完成用户信息的管理,包括用户注册,查询和更改信息,更改用户权限,查询订单和缴费记录。对用户进行分级、分类管理,汇总输出集团用户报表等。管理员可以对用户类型、权限进行设置,并拥有最高级别的权限。通过权限管理,使不同类型用户的数据相互隔离,提高安全性。

场地资源管理模块主要完成停车场地的位置、车位数量、充电桩、收费标准等基础信息配置,为服务管理模块中的车位约定、线路规划和导航、计费提供基础数据。由管理员完成场地基础数据的增加、修改、查询、删除等操作。

设备资源管理模块完成各类设备的信息配置。由授权的业务人员完成检测、进出场控制设备,停车服务设备, WiFi AP (Access Point, 接入点) 和网络设备,以

及管理终端等设备信息的增加、修改、查询、删除等操作，配置设备参数，进行设备资产管理。

用户服务模块主要完成从用户车辆所在地到停车场的行车线路规划和导航。在室外场景下，调用高德地图等第三方导航软件 SDK，根据交通流量和线路长短，推荐用时最短的路线，或由用户选择路线，并在行车过程中提供实时导航。

室内定位服务模块接收 WiFi AP 的信号强度值，采用 WKNN 算法，根据事先建立的指纹数据库中的数据，计算出车辆、人员在室内的位置坐标。导航模块根据位置坐标和室内地图，规划出最优的室内行车路线，并将线路以图片的形式发送到客户端。

手机客户端采用 MVC 模式开发，完成用户注册、登录、更改个人信息、绑定车辆等用户管理操作，查看、预约车位和查看停车记录等停车操作。当用户忘记车辆所在位置时进行反向寻车，室外使用 GPS 进行定位和导航，室内使用 WiFi 进行定位和导航，缴费和查询缴费记录。

1.5 内容结构

在详细分析停车场管理企业的使用需求、个人用户的使用需求基础上，针对目前停车场管理系统的存在问题和不足，设计开发了采用多种物联网技术的智能停车场管理系统。具体章节安排如下：

第 1 章介绍选题背景和研究意义，并分析国内外企业、科研机构在停车场管理技术领域的研究和应用现状，简要阐述本课题的主要研究内容。

第 2 章对停车场的信息管理和系统的需求进行深入分析，并说明总体设计方案。

第 3 章围绕各个功能模块，详细说明服务器端的用户资源、场地资源、设备资源管理模块的设计方法与实现过程。

第 4 章介绍了服务模块的设计与实现，包括提供线路规划和导航的用户服务模块，室内定位与导航服务模块所使用的 WiFi 指纹定位技术和 WKNN 算法，完成 WiFi 定位环境的部署，设计和实现手机客户端和通信接口。

第 5 章说明了整个系统的测试环境，服务器端资源管理模块、手机端 APP 测试用例，介绍了测试过程和结果。

最后是结论，简要总结了系统使用的开发技术，实现的功能模块，测试和上线运行情况。取得的主要研究成果，以及未来的功能规划。

第2章 停车场管理系统需求分析与总体设计

2.1 系统需求分析

停车场是城市的重要服务设施,受到城市规划和建设条件限制,停车场的位置、车位数量在一段时期内是不变的。因此,利用信息技术,引导用户合理使用停车资源,提高车位使用效率,改善服务质量,是十分必要的。通过走访调研多个管理水平较高的停车场,与停车管理公司进行反复深入沟通,逐步明确了对信息管理系统的需求。

2.1.1 系统总体需求

停车场管理系统从早期的工作人员人工记录、手动发卡管理,发展到目前综合运用摄像头、读卡器、地感线圈、WiFi 接入点、移动 APP、微信等多种 IT 技术的解决方案,并且根据国内大力推广新能源电动车的趋势,提供预约充电桩、室内定位和导航、多种付费方式等服务的阶段。

因此管理系统需要进行多方面的升级。一是要完善基本的进出场管理功能,通过监控摄像机对车牌进行抓拍,由监控识别一体机对图像中的车牌进行识别,记录车牌号码和进场时间。二是查询车辆的缴费情况,在出现欠费车辆时发出告警信息,并阻止欠费车辆进入。三是自动对比黑名单库,对存在违法行为的车辆提出预警,由管理员采取封闭线路、报警等措施。四是优化服务,用户能够通过手机进行车位预定,尤其是预定带充电桩的车位。五是集成管理功能,包括现场人员的排班、值班,设备巡检,集团用户的报表分析等。另外,也要兼顾不同规模、位置分散的管理公司的需求。

由于单个停车场的规模通常不是很大,数据传输量有限,可以采用传统的以太网组网模式,内部的服务器、管理设备、监控设备之间通过交换机形成一个高速局域网,既可以传输文本、控制命令等,也可以传输图片、视频等媒体信息。内部网络通过网关接入互联网和移动通信网,实现多层次的网络结构,外部用户还可以通过手机等移动终端提出服务请求。

对用户而言,排第一位的需求是能够查询到目的地附近的停车场,并根据预估到达时间预定车位,避免万一遇到没有车位的情况,需要找其他的停车场,造成用户时间的浪费。其次,由于一些大型的地下停车场、停车楼面积大、车位多、结构复杂,用户希望能借助室内定位和导航技术,快速找到合适的或预定的停车位,尤其是新能源车辆需要预定带充电桩的车位。三是能够支持灵活的付费方式,如包月、企业用户、移动支付等。

2.1.2 系统功能性需求分析

本系统的用户包括停车管理企业、企事业单位等集团用户和个人用户，各种用户的需求各有不同。

系统是为某专业停车场管理公司开发的，按照职责和权限不同，用户类型可以分为系统管理员、业务经理、值班员。系统管理员进行基本的配置工作，包括建立和修改数据库及字段，更新停车场、设备信息，更新公告并发布等。值班员的任务是进行设备巡检，在设备出现故障时进行手动操作，处理预警信息等。业务经理进行绩效考核、值班员排班、数据统计分析等，主要是业务管理职能。

集团用户对企业用户的人员、车辆信息，账户信息进行管理，并生成统计报表。

个人用户注册产生用户名和密码，绑定车辆，预定停车位，导航等。

(1) 系统管理员

系统管理员的主要职责是管理配置系统基础信息，定期维护和升级，管理权限最高，但基本不参与具体业务，见图 2-1。用例主要有以下几项。

注册：管理员是系统的最初用户。进入注册界面后，操作人员填写注册表单的各项信息，然后向后台提交申请，经管理员审核后，完成注册，并将注册成功信息返回给用户。第一个管理员拥有最高权限，其用户账号和密码通过数据库管理工具，直接写到数据库里。

登录和退出：注册后，管理员能够随时登录系统，设置系统配置信息，对设备信息、公告信息、其他业务人员的信息进行管理操作，操作完毕后退出现。

找回密码：系统将验证信息通过网关，发送到注册的手机号，验证后，将登录密码发送到注册手机。

人员管理：登录后，可查询管理员、值班员、业务经理的信息，分配和更改人员的操作权限，更新人员的密码、联系方式等信息。

停车场管理：输入、修改停车场的基本信息，包括名称、地理位置和坐标、车位数量、收费标准、内部分区等。自动生成业务经营报表，供业务经理使用。

设备管理：登录后，可查询摄像机、充电桩、WiFi AP、交换机等设备的信息，包括 IP、参数、状态等。还可以导出报表，用于资产管理。

公告管理：更新和发布天气、车辆限行、资费变化、优惠活动、暂停服务等公告。

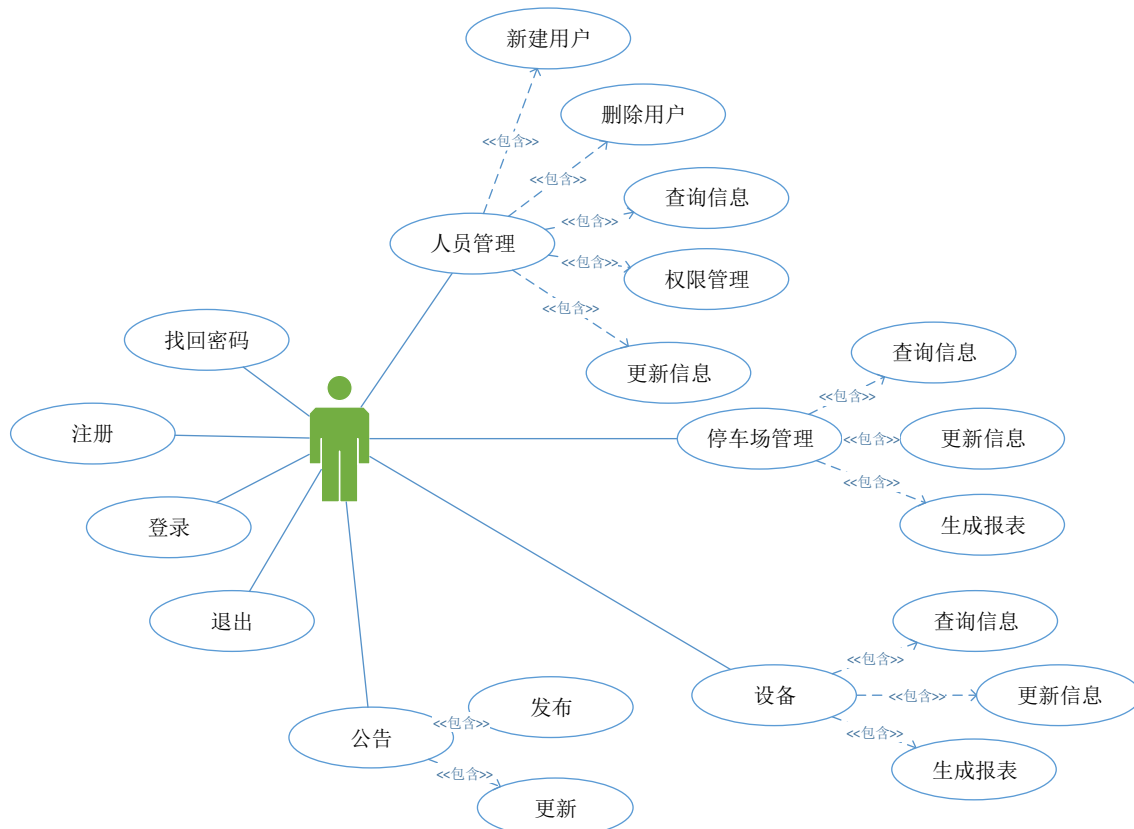


图 2-1 系统管理员用例图

(2) 集团用户

集团用户是长期租用停车位的企业级用户，见图 2-2。主要用例如下。

注册：用户进入注册界面，填写企业名称、营业执照、法人、联系人等各项信息，上传营业执照等注册用附件。经业务经理审核后，完成注册。

登录和退出：注册后，集团用户可以随时进行系统，更新公司用户、车辆的信息，生成统计报表等，操作完毕后退出现。

找回密码：系统将验证信息通过网关，发送到注册的手机号，验证后，将登录密码发送到注册手机。

人员管理：查询、更新集团用户的信息，与车辆绑定。为减轻工作量，拥有批量处理功能，比如批量更新企业名称、地址等。

车辆管理：查询、更新车辆的信息，与车辆使用人员绑定，而且一俩车可以和多个人员绑定。生成车辆的使用报表。

收费管理：查询公司车辆的缴费情况，生成报表。向账户充值，进行月结等大额支付。

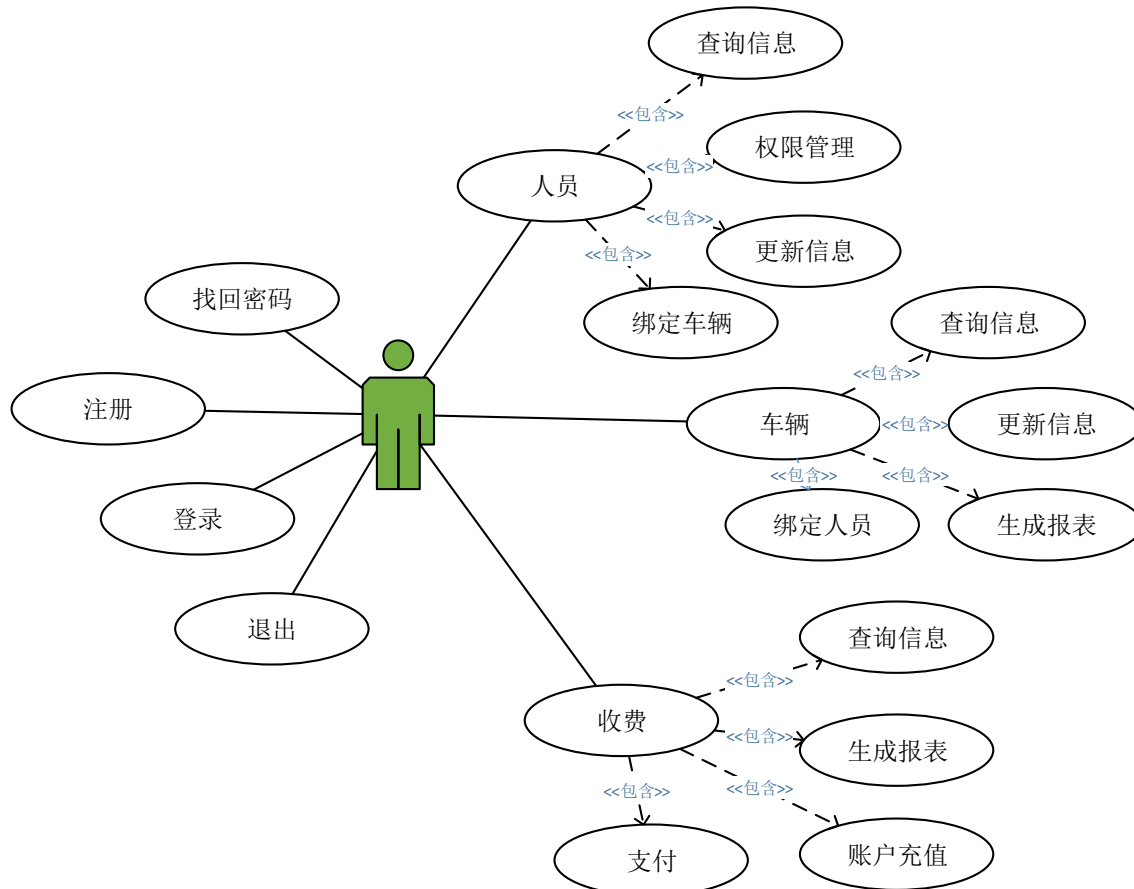


图 2-2 集团用户用例图

(3) 值班员用户

值班员在进出口岗亭值班，为现金支付的用户提供收费服务。对设备进行定期巡检、维护，保障设备正常稳定工作。当出现异常情况，系统发出告警信息时，进行故障排查和维修，完成后消除告警，并记录告警信息和操作结果，填写值班记录等日常管理，见图 2-3。主要用例如下。

注册：进入注册界面后，填写人员信息。经业务经理审核后，完成注册。

登录和退出：注册后，值班员可以执行日常操作，填写设备巡检结果，响应特种车辆、特殊预约车辆、欠费车辆等引发的告警信息，操作完毕后退出。

找回密码：系统将验证信息通过网关，发送到注册的手机号，验证后，将登录密码发送到注册手机。

填写值班记录：上下班打卡，填写值班记录。

车辆管理：查询、更新进出场车辆的信息和收费信息，对特殊车辆引发的告警信息进行人工处理。

设备管理：登录后，可查询摄像机、充电桩、WiFi AP、交换机等设备的信息，

更新巡检结果。

收费管理：查询进出场车辆的缴费情况，在必要时进行人工收费，更新车辆缴费信息。

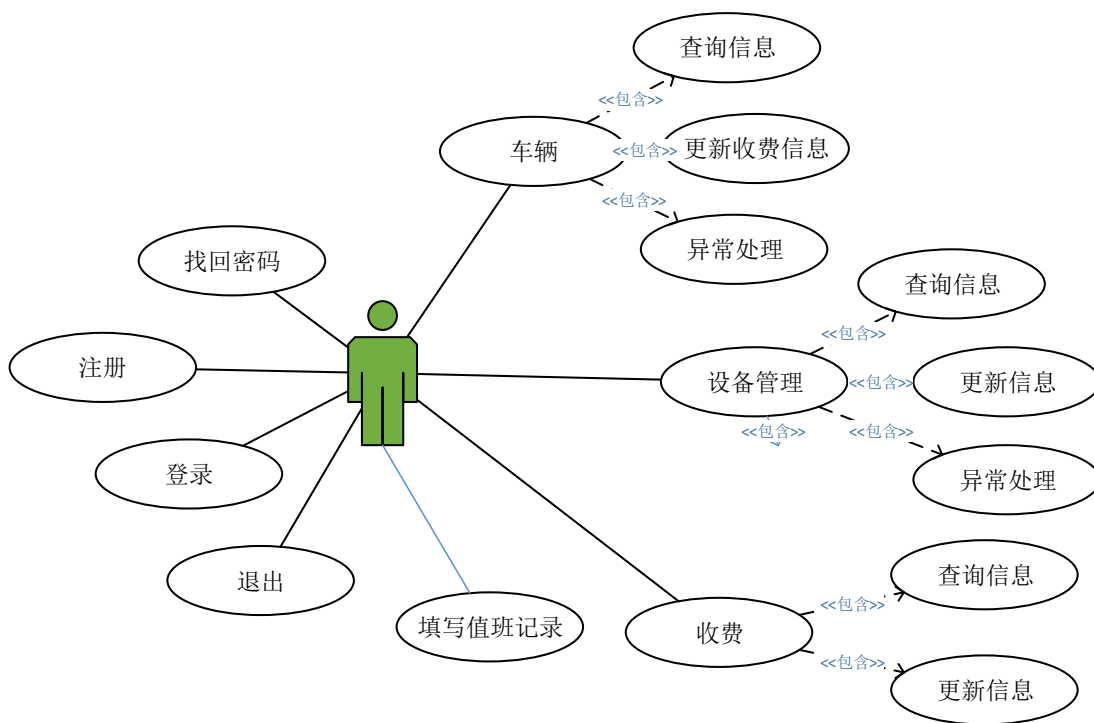


图 2-3 值班员用例图

(4) 普通用户

普通用户包含短时或临时停车的零散用户，也包括企业用户中的个人用户。执行注册、绑定车辆、预约、缴费等操作，见图 2-4。主要用例如下。

注册：进入注册界面后，填写相关信息。经验证后，完成注册。

登录和退出：注册后，用户可以执行查询停车场、预约、缴费、导航等操作，操作完毕后退出现。

找回密码：系统将验证信息通过网关，发送到注册的手机号，验证后，将登录密码发送到注册手机。

车辆管理：绑定、解绑车辆，更新车辆信息。

收费：查询缴费信息，账户充值，支付。

停车：查询停车场，导航，预约车位。

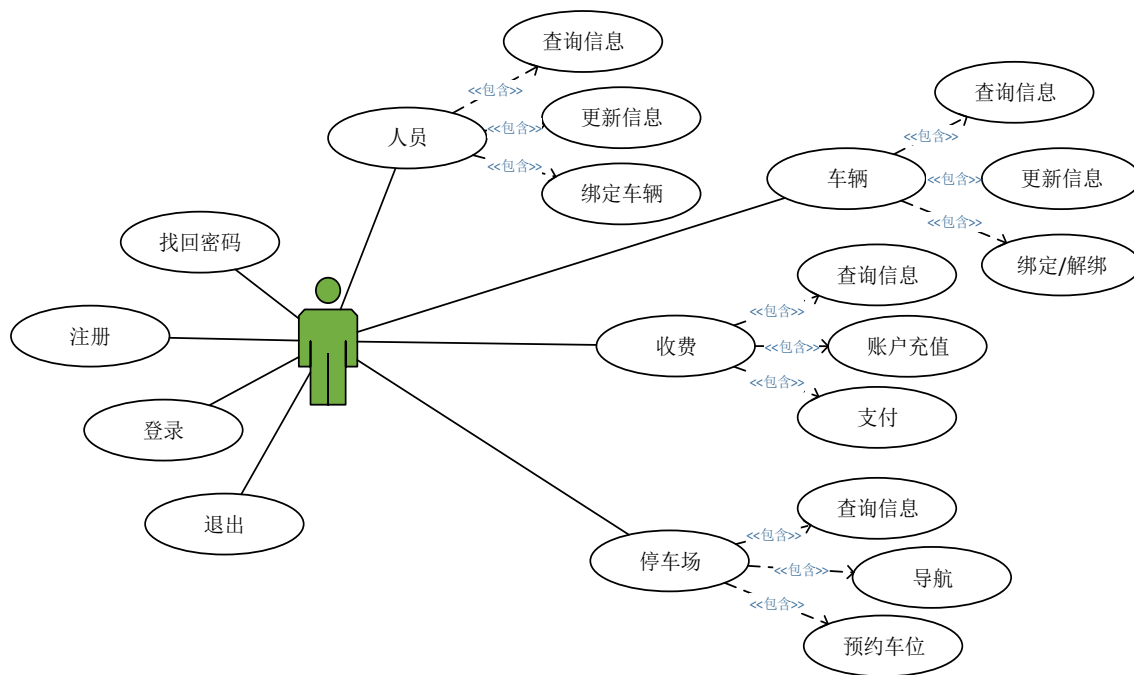


图 2-4 普通用户用例图

2.1.3 非功能性需求分析

(1) 处理能力和响应时间

响应时间一般是指从用户发起服务请求，到收到服务器返回的数据和操作的时间，是衡量可用性和用户体验的重要指标，一般要求 3-5 秒，如超过 10 秒，用户体验就会很差。缩短响应时间的措施有很多，如优化客户端与服务器之间的交互流程，加快移动端操作的响应速度，采用高性能的硬件设备等。降低响应时间的具体办法主要有并行处理技术，压缩文本、图像，合理设置和使用缓存等。在本系统中，室内定位对响应时间要求较高，从发起定位请求到完成定位的时间一般要求小于 5 秒。

(2) 实用性

考虑到目前国内停车收费的标准普遍不高，因此硬件购置和部署的成本要适中。用户界面和功能设计上适应用户的操作习惯，能够完成停车场正常的业务操作。可运行在手机等移动终端上，能够随时提供服务，便于携带，易于使用。在室内场景下的定位精度要能基本满足导航到车位的需求，一般要求精度达到 3-5m。

(3) 可靠性

停车场的环境状况恶劣，汽车电机、充电桩的逆变器等都会产生电磁干扰，要

求车位识别终端、出入口收费设备和抬杆设备、无线 AP 设备具有良好的耐候性、抗干扰能力,才能实现 7 x 24 小时连续不间断服务。为提高硬件系统的可靠性,采取双机互为备份,数据库采用 RAID0 做备份的方式,提高数据的安全性和可靠性,保证数据不丢失。

(4) 适应性

停车场的规模、位置、服务对象各不相同,因此在系统设计和开发过程中要考虑与其他应用程序集成的接口,能够适应不同的管理需求。

根据移动互联网的发展,开发运行在手机等移动终端上的 APP 客户端,使用户能够随时随地提出服务请求。

(5) 扩展性

随着业务增长,用户的使用需求和规模会发生变化。用户希望一次投入,能够覆盖今后相当一段时间的业务需求。在需要增加新的功能时,能够通过模块化的方式进行添加,避免后期维护升级时增加很多支出,因此要求应用系统具有良好的可扩展性。停车场管理企业对扩展性的需求主要体现在,当停车场规模扩大时,通过增加部署终端设备就可以覆盖新增区域,不需要对网络、核心设备进行改动。可以通过插件或新增模块的方式,满足新的功能需求。

(6) 安全性

近年来爆发了一系列用户数据泄露事件,因此用户对个人隐私、支付安全越来越重视。在系统的设计和开发过程中要综合采取各种安全技术手段,避免泄露用户数据,保护数据的安全性、完整性。主要策略是进行用户认证登录,对用户的数据访问权限进行分级分类管理。定期备份数据库数据,配备防火墙,防止用户信息被篡改、盗取或丢失。

2.2 关键物联网技术分析

1999 年,美国麻省理工学院(MIT)的自动识别实验室(Auto-ID Labs)提出了“物联网”概念,即具有信息感知和数据传输功能的物品、设备通过与互联网连接,无需人的参与,即可实现智能化的识别、管理和执行。2005 年,国际电信联盟发布了物联网年度报告,引起各国政府、企业界高度重视,纷纷提出发展物联网技术、应用和产业的规划与对策。基于半导体工艺的传感器不断小型化,处理器、控制器、网络芯片不断缩小尺寸、提高性能,RFID、蓝牙、Zigbee 等网络协议不断演进,互联网、移动互联网的带宽快速增长、成本不断下降,使物联网技术由概念变为现实,广泛进入各种各样的应用领域具有了坚实的技术基础。

物联网的新概念、新应用不断涌现,渗透到生产生活的方方面面。特别是物联

网技术与移动互联网相结合，推动了一批有中国特色的应用快速发展，典型代表有共享单车、网约车等。具体到本项目，涉及的物联网技术主要有车牌和车辆识别技术、近距离无线通信和组网技术、位置感知和定位技术。

2.2.1 车辆和车牌识别技术

车牌识别集成了计算机视觉、模式识别、图像处理和识别等技术，通过车牌定位、字符分割和字符识别等处理，从摄像机拍摄的车牌静态图像或动态视频流中识别出车牌号，以文本、数据报文等形式发送到 PC 等终端或服务器。经过近 40 多年发展，车牌识别技术已经非常成熟，识别准确率可以达到 99% 以上。

一些企业和科研单位意识到车辆识别、车辆管理的需求，从 20 世纪 80 年代开始着手研究相关技术。由于没有专用摄像机，初期的车牌识别系统采用工业电视摄像机，将拍摄的车牌图像传输到服务器或 PC 上，通过软件进行图像处理和识别，识别出车牌号后，而且最后常常还要进行人工干预或手动操作，才能得到正确的车牌号码。

进入 20 世纪 90 年代，全球半导体设计和制造技术快速发展，推动图像传感器的分辨率和拍摄质量不断提高，计算机的处理能力每隔一两年就翻倍，使得车牌识别准确率不断提高，工业界逐步开发出一批相对成熟的技术方案，如英国 IPI 公司的 RTVNPR 系统被用于道路收费站，美国 SCT 公司的系统能够实现 95% 以上的识别率，以及新加坡 Optasia 公司的 VLPRS 等一系列产品和方案。

识别过程包括以下几个步骤：车型车牌提取，彩色转灰度，背景分割与剔除，定位车牌，二值化，梯度锐化，边缘检测，滤除噪声，倾斜校正，字符分割，归一化，提取特征值，使用神经网络识别特征值^[14]。车牌识别的功能框图参见图 2-5。

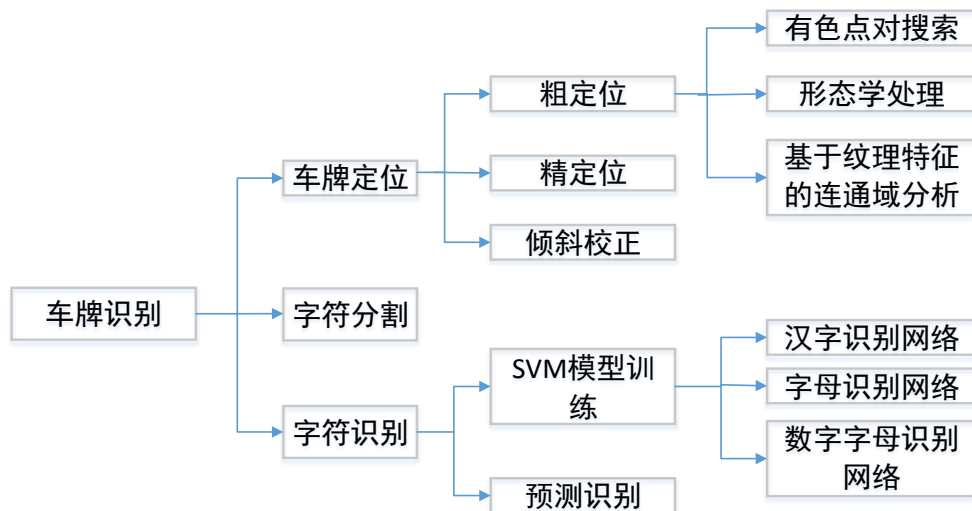


图 2-5 车牌识别功能框图

近年来,得益于 CMOS 摄像头的进步、嵌入式处理器性能快速提升,市场上涌现了车牌识别一体机类产品。这种产品集成度高、易操作、安装简便,已经得到越来越多的应用。如深圳某公司研制出高集成度的车牌识别一体机,识别率可达到 99% 以上,可以识别出特种车牌和无牌车辆;自动识别大、中、小型客车和货车,便于计费系统根据车型进行分类计费;能够进行脱机计费,在服务器和收费电脑宕机的情况下,系统仍可以正常工作;只需要三步操作,第一步是设定要识别的图像区域,然后设置识别距离,最后设置识别结束的触发模式;可独立使用,也可以通过 SDK 接入现有的用户平台。

2.2.2 近距离无线通信和组网技术

随着越来越多的设备接入网络,如何有效、低成本、高可靠地组网是一个挑战。以往的很多现场应用使用 RS-232、RS-485 等低速有线传输,工业制造领域则使用专用的中高速专用总线,带来的问题是部署范围和方式不够灵活,后期的维护升级困难,而且不适用电池供电、小数据量的应用。

针对不断膨胀的无线通信和组网需求,工业界开发了用于近距通信的蓝牙、Zigbee、Thread、Z-wave 等协议,长距离通信的 LoRa (工作在未授权频谱)、NB-IoT (Narrow Band Internet of Things, 窄带物联网,工作于授权频谱,需运营商支持) 等协议。

无线通信和组网的优点很多:(1)减少部署的布线成本,适合设备分散的场景,便于对已有设施进行改造;(2)节点体积小,便于安装和维护;(3)支持加密功能,保护数据安全;(4)支持自组网,可以将新节点加入已有网络,便于更换和部署,且某个节点故障不影响其他节点,系统可靠性高。

LoRa 和 NB-IoT 的元器件成本和使用成本相对较高,目前应用较少。因此本文主要分析 Zigbee、蓝牙,且这两种技术使用不需要授权的 2.4GHz 频段,便于集成商进行二次定制开发。

Zigbee 是短距离无线通信技术,目的是解决传感和控制应用(Sensor and Control)的短距离数据传输需求。IEEE 802.15 工作组在 2004 年发布了 V1.0 版本。Zigbee 节点需要通过网关来连接到互联网,整个系统的功耗相对比较好控制,技术比较成熟。Zigbee 可以实现一个网关与若干个节点进行通信,理论上可以支持 65535 个节点,但实际应用中一个网关通常只能满足 100-200 个节点。Zigbee 支持 Mesh、星型拓扑、树状或混合结构等网络拓扑,组网形式十分灵活。室内通信距离 30-100m,室外可以达到 1.5km。Zigbee 适用于大规模部署且对功耗敏感的产品,如传感器、无线开关、智能插座等。Zigbee 的缺点是只适用于小数据量传输,在标准和技术演

进上缺乏大公司推动，目前发展相对迟缓。

蓝牙是一种近距离无线数字通信标准，由爱立信等 5 家公司于 1998 年 5 月推出，最初的目标应用市场是手机、耳机、电脑、音响等消费产品，目前已经渗透到工业领域，获得了很多应用。蓝牙采用了提高信道利用率的时分多址(Time Division Multiple Access, TDMA)通信技术、高速跳频(Frequency Hopping, FH)、多层网络结构等技术，传输效率高、安全性好、功耗低。蓝牙使用 2.4GHz 免授权频段，既降低了部署和使用成本，又支持二次开发。蓝牙的传输距离一般为 8~30m(通常在 10m 左右)，可以通过增加射频发射功率来增加传输距离，最远可以达到 100m 左右。2010 年，蓝牙 4.0 版本的低功耗版本(Bluetooth Low-energy, BLE)推出，支持移动设备的低功耗待机，大大降低了设备功耗，在电池供电的应用中也可以使用。蓝牙 5.1 在 2019 年发布，传输距离可以达到 300m，数据速率 2Mbps，比 4.0 版本有了巨大提升，并且能够结合 WiFi 对室内设备和物品进行辅助定位。2017 年，蓝牙增加了对 Mesh 网状网络的支持，提高了扩展能力和组网灵活性。尤其是手机、消费娱乐产品、汽车等领域的巨大市场吸引了大量公司参与竞争，使得元器件成本不断下降，加上由行业巨头和协会推动技术标准不断演进，蓝牙的应用越来越多。

具体到停车场管理系统，车场出入口的地感线圈，车位下方的地磁传感器、智能车位锁，车位旁的充电桩，都可以通过蓝牙技术接入网络。

2.2.3 位置感知和定位技术

通过位置感知和定位技术，追踪到车辆、物品、货物、动物等的位置，进行实时或非实时跟踪定位，对于交通运输、物流、农业、资产管理等行业非常重要。

在没有遮挡的室外应用场景中，基于全球卫星定位系统的无线电信号进行定位，在技术、产品和服务上已经非常成熟。全球四大卫星定位系统先后投入使用，基础定位精度达到 10m，通过地基增强、多频天线、载波相位等技术，定位精度能够进一步提高到米级、分米级乃至厘米级，应用于测绘测量、形变监测、无人农机等很多高精度应用。相关产品非常丰富，从消费级的廉价模块，到高精度的 RTK 产品，从开发包、地图引擎到操作系统接口，还有大量的基于位置服务(Location Based Services, LBS)和应用。

针对隧道内、桥梁下等场景，可以用加速度计、陀螺仪等传感器，进行位置估算和补偿。针对水下、矿井等场景，可以用地磁传感器进行定位，但前期要先测量地磁指纹并录入数据库。

随着传感器、无线通信技术发展，室内定位逐步从设想变成现实，国内外的很多企业、科研单位开展了大量研究，涵盖 WiFi、蓝牙、红外线、超声波、RFID、

光跟踪、地磁等技术。从目前的应用情况看，WiFi 定位因其成本低、易部署、终端渗透率高，是目前的主流方式，定位精度一般在 3-10m，在商场、办公楼、公共建筑等场景有小规模应用^[15]。本项目应用 WiFi 进行室内定位，这时可以把 WiFi AP 视为是一种位置传感器。

2.3 系统总体设计

2.3.1 架构设计

架构设计的目的是通过梳理出各功能模块之间的逻辑关系、业务关系，使各模块之间保持相对独立，模块内部功能完整，模块之间通过函数、方法进行调用。目前，各种信息管理系统基本上都采用分层架构设计，这种架构的优点是各层之间相互解耦，各个模块可以由不同的开发小组进行开发、测试，最后进行统一的集成测试和调试。本系统的架构图如 2-6 所示。



图 2-6 停车场管理系统分层架构图

分层设计的好处是各个功能层之间、各个功能模块之间实现解耦，各层之间构建数据传递的通道。

设备层完成车牌、位置等信息的采集，信息输入和显示，执行充电、道闸放行等动作，处于最底层。网络层用来实现各个设备之间的联网和通信，提供计算、存储资源，将设备层的数据上传到数据层，将数据层的执行命令下发到设备层。数据层用于存储、组织和管理数据，提供数据模型，进行数据处理，将实体数据上传到业务应用层。业务应用层完成具体的业务逻辑，实现系统的各个功能，并生成视图所需数据。展示层基于业务应用层的处理结果，生成视图，完成与用户的交互。

（1）设备层

设备层有摄像机、识别一体机、道闸、地感线圈、显示屏等检测、进出场控制设备，车位锁、充电桩等停车服务设备，用于通信和定位的 WiFi AP、手机等终端设备。

（2）网络层

网络层由各种网络设备组成，包括用于组建局域网的交换机，与外网接口的路由器、防火墙，提供计算、存储资源的云服务器。

（3）数据层

数据层是用于表征数据处理过程的一种抽象描述，包括数据库、服务引擎、数据处理模块。综合考虑成本、授权、技术支持、开发资源，本系统采用免费的开源数据库 MySQL，设计了很多数据表，用于存储场地、人员、车辆、订单等。服务引擎响应用户请求，提供室内定位所需的服务，包括位置解算、位置记录、服务响应等。数据处理模块执行各种信息数据的增删改查，室内定位部分的处理包括对采集到的 RSSI（Received Signal Strength Indication，接收信号强度）数据做处理，对离线训练阶段的原始数据做处理。

（4）业务应用层

业务应用层响应用户请求，实现用户业务逻辑。首先是由用户发起数据操作的请求，通过数据层、网络层把请求发送到服务器，服务器经过处理，得到用户所需的数据，再将数据通过网络层、数据层逐级返回到业务应用层。业务应用层的功能包括数据增删改查、显示场地信息、设备信息、用户信息、订单信息等，提供停车导航、定位导航和计时缴费等功能。

（5）展示层

展示层主要是面向用户的界面，包括管理员、值班员、业务经理的 PC 端用户界面，普通用户的手机 APP 客户端。

系统能够感知车辆的达到和离场，采用定位算法，根据车辆所在位置推荐最优的行车线路，根据用户类型自动选出合理的缴费方式，可以实现整个服务过程的无人值守，初步具备了一定的智能服务能力。

2.3.2. 网络架构设计

系统网络架构分为 4 层，局域网内有 3 层，广域网有 1 层，如图 2-7 所示。

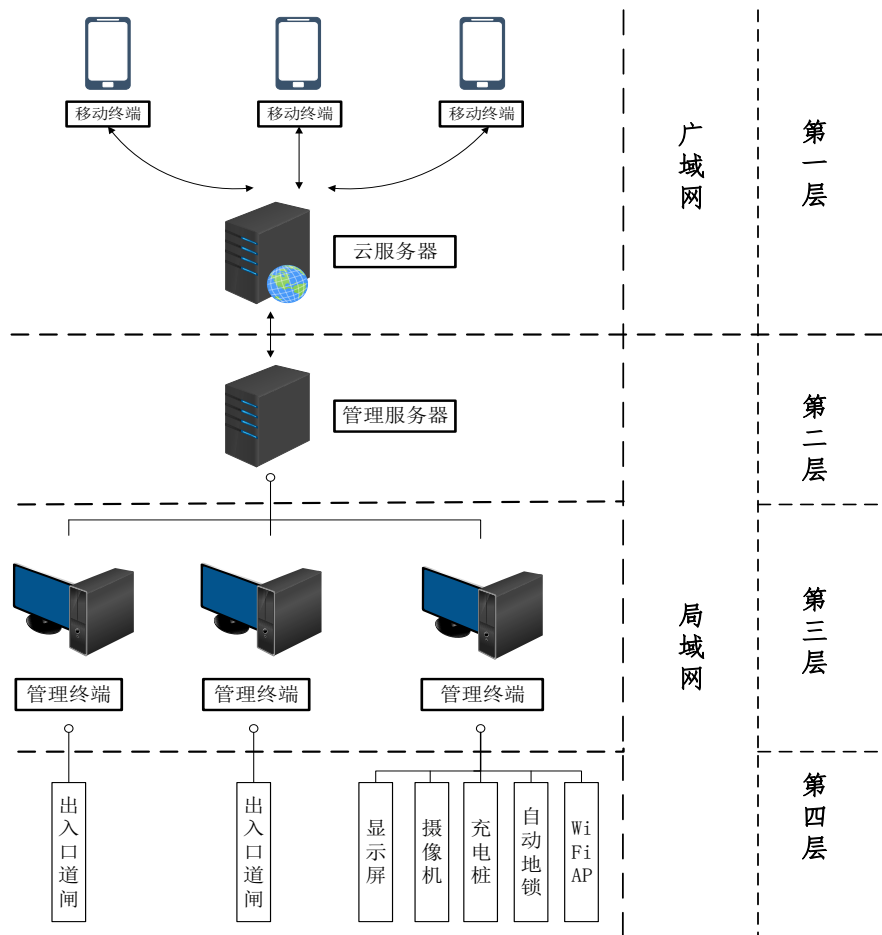


图 2-7 系统网络架构

第一层是广域网，包括云服务器，用于处理存储数据备份，财务相关数据汇总（多停车场），网络支付、预订信息等，以及微信公众号，APP 客户端功能处理、更新。

APP 客户端运行在手机、平板等移动终端设备上，用户通过客户端与服务器的管理系统进行数据交互，完成业务逻辑。本系统的一个特色功能是室内定位，用户的手机客户端通过手机 WiFi 模块获取周围 WiFi AP 设备的射频信号强度数据，通过手机的 4G、5G 无线通信网，把数据发送到服务器端，服务器端的服务模块使用 WKNN 专用算法进行匹配处理，得出终端的位置坐标，并返回给移动端。云服务器可以采用自己购买的服务器，然后租用电信运营商的机房，也可以直接购买阿里云、京东云、亚马逊的云服务，为局域网外的终端服务。

第二层是本地的局域网服务器，用于存储出入信息和工作记录、进行数据存储

和数据分析。

第三层是管理终端，主要负责前端设备控制，管理员操作管理平台负责查看核对数据，进出口控制设备负责临时收费放行等具体操作。管理中心终端对停车场各出入口的状态进行实时监管，设置和修改系统参数，统计和核对收支情况。前端工作站由岗亭值班工作人员使用，用于核对车辆信息及收费放行等工作。工作站是运行 Windows 操作系统的 PC 机，使用浏览器模式访问服务器上的数据和资源。

前端控制设备是第四层，主要包含出入口道闸、显示屏、车位状态显示终端以及车牌识别一体机、充电桩、智能车位锁、WiFi 接入点等设备，实现控制车位制、开放或关闭道闸、引导车辆、充电等具体功能。其中，电动道闸、车辆检测器、出入口摄像机、车位锁、充电桩等带有传感、处理和通信功能，是典型的物联网设备。WiFi 接入点部署在停车场天花板，不间断地向四周发送 RSSI 信号，多个 WiFi 接入点就形成一个定位传感网络。低速设备通过 RS485 接口连到集线器，数据打包后通过以太网网关发送到服务器，见表 2-1。

表 2-1 主要物联网设备

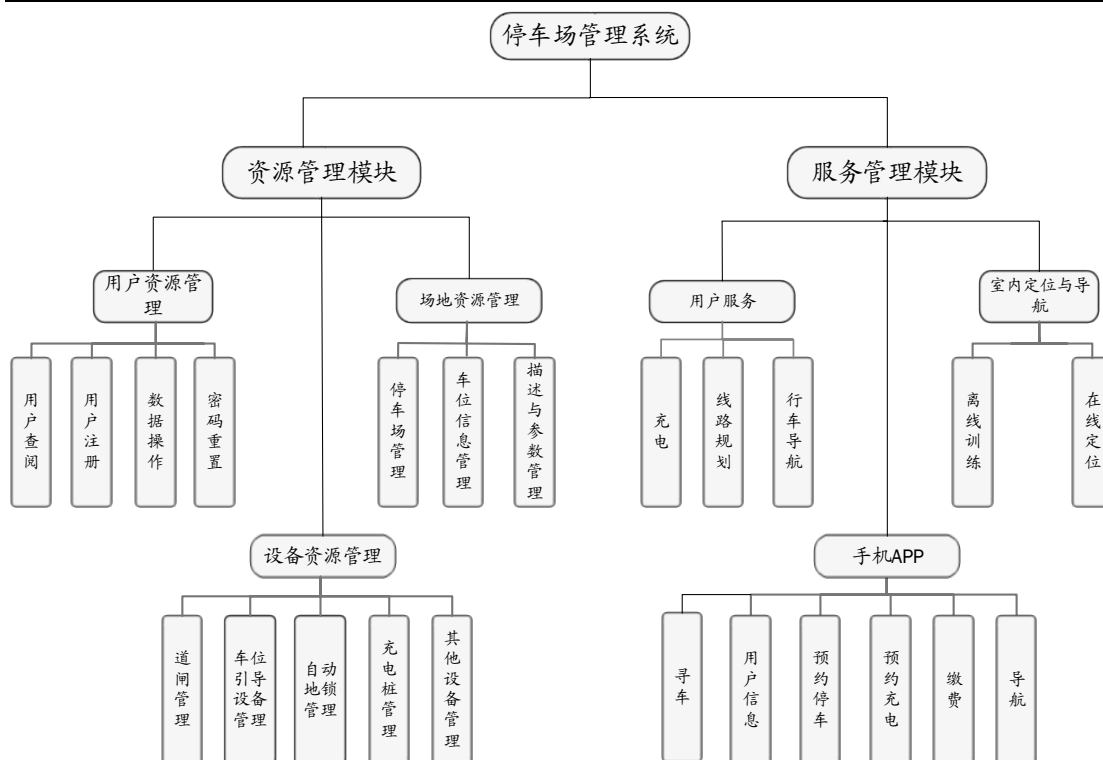
编号	设备名称	通信接口	性能参数	特点
1	电动道闸	RS485	设备额定功率为 120W，安全防护等级 IP44，电机空载转速为 1400 转/分，最大遥控距离 30m	闸杆遇阻返回，自动计数，延时落杆，红外线对射防砸，兼容外置和内置地感线圈，开、关、停接口（开关信号），红绿灯接口，线控、遥控可切换
2	车辆检测器	三选一输出：TTL 电平方式，继电器信号，OCL 信号	频率范围 29kHz~90kHz，灵敏度 0.02%~0.2% 四级可调，反应时间 100ms，带自动飘移补偿，线圈电感为 80uH~300uH，线圈连接线长度 5m	主要用于检测车辆和金属物体，具有频率自适应和完全环境跟踪功能，线圈变压器隔离，DIP 开关可设定灵敏度级别和输出延时，具有复位按钮
3	智能车位锁	RS485	输入电压 DC12V	由电机、电机控制器、减速传动装置和升降板组成。
4	充电桩	RS485	交流额定电压 220V，额定输出功率 3kVA，防护等级 IP55，频率 50Hz±1Hz，谐波含有率≤30%，功率因数≥0.9	安全隔离保护，充电温度控制，过载和短路保护，机械锁和电子锁联动等

表 2-1 (续表)

编号	设备名称	通信接口	性能参数	特点
5	摄像机	RJ45 10M/100M 以 以太网接口	水平清晰度 200 万， 电子快门 1/3 秒至 1/100,000 秒, ICR 红外 滤片，数字降噪，宽动 态范围，支持 H.265/H.264/MJPE 压 缩标准，最大图像尺寸 为 1920x1080，帧率 50Hz: 25fps，多种图像 设置，带背光补偿， ROI 支持双码流分别 设置 1 个固定区域，接 口协议 ONVIF、PSIA、 CGI、ISAPI、 GB28181，智能报警， 支持 TCP/IP、HTTP、 ICMP 等网络协议，防 闪烁、镜像、心跳、双 码流、视频遮盖、密码 保护、水印等功能，支 持 IP 地址过滤	DS-2CD2T25D-I3 是海康威视公 司生产的一种枪式摄像机，包括 拍照、摄像、安全防护等功能，防 护等级为 IP67

2.3.3 系统功能设计

软件部分包括服务器端的资源管理模块、用户服务模块、室内定位和导航服务模块，手机等移动终端上的客户端 APP。根据需求调研结果，资源管理模块包括：用户资源管理模块，场地资源管理模块，设备资源管理模块。用户服务模块包括线路规划和导航模块，充电服务模块，室内定位和导航服务模块。APP 的功能包括：用户信息管理，预约停车，预约充电、缴费，寻车，查找停车场，定位导航等。系统功能见图 2-8。



2.3.4 数据库设计

在设计数据库时既要考虑数据存取性能，也好兼顾开发和使用成本、易用性、管理工具、空间利用率等问题。对于文本、数据等结构化数据，关系型数据库具有功能强大、成熟稳定、数据一致性好等优点，是最优的选择。

常见的数据库有开源的 MySQL，商业数据库有 Oracle、SQL Server 等。数据库首先要满足性能和功能需求，还要考虑部署和后期使用成本，商业软件性能好、服务好，但成本高，像 MySQL 等可以免费使用的开源软件已经可以满足很多应用场景的需求；在技术上，要能够获得用户社区、开发企业的技术支持，有较多的开发者，有强大的维护和开发工具，等等。而且，MySQL 经过大量开发者和用户的应用和测试，完全可以胜任中小型应用系统。根据应用的开发需要、后期维护需求和技术团队能力，选择免费的关系型数据库 MySQL 进行开发。

考虑到停车管理公司对系统扩展性、客户分类有比较多的需求，设计了比较多的数据表。管理系统的数据库表格主要有：用户信息表，车辆类型信息表，车辆信息表，异常车辆告警表，公司、集团类用户收费表，停车场信息表，摄像头、充电桩、道闸等设备的信息表，停车管理公司信息表，车场引导、参数表、位置表、分

区表, 车辆非正常出入记录表, 预约信息表等。为了实现定位和导航功能, 还设计了 AP 设备表和位置信息表。

(1) 数据表结构

根据本章的需求分析和要实现的系统功能, 基本明确了对数据表的需求。

用户信息表: 用于存储注册用户相关信息, 包括用户名、账号、密码、证件号、车牌号、手机号、用户类型等, 数据类型有整型、字符串。

车辆信息表: 保存与用户名关联车辆的属性信息, 有关联用户名、车辆型号、车牌号等字段, 数据类型有整型、字符串、时间。

订单记录表: 记录用户停车费订单信息, 包含订单号、车牌号、用户名、停车位置和时长、应缴费用、折扣优惠等, 数据类型有整型、浮点、字符串。

停车场信息表: 记录各个停车场所的属性信息, 主要包含所在地址、收费情况, 车位占用情况, 营业时间等, 数据类型包括整型、浮点和字符串。

AP 源设备表: 存储 WiFi 接入点的设备信息, 主要包括设备状态、在场内的平面位置坐标等, 数据类型有整型、字符串。

停车场平面图信息表: 保存室内地图的相关信息, 数据类型有整型和字符串。

监控设备表: 记录摄像头的分布位置, 设备状态等信息, 数据类型有整型、字符串。

车位信息表: 记录停车位的信息, 包括停车场编号、车位编号、可用状态、车牌号, 数据类型有整型、字符串。

位置信息表: 保存定位参考点的横、纵坐标, 数据类型有字符串、浮点。

车辆预约信息表: 记录车辆的预约订单信息、车辆信息、缴费信息等, 数据类型有整型、字符串、时间、双精度。

非正常出入记录表: 用来记录异常出入情况, 如强制出入场, 特种车辆等, 数据类型有整型、字符串、时间。

数据库结构关系如图 2-9 所示。

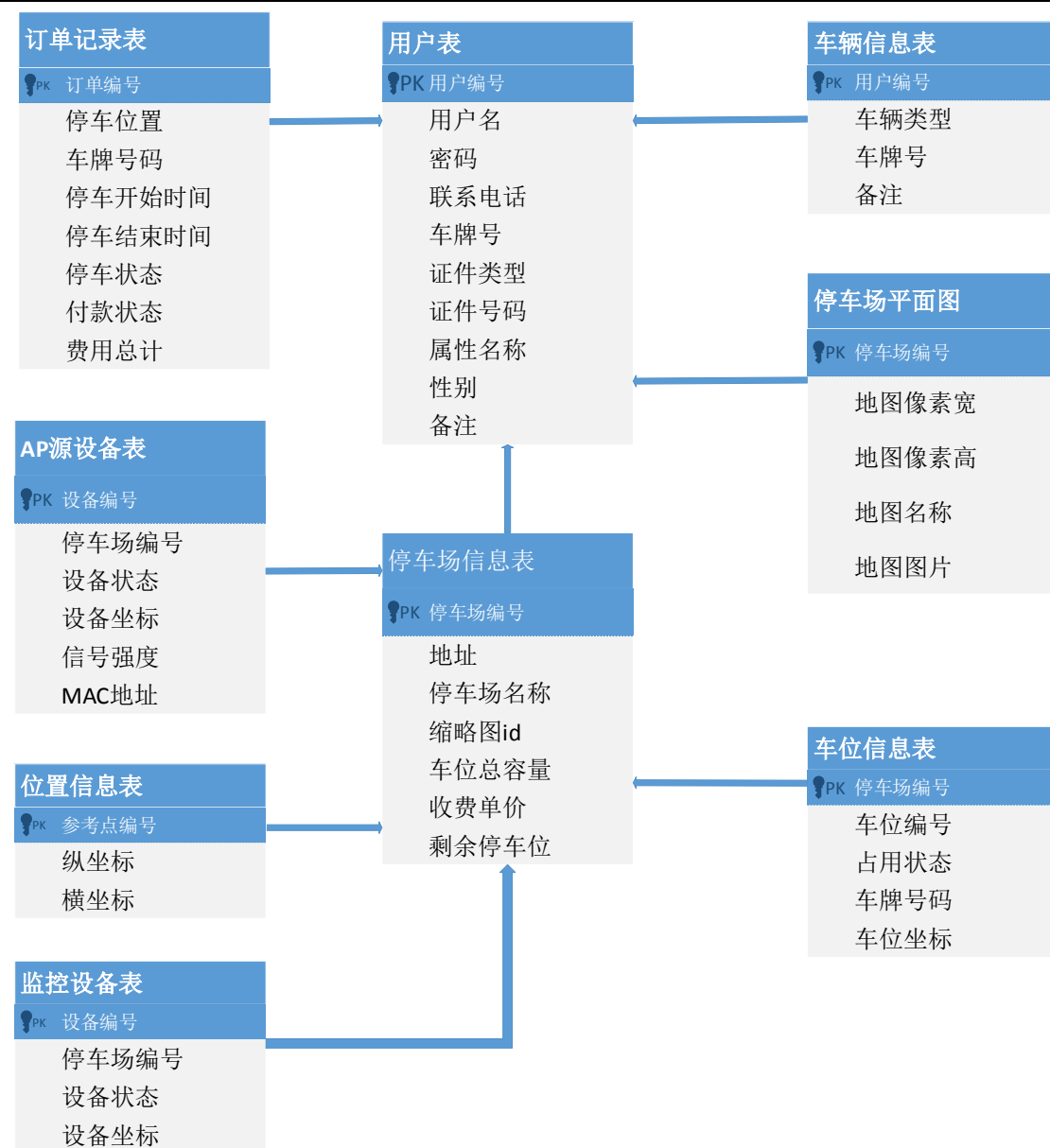


图 2-9 数据库的逻辑关系

(2)数据表结构设计

通过分析系统需求和业务功能，以及实体、属性之间的关系，设计了数据库表，主要表结构设计如下。

用户信息表：记录用户信息，数据类型有整型、字符串。

表 2-2 用户信息表

字段名	数据类型	长度	描述	说明
id	int	11	用户 ID	
name	varchar	40	用户姓名	

表 2-2 (续表)

字段名	数据类型	长度	描述	说明
code	varchar	30	用户密码	
platenumber	varchar	20	车牌号	
tel	varchar	11	用户电话号码	
IDtype	varchar	20	证件类型	
IDnumber	varchar	20	证件号码	
gender	int	1	性别	0 为男, 1 为女
department	varchar	255	所在单位	
note	varchar	255	备注	

车辆信息表：车辆信息，包括车辆的类型，车牌号，固定车位，缴费类型，绑定和预警情况，所属单位，用户名等。

表 2-3 车辆信息表

字段名	数据类型	长度	描述	说明
id	int	11	ID 号	
platenumber	varchar	255	车型	1 大型, 2 中型, 3 小型, 4 军车
affiliation	varchar	255	所属单位	
userID	int	11	单位 id	
character	varchar	255	性质	
fixedpark	varchar	255	固定车位	
timeregister	datetime		登记时间	
meanpayment	varchar	255	缴费类型	
relation	varchar	255	关联车牌	
expirationdate	datetime		到期时间	
drivinglicense	varchar		行驶证照片	存放地址
isdelete	int	11	是否绑定	0 绑定, 1 解除
warning	int	1	是否预警车	1 预警车辆
warning_r	varchar	255	预警原因	
department	varchar	255	所属部门	单位用户
dusername	varchar	255	姓名	单位用户
dtel	varchar	20	电话	单位用户
modify	varchar	50		修改人
note	varchar	255	备注	

订单记录表：记录用户停车费订单信息，包含订单号、车牌号、用户名、停车位置和时长、应缴费用、折扣优惠等，数据类型有整型、浮点、字符串。

表 2-4 订单信息表

字段名	数据类型	长度	描述
id	int	10	订单编号
platename	varchar	20	车牌号
code	varchar	30	用户密码
location	varchar	20	停车位置
arrivaltime	datetime		停车开始时间
lefttime	datetime		停车结束时间
carstatus	varchar	8	停车状态
charge	varchar	11	付款状态
payment	float		付款总计
tel	varchar	11	用户电话号码
IDtype	varchar	20	证件类型
IDnumber	varchar	20	证件号码
gender	int	1	性别
department	varchar	255	所在单位
note	varchar	255	备注

停车场信息表：记录各停车场的属性信息，主要有编号、所在地址、收费价格、车位容量等，数据类型包括整型、浮点和字符串。

表 2-5 停车场信息表

字段名	数据类型	长度	描述
parkid	int	10	停车场编号
number	varchar	20	车场编号
address	varchar	20	地址
thumbnailID	varchar	20	缩略图 id
price	float		收费价格
capacity	varchar	11	车位容量
slot	varchar	11	剩余车位

AP 源设备表：存储 WiFi 接入点的设备信息，主要包括设备状态、在场内的平面位置坐标等，数据类型有整型、字符串。其中设备状态有正常、故障和待维修三种。

表 2-6 WiFi 设备信息表

字段名	数据类型	长度	描述
wifiapid	varchar	10	设备编号
parkid	varchar	20	车场编号
location	varchar	40	设备位置
devicestatus	varchar	20	设备状态
note	varchar	20	备注

停车场平面图信息表：储存地图信息，包括以像素点数表示的宽、高，图片名称和图片文件路径等信息，数据类型包括整型和字符串。

表 2-7 平面图信息表

字段名	数据类型	长度	描述
parkid	varchar	10	停车场编号
pixelwidth	int	11	地图像素宽
pixelheight	int	11	地图像素高
mapname	varchar	20	地图名称
mappicture	varchar	100	地图图片

监控设备表：记录监控设备的安装部署位置、设备状态，数据类型有整型、字符串。

表 2-8 监控设备表

字段名	数据类型	长度	描述
deviceid	int	10	监控设备编号
parkid	int	10	车场编号
loaction	varchar	40	设备位置
devicestatus	varchar	20	设备状态
note	varchar	40	备注

车位信息表：存储停车场的车位信息，其中车位状态分为空闲、占用和故障三种，数据类型有字符串、整型。

表 2-9 车位信息表

字段名	数据类型	长度	描述	说明
slotid	varchar	10	车位编号	
parkid	int	10	车场编号	
slotstatus	int	8	车位状态	0 为空, 1 为占用, 2 故障
location	varchar	100	坐标地址	
platenumber	varchar	10	车牌号	
note	varchar	40	备注	

位置信息表：用来记录网格参考点的编号、横坐标、纵坐标、MAC 地址等，数据类型有字符串、浮点。

表 2-10 参考点位置信息表

字段名	数据类型	长度	描述	说明
number	varchar	10	参考点编号	
horizontal	float		参考点的横坐标	

表 2-10 (续表)

字段名	数据类型	长度	描述	说明
vertical	float		参考点的纵坐标	
MACloc	Varchar	20	MAC 地址	
RSSI	Varchar	10	RSSI 信号强度	dBm
note	varchar	40	备注	

车辆预约信息表：用来记录用户的预约信息、车辆信息、缴费信息等，数据类型有整型、字符串、时间、双精度。

表 2-11 车辆预约信息数据结构

字段名	数据类型	长度	描述
userID	int	11	用户 ID
parkID	int	11	预约停车场 id
platenumber	varchar	20	车牌号
cartype	int	4	车型（大中小）
ordertime	datetime	默认	预约下单时间
recordtime	datetime	默认	预约到达时间
lengthtime	double	默认	预计停车时长
ifpayment	int	1	是否预付费
payment	int	6	预付金额
spacenum	int	11	预约车位号
Ifcharging	int	1	是否充电车位
statusrecord	int	1	预约车位状态
liquidateddamages	int	6	未到扣除金额
returndeposit	int	6	返还定金
jpushman	varchar	100	推送 id

非正常出入记录表：用来记录异常出入情况，如强制出入场，特种车辆等，数据类型有整型、字符串、时间。

表 2-12 非正常出入记录数据结构

字段名	数据类型	长度	描述	说明
id	int	10	异常情况 ID	
type	int	2	异常类型	1 强制入场, 2 强制出场, 3 修改车牌, 4 重复入场, 5 无入场记录, 6 罚款车
enterId	int	11	入场记录	
userId	int	11	操作人 id	
remark	varchar	255	备注信息	
isdelete	int	1	是否删除	1 删除
time	datetime	默认	出入时间	

主要数据的 E-R 图如图 2-10 所示。

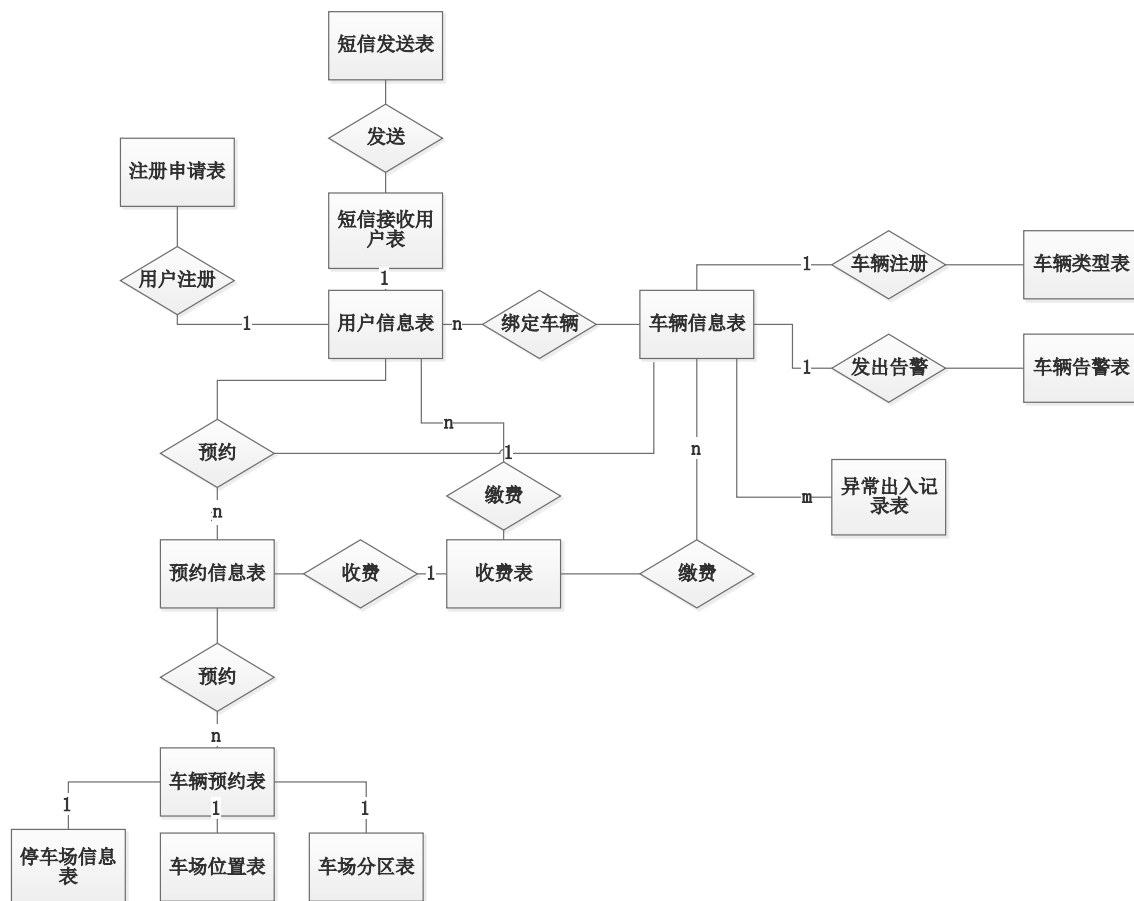


图 2-10 系统 E-R 图

2.4 本章小结

本章分析了停车场管理系统的总体需求、功能性需求和非功能需求，提出采用物联网技术实现车牌识别、车辆感知、定位导航等功能，提出系统架构、网络架构、系统功能和数据库的总体设计方案，尤其是根据室内定位的需要设计了 WiFiAP 数据库。

第3章 停车场资源管理模块的设计与实现

3.1 用户资源管理模块的设计与实现

用户资源管理模块对人员进行管理。用户信息管理是按照用户的使用场景，分成注册、查询、重置密码模块。每一个模块有各自的操作界面、访问数据库操作方法、控制器，最后统一集成到主界面。在主界面上，各个模块按照操作要求进行设计和布局，用户操作完成后再返回到该主界面。

用户管理模块包含若干子模块，每个子模块由视图、模型、控制组成。视图是展示给用户的界面；模型包括业务数据和规则两部分；控制部分是接收输入数据，并使用模型和算法进行处理，生成返回数据和操作，最后在视图中进行显示。

这个功能的类图见图 3-1。

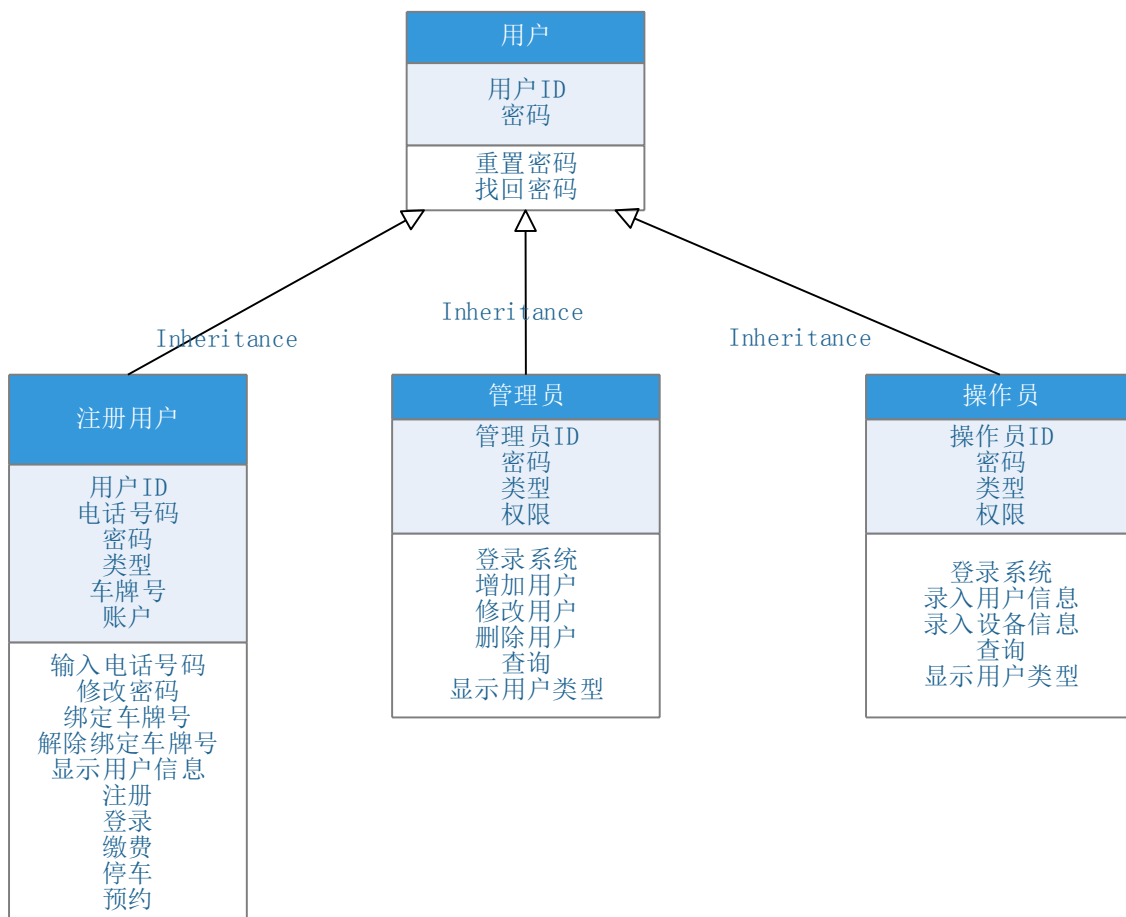


图 3-1 用户资源管理类图

这里仅说明注册和重置密码两个功能实现。

3.1.1 用户注册模块

在各种信息管理系统里，用户注册都是基础的功能模块，功能虽然相对简单，需要考虑的问题并不少，如图形码和短信验证码的双重验证，避免重名，报文在传输过程中要加密，等等。用户注册的步骤：进入注册界面，输入用户名、密码、图形验证码、手机号；用户点击发送短信验证码按钮，系统通过短信网关向该手机号发送数字验证码；用户输入短信验证码，如用户名与已有的用户名不重名，则将用户名、密码写入数据库，提示用户注册成功，转入登录界面。如与已存在的用户重名，则通过弹窗返回提示信息，重新进入注册界面，继续进行注册。

用户注册流程参见图 3-2。

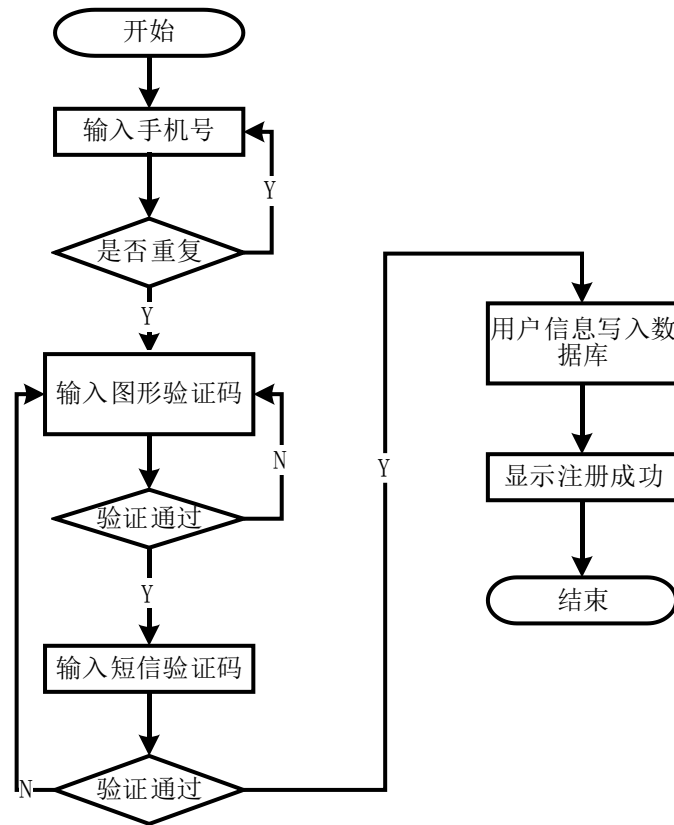


图 3-2 用户注册流程图

用户注册时序如图 3-3 所示。

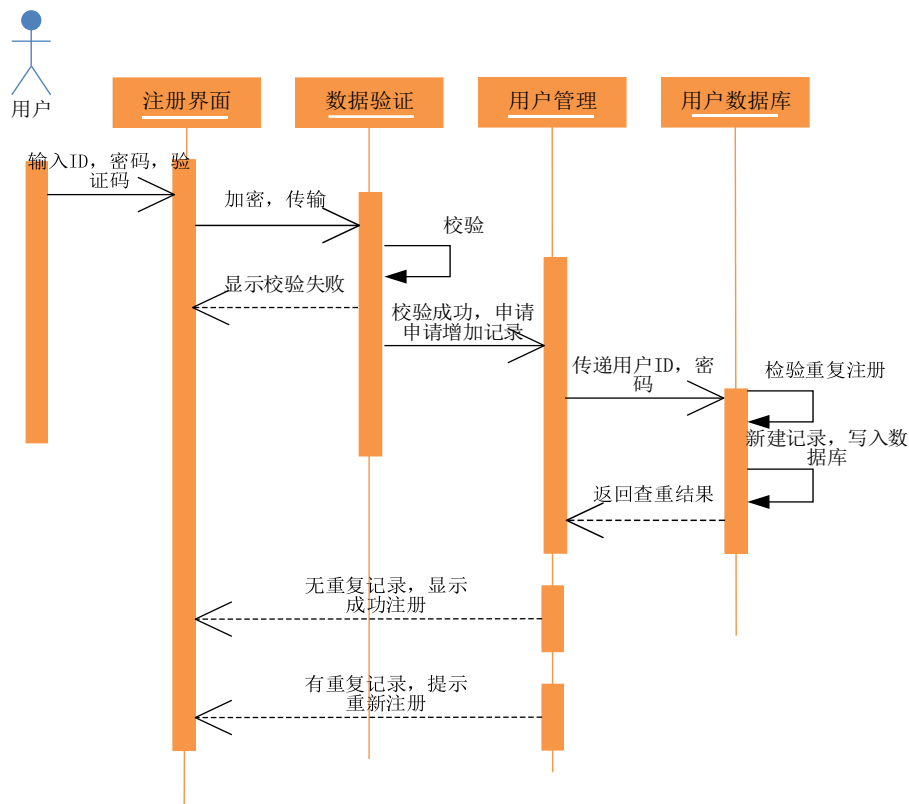


图 3-3 用户注册管理时序图

增加操作员，进行权限管理的界面见图 3-4。

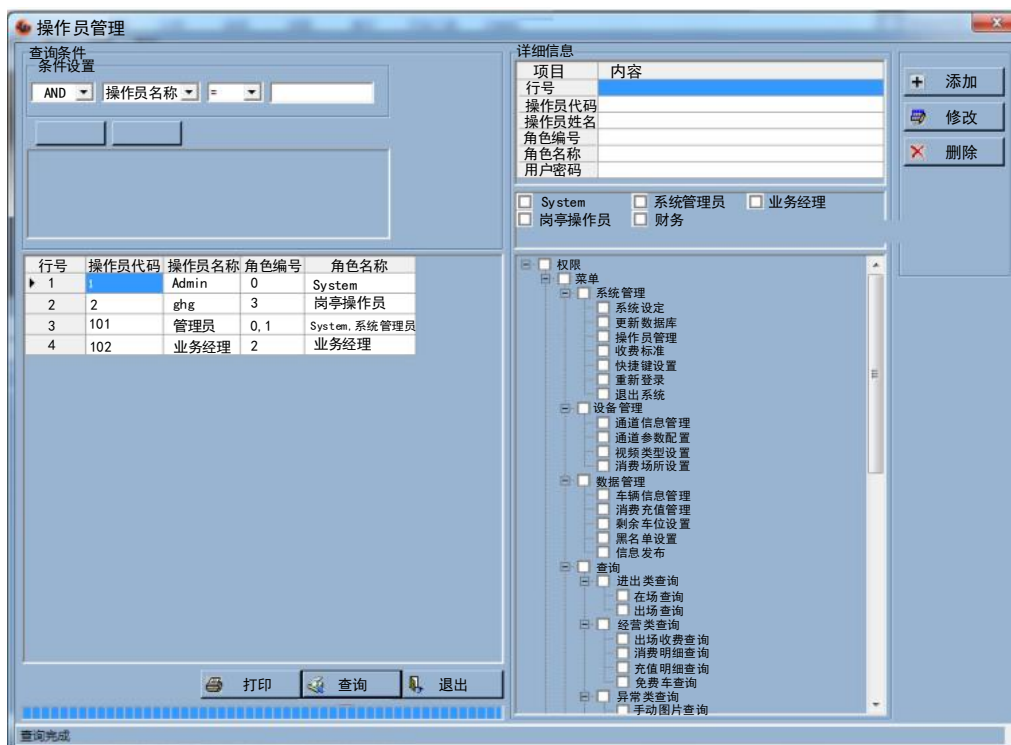


图 3-4 增加操作员及权限管理界面

3.1.2 更改密码模块

用户有时需要更改密码。首先点击“更改密码”按钮，进入更改密码界面，输入图形验证码，如果图形验证码错误次数超过 3 次，就判定为非法操作，结束进程。图形验证码通过验证后，系统通过短信网关向用户注册手机发送短信验证码，用户收到后，在相应的输入框继续输入短信验证码，验证通过后，用户再输入 2 次新密码，点击确认后将新密码写入数据库。该模块的工作流程参见图 3-5。

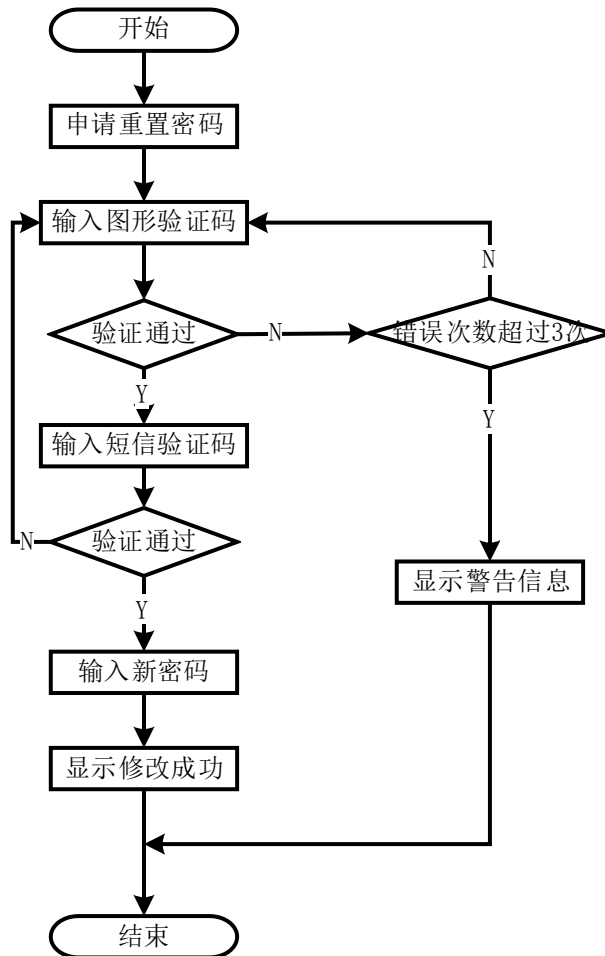


图 3-5 密码重置流程图

更改密码的时序见图 3-6。

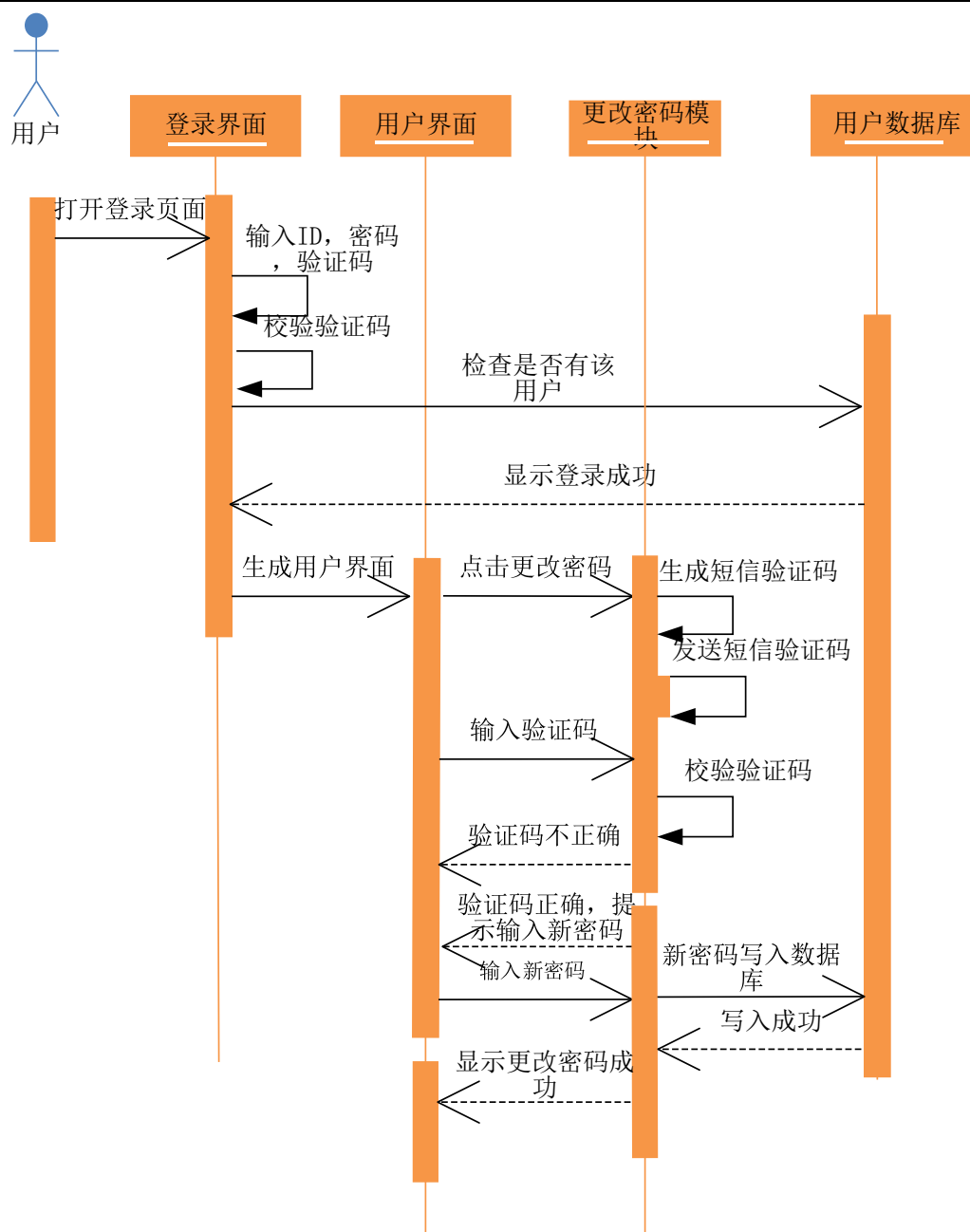


图 3-6 更改密码时序图

3.2 场地资源管理模块的设计与实现

本管理系统的用户是某专业停车管理公司，该公司拥有多个停车场，为实现场地和停车位资源的统一管理，要求建立专门的管理模块。该模块主要进行各个车场的基本信息配置，包括名称、位置、收费标准、车位数量、充电桩数量等。停车场资源管理的类图见图 3-7。

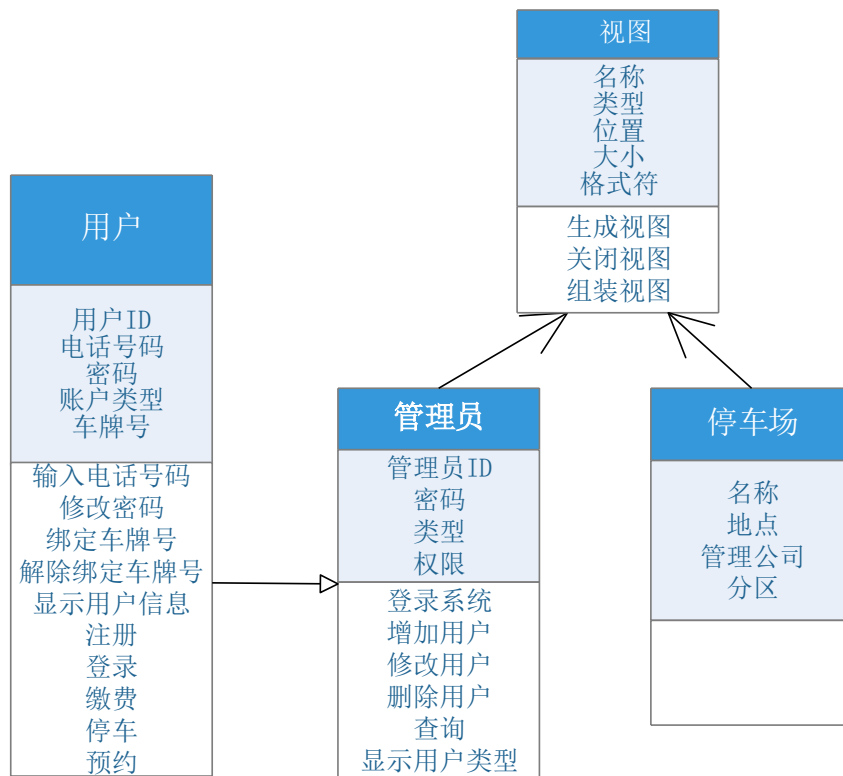


图 3-7 停车场地资源管理类图

用户登录后，首先要确认身份属性，判别是否是管理员及是否拥有权限，避免用户的误操作对基础数据造成破坏。因为停车场信息是基本信息，其正确与否关系到系统能够正常工作，因此还要有业务经理进行审核，审核通过后，才能完成更新。最后，由系统生成视图，与操作员进行交互。流程图见图 3-8。

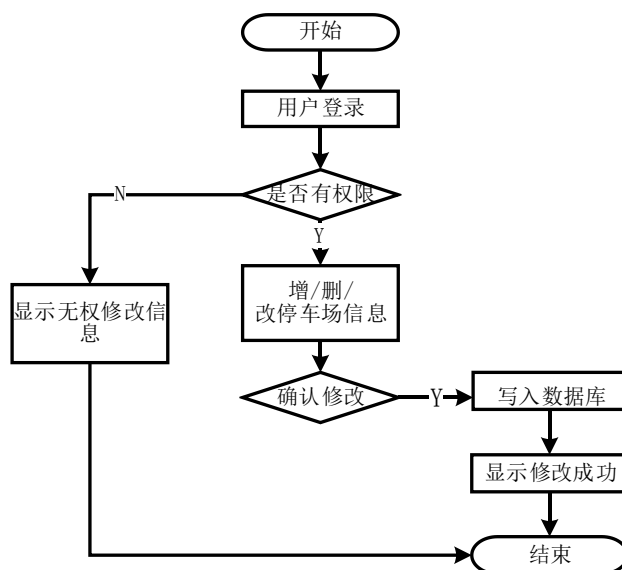


图 3-8 停车场管理流程图

管理的主要内容包括增加、删除、修改、查询停车场的地理坐标数据，车位的数量和区域分布，收费标准，服务时间等。时序图见图 3-9。

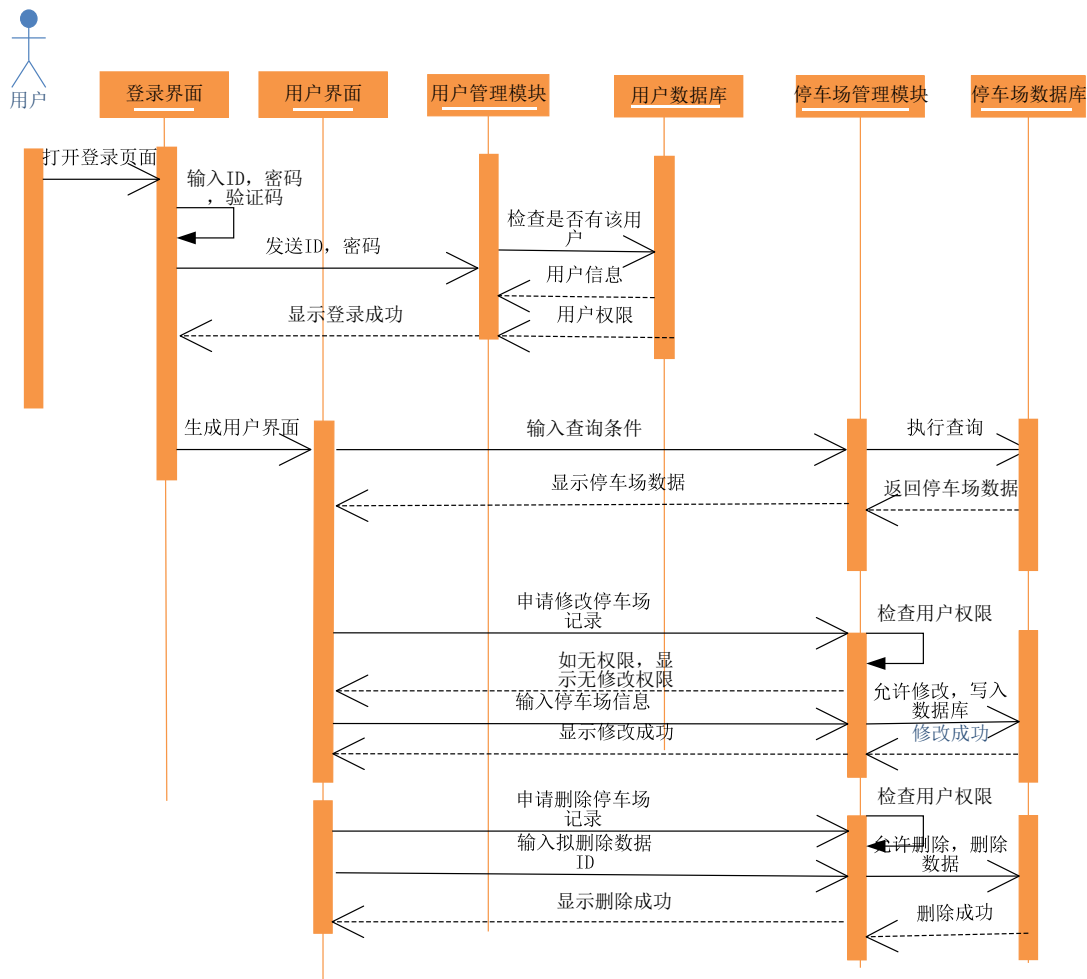


图 3-9 停车场管理时序图

最终实现的停车场地资源管理界面见图 3-10。



图 3-10 停车场地资源管理界面

3.3 设备资源管理模块的设计与实现

停车场内的设备很多，包括摄像机、识别一体机、道闸、地感线圈、显示屏等检测、进出场控制设备，车位锁、充电桩等停车服务设备，用于通信和定位的 WiFi AP，网络层的交换机、路由器、防火墙等。需要记录各个设备的名称、属性、参数、物理位置、IP 地址、工作状态等。类图见 3-11。

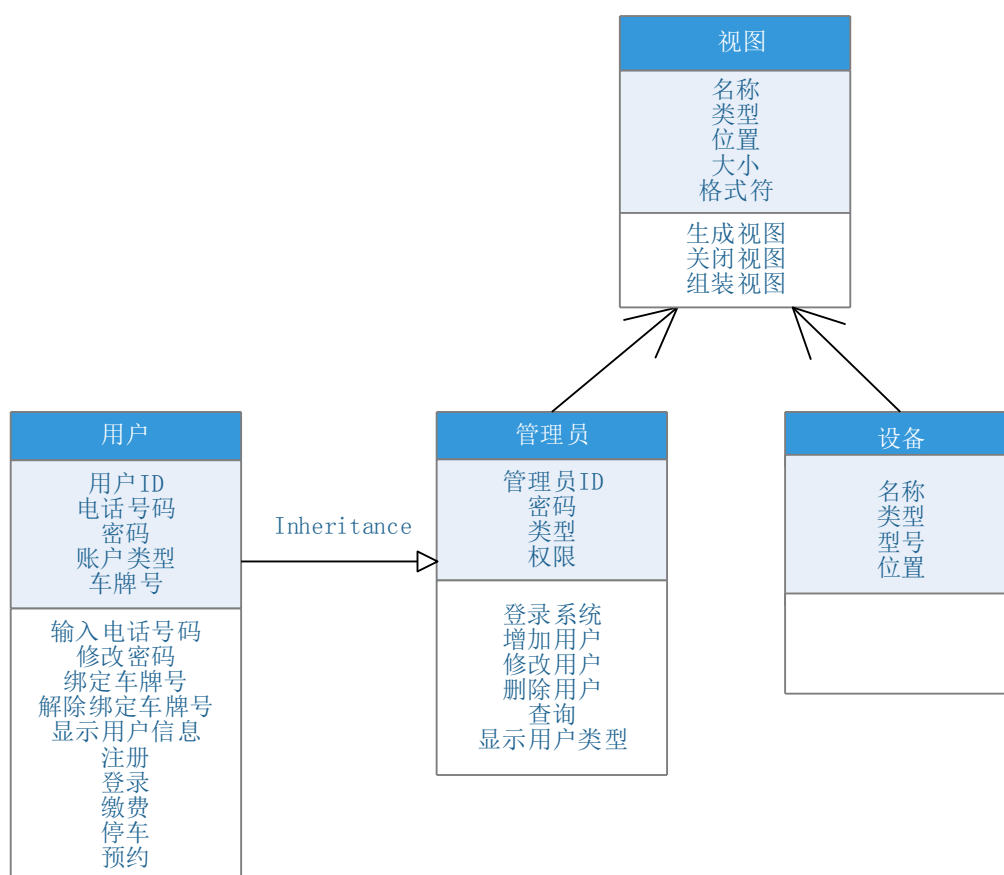


图 3-11 设备资源管理类图

用户登录后，首先要确认身份属性，判别是否是管理员及是否拥有权限，避免用户的误操作。确认权限后，操作员对设备信息进行增删改查，由业务经理进行审核，审核通过后，才能完成更新。设备都有相对固定的属性，为避免输入错误的参数，需要对输入数据进行校验。设备资源管理还有生成报表，资产管理功能。流程图见图 3-12。

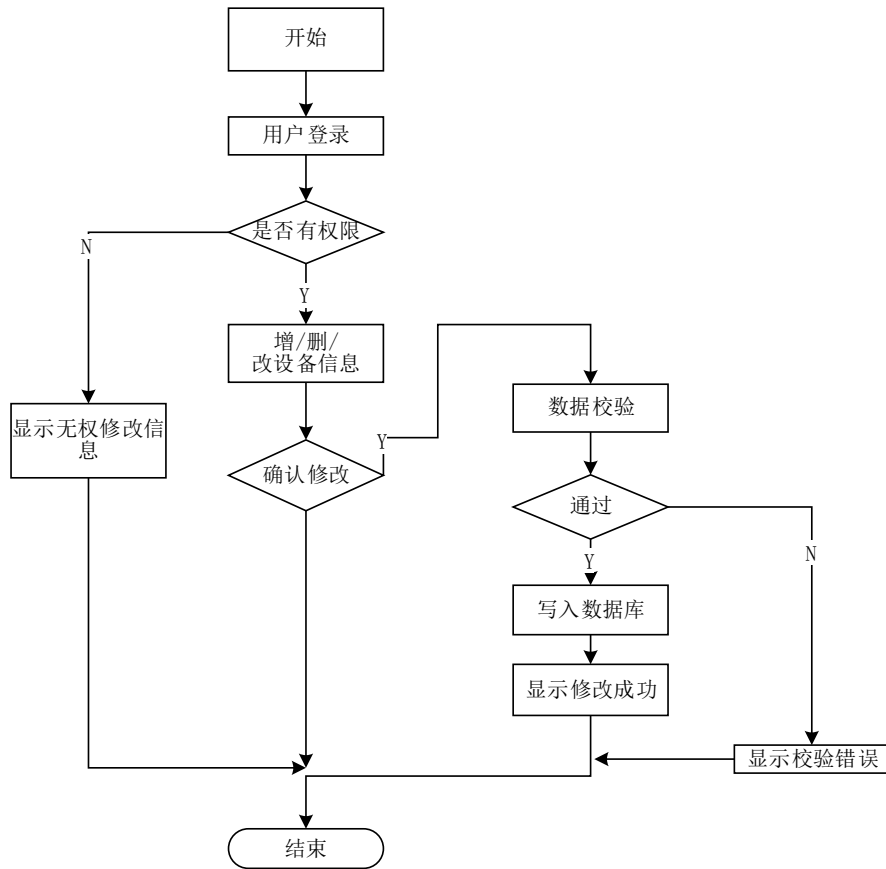


图 3-12 设备资源管理流程图

设备管理模块的时序图与场地管理模块的时序图基本类似，在此略过。

3.4 本章小结

本章主要说明系统资源管理模块的设计过程，给出了各个模块的流程图和时序图。这些模块主要完成用户资源、场地资源和设备资源数据的数据增删改查操作，设计了必要的检验验证方法，避免误操作和非法操作。

第 4 章 停车场服务模块的设计与实现

4.1. 用户服务模块的设计与实现

4.1.1 线路规划和导航

本项目考虑到要实现停车场内的导航，采用了两种导航方式。

由于目前的导航软件已经可以实现丰富的定位、导航功能，故在室外导航时采用调用第三方导航软件的方式。对于室内导航，由于目前还没有成熟、有效、标准化的方法，以及用户对室内停车场数据保密的要求，在室内导航部分采用自行开发的模块。

停车场内采用相对低成本的 WiFi 导航技术，当车辆行驶到车场入口或其他指定区域时，打开 WiFi 功能，开始定位，并通过移动通信网访问室内地图，切换到室内导航模块，最终实现到车位的导航。线路规划流程见图 4-1。

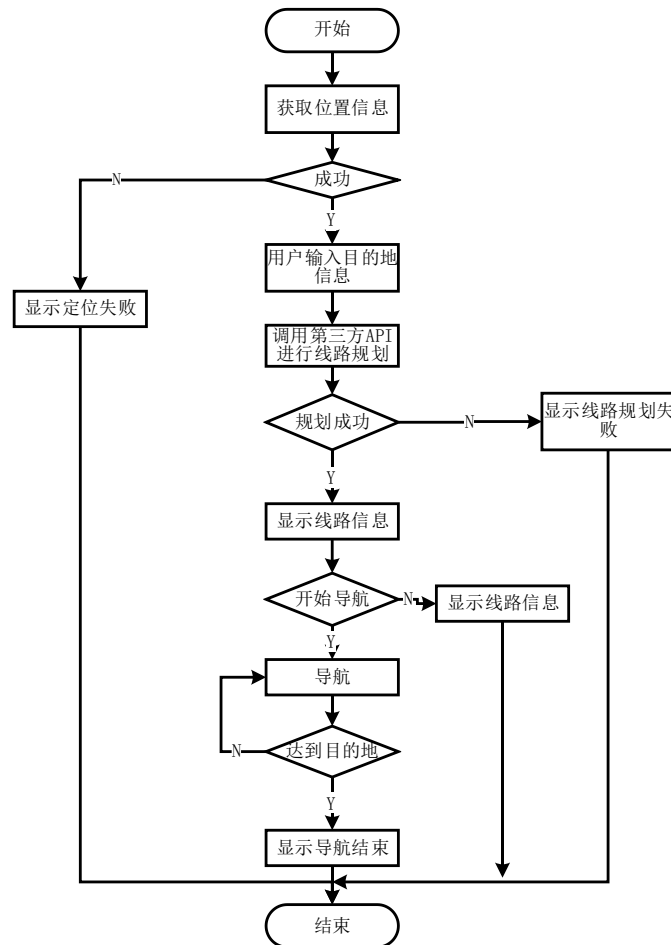


图 4-1 线路规划流程图

时序图见图 4-2。

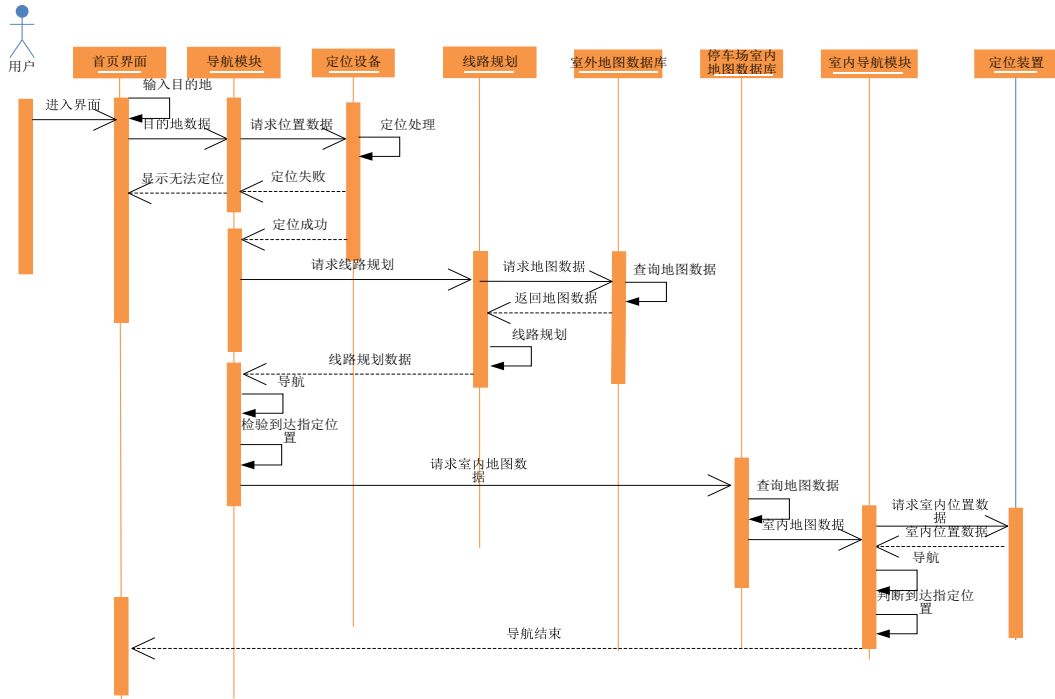


图 4-2 线路规划和导航时序图

为满足预约车位的用户导航到车位的需求，本项目基于 WiFi 室内定位技术，开发了室内定位和导航到停车位的功能，时序图见图 4-3。

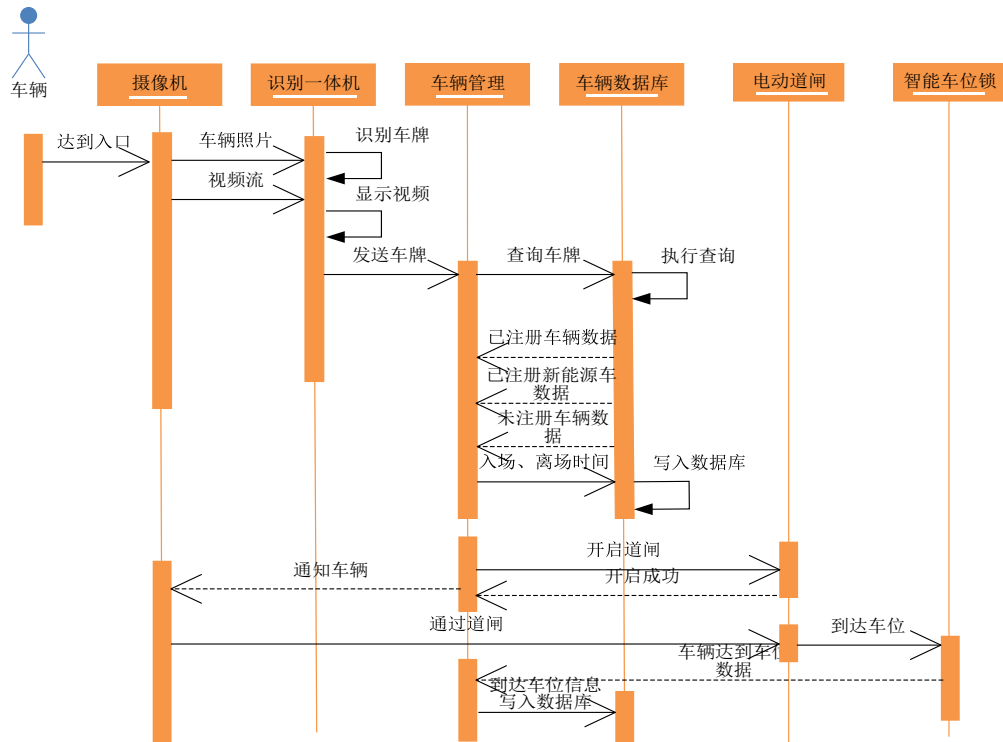


图 4-3 室内导航时序图

服务器端的管理线路规划服务模块将导航线路以图片形式发送到手机客户端，见图 4-4。



图 4-4 客户端导航线路图

4.1.2 充电模块

用电模块的功能是查询空闲充电车位，预约充电时间，导航车辆到停车位，显示停车场信息等。同时，为了吸引新能源车辆使用充电服务，设计了多种充电模式，包括定时充电、定量充电等。流程见图 4-5，时序图见图 4-6。

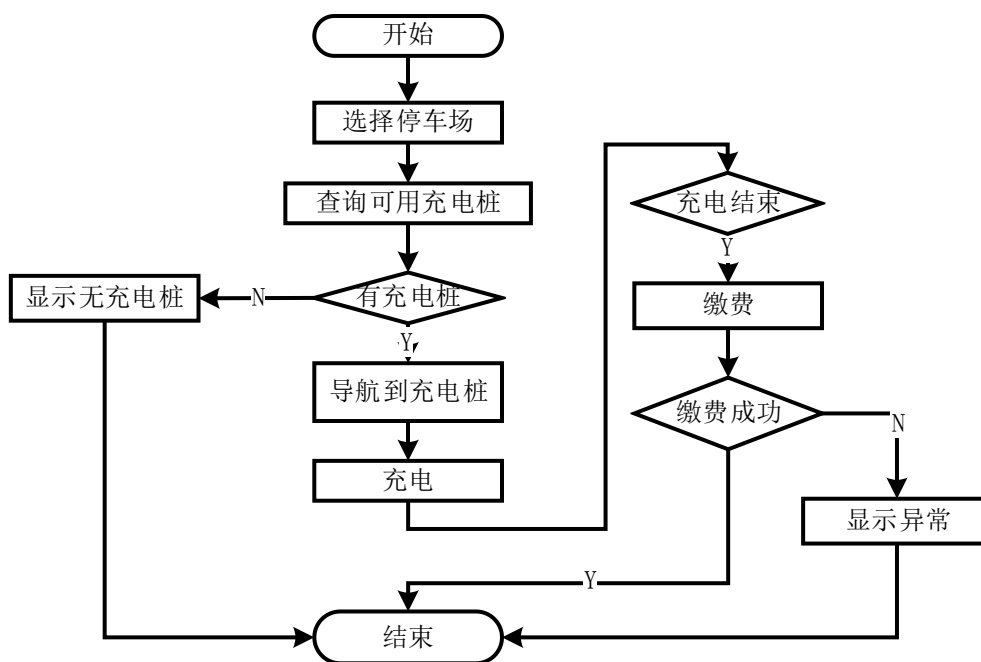


图 4-5 充电模块流程图

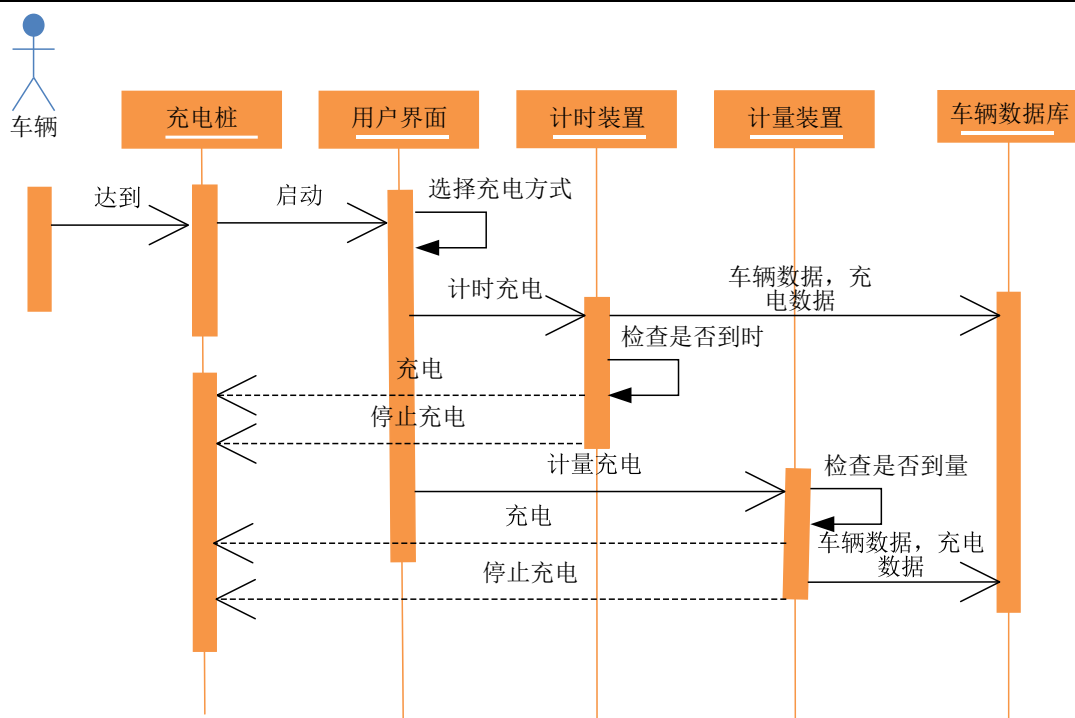


图 4-6 充电模块时序图

4.2 室内定位与导航服务模块的设计与实现

4.2.1 定位技术简介

随着全球四大卫星定位系统先后投入应用，在室外利用卫星信号进行定位和导航，技术上已经变动非常成熟，配合一些增强技术，精度可以达到米级甚至更高。加上导航芯片的集成度不断提高、成本不断下降，不但在智能手机上成为标配，在汽车、运输车辆、电动车、共享单车等领域也获得广泛应用。

据统计，人们 70% 以上的工作、生活时间是在办公室、写字楼、学校、商场、车站等室内场景度过的，因此室内导航有非常大的实用和商业价值。尤其是像商场、写字楼、火车站、体育馆、机场这些大型建筑，结构十分复杂、人员密集，对室内定位、导航的需求十分迫切。

在室内进行定位的工作原理是利用一些半导体传感器采集各种信号，如无线电波、光波、磁场、声波、伪卫星信号等，来确定建筑物、矿井、洞穴里面的人员、物体位置信息^[16]。室内定位技术有几种分类方式，常见的是按照信号种类，可分为采用无线电波的 WiFi、蓝牙、ZigBee、RFID、超宽带等，采用其他信号的磁场、红外线、超声波、伪卫星、惯性导航等^{[17][18]}。按照定位机制的不同，可分成临近探测、指纹定位、三角定位、多边定位、场景分析等。为了提高精度，还可以将几种定位技术组合起来使用，但成本会很高，定位装置的体积、功耗也是个大问题。由

于室内环境复杂，容易受多路径效应影响，目前还没有一种普适的，在成本和精度之间取得较好平衡的成熟方案^[19]。各种定位技术的特点见表 4-1。

表 4-1 室内定位技术对比

名称	定位方法	精度	相对成本	优点	缺点
红外线	图像处理、临近探测	5-10m	高	定位精度较高	距离短，直线视距，易受干扰
超声波	多边定位	1-10m	高	定位精度高	受环境温度影响，距离短
蓝牙	临近探测，质心法，多边定位	2-10m	低	设备体积小，容易集成和普及	传播距离短，稳定性差
WiFi	指纹定位	2-50m	低	被广泛部署，部署和使用成本低，通信能力强	易受环境干扰
RFID	临近探测，指纹定位	5cm-5m	中	成本不高，精度高	距离短，标识没有通信能力
UWB	多边定位	6-10cm	高	精度高，穿透性强	成本高，覆盖范围小
ZigBee	临近探测，多边定位	1-2m	低	低功耗，低成本	易受环境干扰，稳定性差
光跟踪	图像处理	1m	高	数据速率高，抗干扰	覆盖范围小
伪卫星	载波相位测距	2cm	高	普适性强	成本高
地磁	指纹定位	1-5m	低	无需依赖环境和硬件，成本低	稳定性差
基站	临近探测，OTDOA，质心法	10-50m	低	普适性强，成本低	依赖基站密度
惯性传感器	航位推算	2-4m	低	不依赖外部环境	存在累计误差，不宜长期使用
计算机视觉	图像处理，场景分析	1cm-1m	高	不依赖外部环境	成本高，稳定性差
地磁	指纹定位	1-5m	低	无需依赖环境和硬件，成本低	稳定性差

在建筑物内，由于平面和结构设计有很多变化，结构复杂，导致信号多径效应明显。目前看，无论是使用电磁测距或测角、惯性测距或测角，要达到较高的精度，都需要专用设备，成本也很高。指纹定位方法可以使用手机等普通终端，定位成本较低，精度较高，适合大众市场，但需要花费较多的人力物力去维护指纹库。

从实际应用情况看，WiFi 定位、蓝牙定位的部署和使用成本相对较低，定位精度可满足大多数应用的需求，再加上智能手机等移动终端普遍具有 WiFi 和蓝牙，

因此在一些大型商场、地下停车场中,这两种技术已经在室内定位、广告推介等领域获得了一些实际应用。

iBeacon 等蓝牙定位技术的缺点是没有通信功能,导致后期维护成本高;覆盖范围小,要提高覆盖和精度就需要大量部署,前期投入大;用途相对单一,经济性差^[20]。

WiFi 定位的优点很多:覆盖范围大,最远可以达到 100m,能够显著降低系统成本;具有通信功能,便于后期的维护和升级;技术非常成熟,设备成本低廉,容易部署和维护;通过纯软件方式实现,不需要专用、昂贵的收发设备,成本比红外线、UWB 等低很多;首次定位时间短,可以达到 2 秒左右;在写字楼、商场、酒店、体育场等公共设施,以及住宅、办公楼等,实现了普及和广泛部署^[21]。近几年,国内外很多研究单位对 WiFi 指纹定位技术、组合定位技术进行了大量研究,通过增加 WiFi AP 部署密度,采用聚类优化算法,在建筑结构比较规则的办公楼、教学楼等室内场景下,定位精度可以达到 1.5-2m^[22]。但要实现较高精度的规模应用,部署和维护成本仍然很高,短期难以大规模推广。

从停车场管理系统的需求看,对定位的精度要求不高,3-5m 即可。定位是一个附加值较低的辅助性功能,而且要让用户免费使用,因此系统成本要低,技术要比较成熟。能在手机等移动终端上提供服务,不需要单独的用户端设备,使用户没有额外支出和使用门槛。因此, WiFi 定位技术是目前最佳的选择^[23]。

室内定位还需要用到地图数据,目前常用的室内地图有二维地图、三维地图和全景地图共 3 种形式,在制作方式上与常规的室外地图有很大不同。

二维地图是室内定位地图的主流方式,其优点是制作相对简便、成本低,数据量小,所占存储空间少,适用于处理能力弱、存储空间较小的移动设备。具体制作过程是先采用室内 CAD 平面数据和对应属性信息作为原始数据源,然后对数据进行 GIS 化处理并配合地图符号,然后使用与室外地图一致的地理坐标体系,生成二维地图数据,存储在服务器中并发布。地图要能同时满足 Web 端与移动端的调用要求,以便节约开发成本和制作成本。

具体到本系统,在室外场景下通过手机的导航模块接收 GPS、北斗卫星信号,进行定位。在室内场景下,通过手机的 WiFi 接收器接收周围 WiFi AP 的射频信号,使用 WKNN 算法对信号强度值进行处理,

4.2.2 WiFi 定位算法

(1) 定位原理

WiFi 定位原理是通过手机、平板电脑、射频信号采集器等设备获取周围 AP 的

MAC 地址和无线电射频信号的强弱，由于每个 AP 的 MAC 地址都是唯一的，这样就可以将 AP 信号的强弱与保存在服务器中已测量的 AP 坐标值进行匹配，再利用相关算法推算出位置信息^[24]。

WiFi 定位有位置指纹法和几何测算法^[25]。指纹定位法是先构建出一个 Radio Map，然后在定位阶段采集定位点的特征指纹，与 Radio Map 里的数据进行匹配，得出位置坐标，精度和适应性较好。常用的指纹定位方法是接收信号强度法，这种方法适应性好，但是精度受参考校准点的分布影响，定位精度从 2m 到 10m 不等，不需要部署过多硬件设施。这种方法需要事先测量各个参考点位置上的信号特征（各 WiFi AP 的信号强度），并存到指纹数据库里。定位时，先采集人员、车辆、物品所在定位点的信号特征，再与指纹库中参考点的信号特征相匹配，从而确定位置。

几何测算法是先构建 WiFi 射频信号的传播模型，然后将测量得到的 AP 信号强度数值代入数学模型，通过计算得出当前位置点与某个 AP 接入点之间的距离，算出与三个或更多 AP 接入点之间的距离后，根据已有的 AP 坐标，再使用三角、多边形测距定位算法，得出目标点的位置坐标。但由于多径、衰减等多种因此的影响，很难构造出室内场景的准确传播模型，因此几何测算法的精度不高，有时甚至无法使用。基于 TOA（Time of Arrival，到达时间法）测距的定位方法是典型的几何测量法，受多径效应和时钟分辨率低的影响，定位效果较差。很多试验表明，TOA 测量精度受室内无线电信号传播的多径效应和无线局域网的稳定性的影响很大。虽然可以通过滤波器和对测量结果进行平滑处理，能够在一定程度上提高测距精度，但是要达到实用的程度，仍然有相当的难度^[26]。

RSSI 测距的定位过程是先测量出定位点周围 AP 的信号强度 RSSI，根据 RSSI 与距离的信道衰减模型，计算出定位点到各个 AP 的距离，最后再用三角定位或多边形定位算法算出定位点的坐标。环境不同，设备不同，信号衰减与距离的关系是不一样的，导致很难得到一个准确通用的信道衰减模型，因此这种方法的定位精度和稳定性较差。

（2）RSSI 指纹匹配

地下停车场里的环境相对固定，部署完 WiFi AP 后，WiFi 信号特征不会发生明显波动或变化，因此尽管前期建立指纹库的工作量比较大，仍然是一种成本效益比较好的解决方案。因此本项目采用基于 RSSI 的指纹定位法。

指纹匹配定位可分为训练过程(training phase)和定位过程(positioning phase)。训练过程是预先将场地按网格进行划分，然后在每个网格点上采集 Wi-Fi 信号强度等信号特征指纹，并存入指纹库。

定位过程是先在定位点测量附近 AP 的 WiFi 信号特征值，然后与指纹库里的网络指纹进行对比，通过分析计算，找出匹配度最高的位置点，估算出室内位置。这种方式的优点是不需要 WiFi 接入点的坐标，也不用构建信号的信道衰减模型，其缺点是 WiFi 信号易受环境变化的影响，在 AP 分布稀疏的空旷区域的准确率低，并且前期建立指纹数据库及后继维护更新的工作量较大，不适合环境变化大的场景。

有些 Wi-Fi 接收模块还提供信道状态信息(channel state information, CSI)。有研究表明，把 CSI 信息作为特征指纹，能够有效提高定位精度。

(3) 典型指纹定位算法

位置指纹(Location Fingerprint)定位算法是对 AP 无线信号的 RSSI 进行数值处理，再与指纹库中 AP 的位置坐标匹配，估算出定位点的位置坐标^[27]。常用的指纹定位匹配算法有 NN 法、KNN 法、加权 K 近邻 (weighted k-nearest neighbour, WKNN) 法、神经网络法、支持向量机法 (support vector machine, SVM)、朴素贝叶斯 (Bayes) 法^[28]等。这些算法的基本特点是基于 RSSI，进行指纹的匹配或映射，从而计算出定位位置，见表 4-2。

表 4-2 典型室内定位算法

算法	匹配原则	特点	位置估计	定位精度	工作量
NN	欧式距离最小	确定性指纹匹配算法	欧式距离最小的参考点	低	大
KNN	欧式距离最小	确定性指纹匹配算法	K 个欧式距离最小的参考点位置坐标算数均值	稍高	大
WKN N	欧式距离最小	确定性指纹匹配算法	K 个欧式距离最小的参考点位置坐标加权值	高	大
SVM	结构风险最小化	机器学习	决策函数估计	很低	小
Bayes	贝叶斯定理	概率算法	后验概率最大的点	略低	大

NN 算法是最基础的指纹匹配算法，是最早被提出的，并在 RADAR 定位系统中得到应用。1968 年，Cover 和 Hart 在 NN 算法基础上提出了 KNN 匹配算法，这是一种分类和回归的统计方法，先找出 K 个信号强度欧式距离最小的点，再将这些点位置坐标的算数平均值作为位置坐标，在一定程度上提高了定位精度。WKNN 在 KNN 算法基础上做了进一步改进，选取欧式距离最小的 K 个点，算出其加权质心，把这个质心作为定位点的估计位置^[29]。具体到室内定位应用，WKNN 算法的输入是采集到的 WiFi AP 的信号强度值，输出是定位点的估计坐标值。

从 NN 到 KNN，再到 WKNN，算法的复杂度越来越高，精度越来越高，代价是计算量越来越大、响应速度降低。为了提高响应速度，及考虑到手机等移动终端

上有限的计算资源，需要在算法的精度、复杂度之间取得平衡。

贝叶斯法的原理是先计算在各种情况下发生某个事件的先验概率，推算出导致发生该事件的原因属于某种情况的后验概率。具体应用过程：先进行多次测量，得出 RSSI 向量在某个网格区域的先验概率；定位时，使用高斯核函数等似然函数，计算定位点落在某栅格的后验概率，估计出目标所在位置。这种方法消除了一部分随机分布的误差，可提高定位精度和健壮性^[30]。

SVM 是一种可训练的机器学习方法，由 Vapnik V 在 1995 年提出。SVM 方法需要使用多个学习机，对采集的训练样本集进行学习，之后使用决策函数给出判别结果，其优点是能避免复杂的非线性计算、高维计算，以及出现局部极小值等问题，在小样本训练集上能够得到很好的结果，避免了过学习问题，等等。但随着样本数量的增加，求解二次规划的复杂度会变得非常大，导致计算量增加、响应时间延长，不适合要求快速响应的应用。针对向量机不等式约束计算量很大甚至有时无法计算的问题，Sengur A 在 SVM 基础上提出了最小二乘支持向量机，将不等式约束计算转换为便于计算的等式约束，将求解二次规划转化为解线性方程，提高了计算速度和收敛精度^[31]。参考文献^[32]提出一种新方法，其核心思想是先采用主 PCA 提取出定位特征指纹，再利用最小二乘支持向量机方法构造定位模型，最后使用粒子群算法对支持向量机的参数做进一步优化，定位精度有所提高，并缩短了定位时间。

另外，学术界还提出了其他的定位算法。王淑婷提出一种基于 k 均值(k-means)聚类的位置指纹算法，其特点是能够减小匹配的搜索空间和计算量，从而提高了定位速度^[33]。文献^[34]提出的定位算法是对区域划分方式进行改进，能够在更大范围内实现定位。参考文献^[35]提出了一种新的模糊聚类 KNN 算法，通过选取与空间特征相关性较高的 4 个信号参数，构建无线电信号传播的多径数据库，再用分量分析法对原始信号数据进行降维，以便消除不需要的对准确性影响很大的奇异性接入点，最后一步是采用模糊 C 均值聚类算法(Fuzzy C-means, FCM)对数据进行处理，计算量减少到传统方法的 1/c (c 是模糊聚类的类别数)，能够大幅提高计算效率与定位精度。参考文献^[36]提出的处理方法是信号功率谱的对数平均值进行 K-L 变换，减少混入噪声对精度的影响。这些算法大多停留在研究和试验阶段。

评价各个算法的主要指标是定位精度、响应时间。从实用性角度看，定位精度要达到 5-10m，响应时间在 10 秒以内，才有实用价值。根据现有文献，算法复杂度每提高一级，定位精度大约增加 10%-20%。目前计算机的算力很强，可以在很短时间内完成结算和匹配，因此影响响应时间的主要因素是采集信号的速度和数据传输的速率。

由于室内环境复杂多变，各种算法的稳定性、健壮性都不是很理想，比如人体、

金属物体的遮挡,就会造成误差增大。无线电设备的性能、部署位置也会影响精度,因此目前学术界大多是在某个实际场景下进行研究和测试,目前还没有一个通用的测试方法和标准。

由于在停车场的应用场景中,WiFi 定位和导航只是辅助功能,3-5m 的定位精度已经可以满足导航、寻车的精度要求。经过分析和测试,WKNN 算法已经可以满足精度要求,在复杂度、成本、响应时间之间能取得较好的平衡,因此本项目采用 WKNN 算法。

下面简要介绍 WKNN 算法。

WKNN 的基础是最近邻法(Nearest Neighborhood, NN)。NN 算法一般分两步,第一步是计算 RSS 数据与指纹库中各个 RSS 指纹的欧式距离,见式 4-1。

$$d_i = \sqrt{\sum_{j=1}^d (\overline{RSS}_i^j - RSS^j)^2} \quad (4-1)$$

式中, \overline{RSS}_i^j 是在第 i 个参考点采集到的第 j 个 AP 的指纹。 RSS^j 是在线定位阶段实时接收到的来自第 j 个 AP 的 RSS。 i 自 1 至 d , d 是全部参考点的总数。从数据集中选取 d_i 值最小的一个参考点,将该点的坐标当作定位点的坐标。NN 算法最简单,但定位精度受参考点分布的影响较大,稳定性也不好。

学术界在 NN 算法基础上提出了 K 近邻算法(K Nearest Neighborhood, KNN),即在 NN 算法的最后阶段,选取 K (经验值 $K \geq 2$,一般取 3) 个值最小的参考点,然后用 K 个参考点的坐标平均值作为定位点的坐标:

$$(\hat{x}, \hat{y}) = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K (x_i, y_i) \quad (4-2)$$

式中, (x_i, y_i) 是从数据集选出的最近邻参考点的坐标。 (\hat{x}, \hat{y}) 是定位点坐标的估计值。K 近邻法通过计算平均值的方式减少临近点的影响,但这种方式过于简化,没考虑到不同参考点的影响实际上是不同的。

在 KNN 算法基础上,学术界又提出了加权 K 近邻算法(Weighted K Nearest Neighborhood, WKNN),其特点是根据临近参考点的相对距离,赋予不同的权值:

$$(\hat{x}, \hat{y}) = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K \frac{\hat{\eta}}{d_i + \varepsilon} (x_i, y_i) \quad (4-3)$$

式中, d_i 是 K 个最临近参考点与定位点的 RSS 向量的欧式距离, $\hat{\eta}$ 是这些欧式距离的归一化参数。为了避免系数的分母出现异常零值,还要加上一个正实数常数 ε 。从式 4-3 可以看出,加权系数的大小反比于欧式距离,即更近参考点的数据

权重更高，有助于进一步提高定位精度。

(4) 定位过程

定位过程包括离线采样阶段和实时定位阶段^[37]，参见图 4-7。

在离线采样阶段，先划定定位服务的区域，在该区域内均匀地设置一定数量的网格形分布的参考点，按照<指纹，地点>的数据格式，在区域内不同位置的参考点收集信号指纹数据，即建立离线指纹库。然后在每个参考点采集 AP 信号强度数据，生成 AP 信号强度向量，作为该参考点的位置指纹标识。为提高精度，在离线阶段需要选取尽可能多的参考点，并记录这些参考点的指纹数据。这样就造成的负面影响是随着覆盖区域的增大，工作量会成倍增多。

在实时定位阶段，当用户需要定位时，先用手机获取各个 AP 发出的信号强度，再通过手机的移动通信网络，将信号强度数据发送至服务器端，在服务器端与前面离线阶段建立的指纹库中的数据进行匹配，计算出手机的位置坐标。

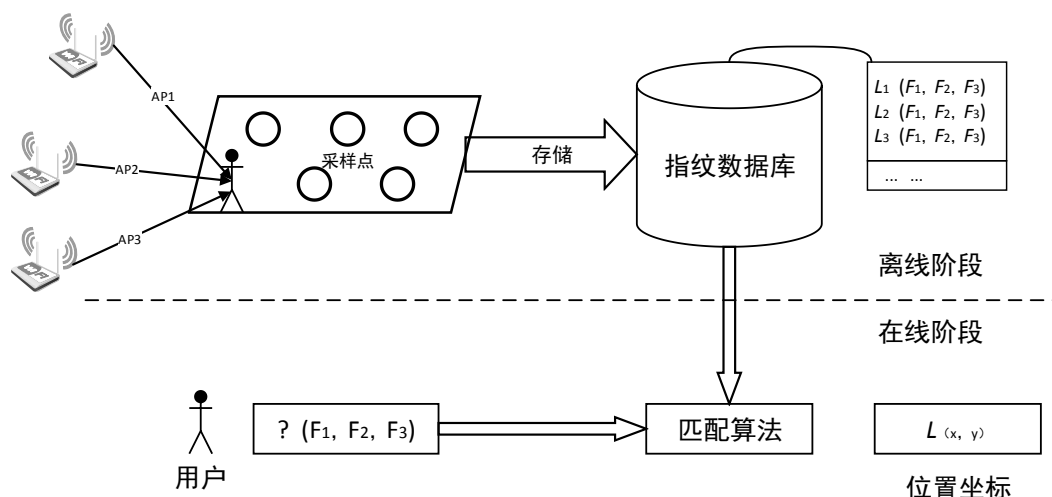


图 4-7 指纹定位流程

(4) 指纹数据库

指纹数据库的建立方法有 RSS 传播模型法和采集法两种。模型法是根据物理理论方程或数理统计，构建出无线电射频信号的空间传播模型，利用模型估算出每个参考点的 RSS。采集法是使用手机等终端或专用检测设备，直接测量出参考点的实际 RSS 数值，将数据录入数据库，形成指纹数据库。

目前有两种构建模型的方法。一种是根据麦克斯韦方程，建立精确的信号传播数学模型的确定性方法，但这种方法只适用于空旷的室内环境，考虑到实际当中几乎不存在这种场景，以及人员、物品等造成的干扰无法解决，因此仅限于理论研究，无法实际应用^[38]。数理统计方法不追求精准的理论模型，而是构建含有若干参数的距离衰减模型，然后对大量的实测数据进行统计分析，筛选出最吻合实测数据的

各个参数的经验值或估计值。由于在室内场景下，无线电的传播环境十分复杂，多径、干扰、衰减等交织在一起，这两种方法的 RSS 传播模型的预测精度较低，通用性、健壮性都不好，基本无法实用。

因此，直接信息采集法成为目前最常用的 Radio Map 构建方法。这种方法的程序是先根据定位区域的形状和大小，在区域内相对均匀地设置一定数量的参考点。采集每个参考点的 RSSI 样本，与参考点的坐标组合在一起，成为一条位置指纹，所有指纹的集合即为 Radio Map。直接采集法的优点是精确性高，定位稳定性好。为进一步克服各种干扰和时变因素的影响，还可以参照传播模型的预测数据做出修正，进一步提高定位精度。

考虑到应用场景相对简单、稳定，可以使用 WiFi 魔盒等 APP 进行人工数据采集，使用 PC 将数据录入 AP 指纹库。

4.2.3 WiFi 定位 AP 部署

某停车管理公司管理着一个大型地下室内停车场，为方便用户寻找车位、反向寻车，拟通过 WiFi 定位为用户提供车辆定位和车位导航服务。图 4-8 是停车场 CAD 平面图，标识出车位、行车道和结构柱。

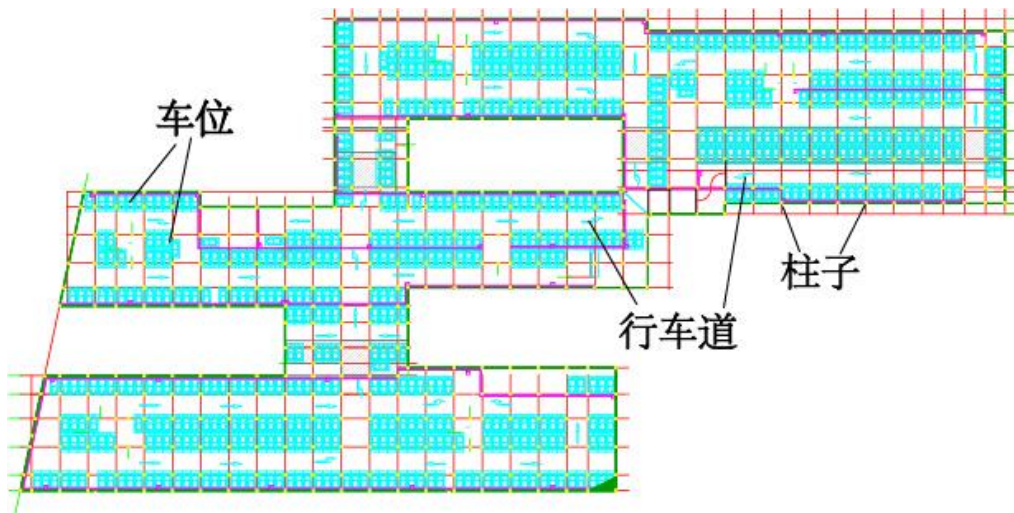


图 4-8 停车场平面图

图 4-9 是地下停车场的实景图，图中有很多门洞、过梁和结构柱。



图 4-9 地下停车场的门洞和过梁

接入点 AP 的部署需要根据精度和成本来定。在本项目中的部署参数如下：

(1) 高度 H：AP 设备的离地面高度一般在 2.5~3m 范围内为宜，地下停车场的过梁高度约为 5m，因此故本系统的 AP 设备实际安装在距地面 3m 的位置。但是通道上门洞的下沿距地面距离小于 3m，对 AP 无线信号有一定遮挡。

(2) 水平距离 L：无线电信号的传播是球形衰减的，因此每个 AP 在平面上的定位范围是一个圆形，AP 的覆盖范围越大，就可以部署得相对稀疏一些。

(3) 定位范围：无线电信号的强度随着距离增加，成指数衰减，传输衰减模型如图 4-4 所示。经过反复试验，发现在 30m 距离内，移动终端检测到无线 AP 信号强度在 -75dbm 以内时，定位效果较好。超出这个范围，定位精度就会变得很差。

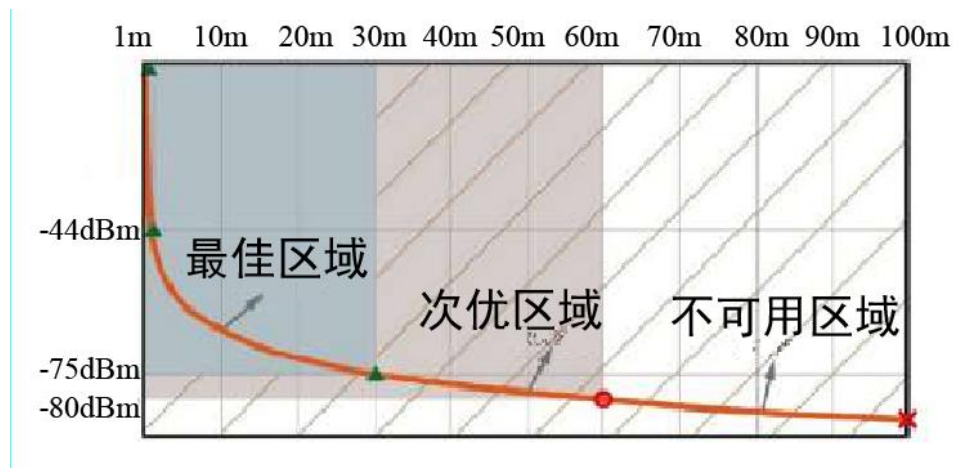


图 4-10 信号强度的距离传输衰减模型

用户停车或者寻车时是沿着通道在行走，因此实际定位区域设置在通道即可，不需要对所有的停车位都定位，如图 4-11 所示。根据设计规范，室内停车场的车道宽度一般为 6~7m，要达到 3~5m 的定位精度，通道两边都要进行 AP 设备的信号强度采样。

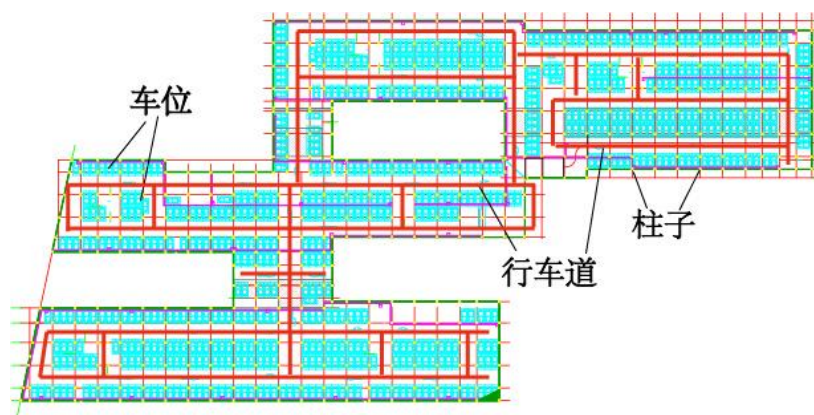


图 4-11 定位区域示意图

图 4-12 是停车场 AP 部署分布的平面图，AP 全部都安装在车道上方，每个 AP 的信号覆盖范围限定在 600 平方米左右，覆盖半径小于 15m。停车场总面积是 24000 平方米，则需要部署 40 个 AP。在实际部署时，还需要考虑梁柱等建筑结构对信号的遮挡，以及边角位置的覆盖损失，因此一般需要多安装 10%~15% 的 AP 设备。

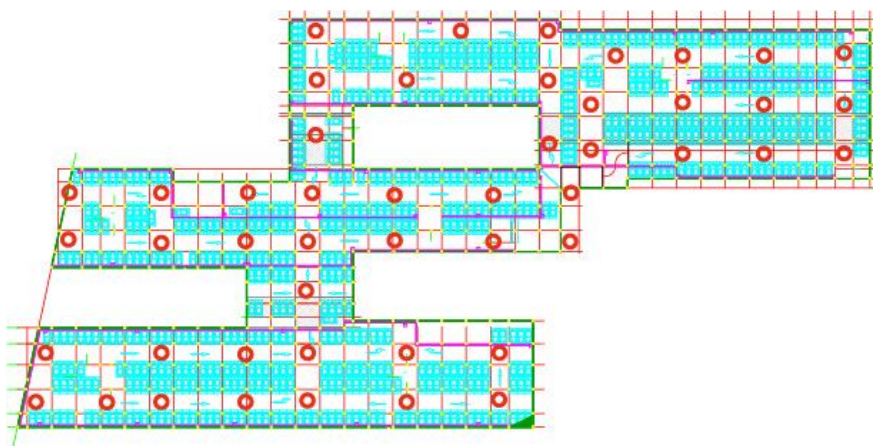


图 4-12 AP 部署分布示意图

4.2.4 WiFi 指纹定位

(1) AP 部署完毕后，就可以进行 WiFi 定位，整个过程包括离线数据采集、在线实时定位、指纹数据库更新。在离线训练阶段，先依据 AP 接入点的实际安装位置，绘制出平面图。停车场面积约 24000 平方米，总共使用了约 50 个 AP。对每个 AP 的位置进行采样，记录每个采样点的信号强度值，各个 AP 的 MAC 地址，以及 RSSI 无线信号强度的平均值，形成离线定位数据集。减少测量误差或极值对精度的影响，还要对再对数据做滤波。一般认为，RSSI 服从高斯分布，因此可以对

信号值进行高斯滤波，能有效减少由测量误差的影响。在 $[\mu - \sigma, \mu + \sigma]$ 区间，选择概率大于 0.6 的范围，经高斯滤波后，选取落在 $[\mu + 0.15\sigma, \mu + 0.39\sigma]$ 区间内对应的 RSSI 值， μ 和 σ 的取值如下：

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n RSSI_i \quad (4-4)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (RSSI_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n RSSI_i)^2} \quad (4-5)$$

选取这个区间内相应的 RSSI 值，计算出算数平均值，作为该 AP 的信号强度值。

最后，计算出各采样点的 RSSI 强度值，连同采样点的位置坐标数据一起上传到数据库中。

建立 WiFi 接入点指纹数据库的过程如下。在 MySQL 中创建 WiFiAPinfo 数据库，其中包括两个数据表：AP 信息表用于存储采集到的 WiFi 信息；位置表存储 AP 的坐标数据，使用 AP 信息表的设备 ID 编号作为外键，使两个表建立关联。AP 信息表包括 AP 的编号 ID、SSID、MAC 地址、信号强度等信息。最后再对数据做滤波，去掉高概率区间以外的数据点，然后存入离线指纹数据库。本项目的实测 AP 信息见表 4-3。

表 4-3 AP 信息表

编号	SSID	横坐标(m)	纵坐标(m)	MAC 地址	RSSI(dbm)
1	Park1	0	5	59:11:98:69:1D:46	-40
2	Park2	0	5	26:A8:60:85:E2:B6	-58
3	Park3	5	5	39:97:ED:C9:2A:71	-67
4	Park4	10	5	86:A4:5A:F0:56:AA	-75
5	Park5	5	0	DB:24:AB:B5:4F:29	-38
50	Park50	55	50	AD:A3:35:19:15:BB	-55

离线训练的流程图如下。

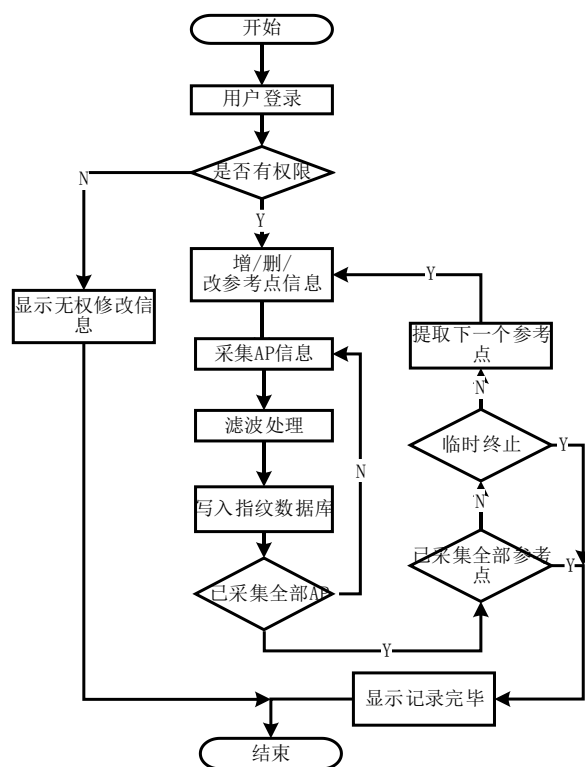


图 4-13 离线训练流程图

在线定位阶段，客户端通过手机的 WiFi 通信模块，扫描周围的 AP，获取信号强度数据，并通过移动通信网络，将数据传送至服务器。在服务器端，定位模块将 AP 信号强度数据与位置指纹库中保存的数据进行比对匹配，得出定位点的位置坐标数据，并发送到手机客户端，定位过程结束。图 4-14 为定位流程图。

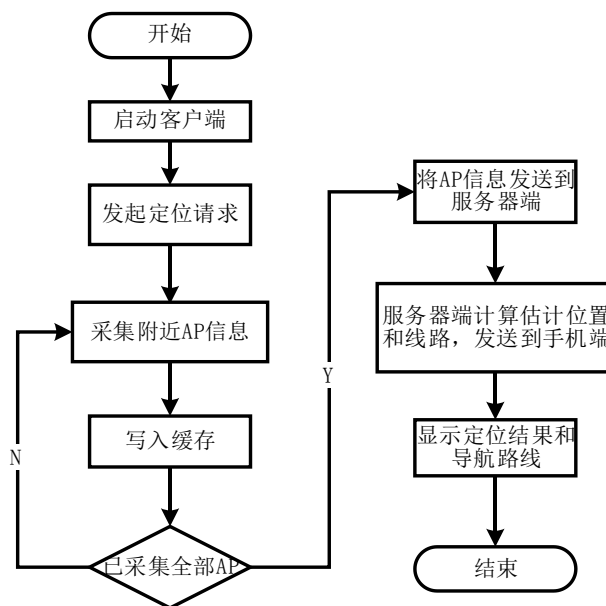


图 4-14 定位导航流程图

(2) WiFi 定位中客户端操作

当用户启用停车导航和寻车功能时，客户端程序就通过 HTTP 通信协议向服务器发送请求。手机每隔 2 秒钟就对周围 AP 的信号强度值和 MAC 地址进行检测，并发送给服务器，然后服务器端的应用程序进行指纹匹配，发送位置坐标给手机客户端。图 4-15 是客户端 WiFi 定位的操作过程。安卓系统提供了接口，可以使移动终端搜索获得附近 AP 的指纹特征，实现方法封装在 WifiLocationManager.java 类里，这个 java 类会管理所有扫描到的 WiFi 热点。

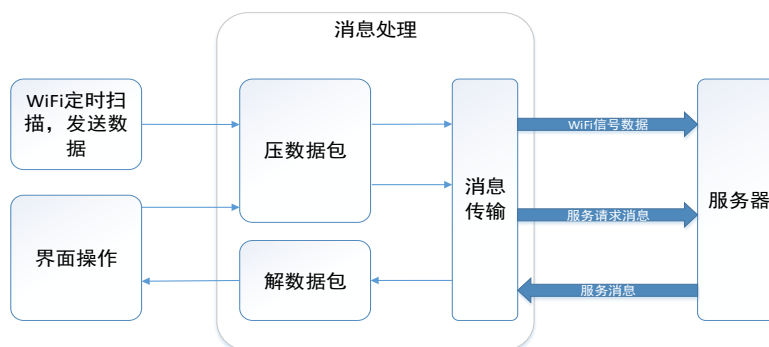


图 4-15 客户端操作

(3) Wi Fi 定位中服务端操作

手机 APP 客户端通过 WiFi 模块采集 AP 信号强度数据，然后把数据发送到服务器端，服务器端把强度数据与指纹数据集进行对比，执行指纹匹配算法，计算出手机到各个 AP 的位置，再用 WKNN 算法得出定位点的坐标数据，并把数据发送到手机客户端。

WifiManager 和 WifiInfo 这两个类的作用是实现在线定位功能^[39]。其中 WifiManager 是一个管理 WiFi 信号的类。拥有 isWifiEnabled、setWifiEnabled、startScan、getScanResults 等 4 个主要方法，作用分别是查看 WiFi 功能是否开启，设置 WiFi 开关、开始扫描、输出扫描结果。可以扫描出 AP 的各种信息，包括：WiFi 接入点的地址(BSSID, 设备的 MAC 地址)，WiFi 接入点的网络名称(Service Set Identifier, 缩写 SSID, 服务集标识)，WiFi 信号点的强弱，即 RSSI 值。

WiFi 定位功能实现过程参见图 4-16。

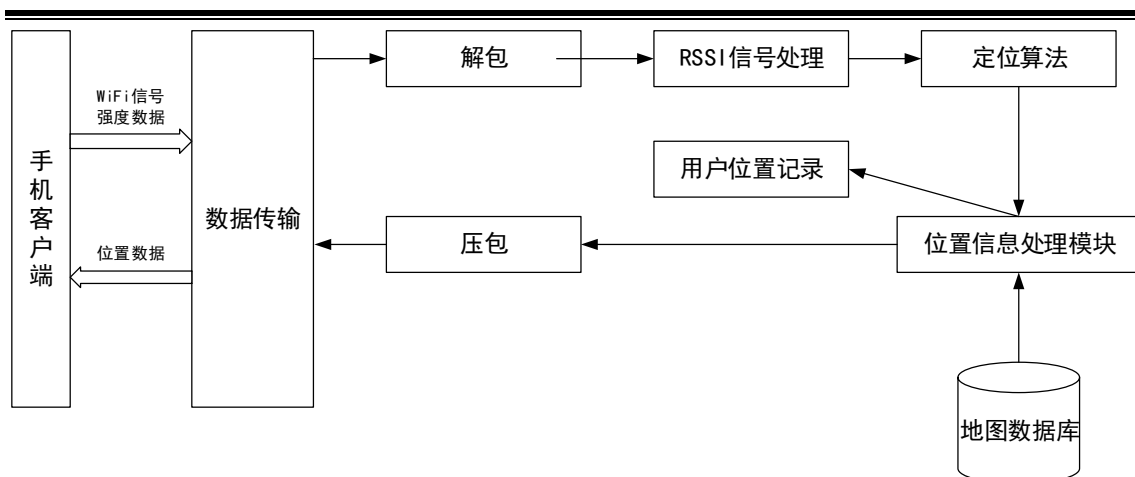


图 4-16 Wi Fi 定位功能结构图

4.3 手机客户端的设计与实现

4.3.1 客户端架构设计

为了将视图布局与业务逻辑分开，手机客户端采用 MVC 设计模式，如图 4-17 所示。使用这种架构进行开发的优点是，后期如果需要改变业务规则或者显示界面，业务逻辑可以不受影响，只需改动 MVC 的模型层。而且采用应用框架就可以实现 APP 界面，以及完成参数配置^[40]。

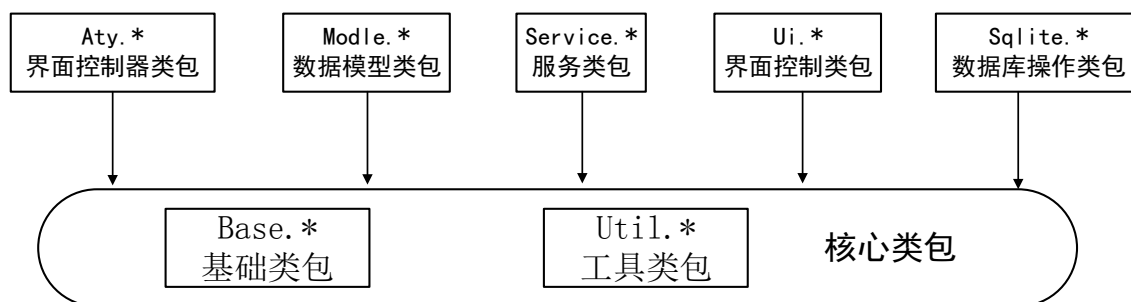


图 4-17 移动端基础架构图

底层核心的基础类包有 Base 和工具类包 Util，上面的类包是 Aty 界面控制器类包、Model 数据模型类包、Service 服务类包、Ui 界面控制类包、Sqlite 数据库操作类包，上层类包基于底层类包进行开发。

在 MVC 模式中，M 是 Model 层，即模型层，负责处理应用中的数据、业务逻辑，响应状态查询，提供数据操作接口，把程序的运行状态封装起来，提供数据模型类库和数据库操作类库。V 是 View 层，即视图层，用于保存 XML 界面文件，当用户在显示视图上进行操作时，View 层把操作请求发送到控制器 Controller，并根据模型更新显示界面。C 是 Controller 层，即控制器层，是程序文件，接收用户请

求并更新模型。

移动客户端有五个模块，功能结构如图 4-18 所示。

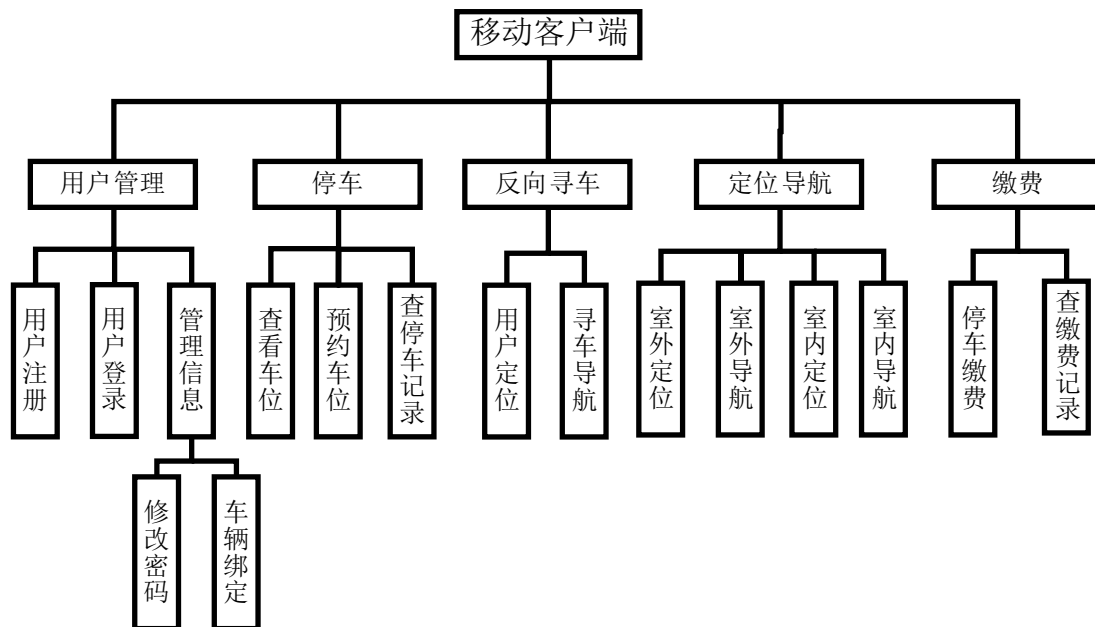


图 4-18 APP 客户端功能框图

(1) 用户管理功能，包括用户注册、登录、注册、更新个人信息、车辆绑定等功能。

(2) 停车导航功能，驾驶员通过移动客户端查看附近停车场列表，或输入关键字搜索，显示附近可用停车场的地址、距离、车位数、收费标准等，选定停车场后，可以点击相应的按钮，导航至目的地。当车辆到达后，客户端显示室内地图，用户可以自己找可用车位停车，或者使用客户端推荐的导航路线行驶至车位。

(3) 在线支付功能。在车辆进场时，车牌识别一体机识别出车牌号，把与车牌号对应的用户信息、入场时间发送到服务端。离开停车场前，用户可用手机提前进行在线支付，出场时可直接放行。

(4) 反方向取车功能，当用户需要寻车时，先利用室内定位功能对用户进行定位，客户端将从服务器获车辆停放位置，将车场车位分布图展显示给用户，并为用户规划行走路线。

4.3.2 客户端界面设计与实现

系统的界面可设计为主页面和子页面。主页面只有少量控件，展示主要功能，子页面展示各功能界面。

安卓开发框架提供了各种各样的控件，有按钮、选择框、输入框和对话框等，极大方便了程序员开发使用界面。客户端的主页面一般采用头部布局、中间、底部

导航三部分组成的结构，这也是目前大多移动应用所采用的样式，见图 4-19。



图 4-19 移动客户端的界面

main.xml 是的布局文件，头部布局通常采用水平方式，通常用来显示搜索输入框或公告信息。修改和设置控件时，只需要修改 res/values 文件中相应的数值。页面中间区域采用嵌套布局，使用 View 和 View Group 空间。底部是导航栏，放置功能选项按钮。

4.3.3 客户端模块设计与实现

移动客户端有五个主要功能模块，为用户提供用户管理、停车导航、反方向取车、在线支付等服务。

(1) 用户注册和登录

用户首先要进行注册，注册成功后输入正确的用户名和密码，经服务器认证成功之后登录，才能使用系统的各项功能。用户注册和登录模块完成用户信息的输入、检验、保存、车辆绑定等操作，整个流程如图 4-20 所示。

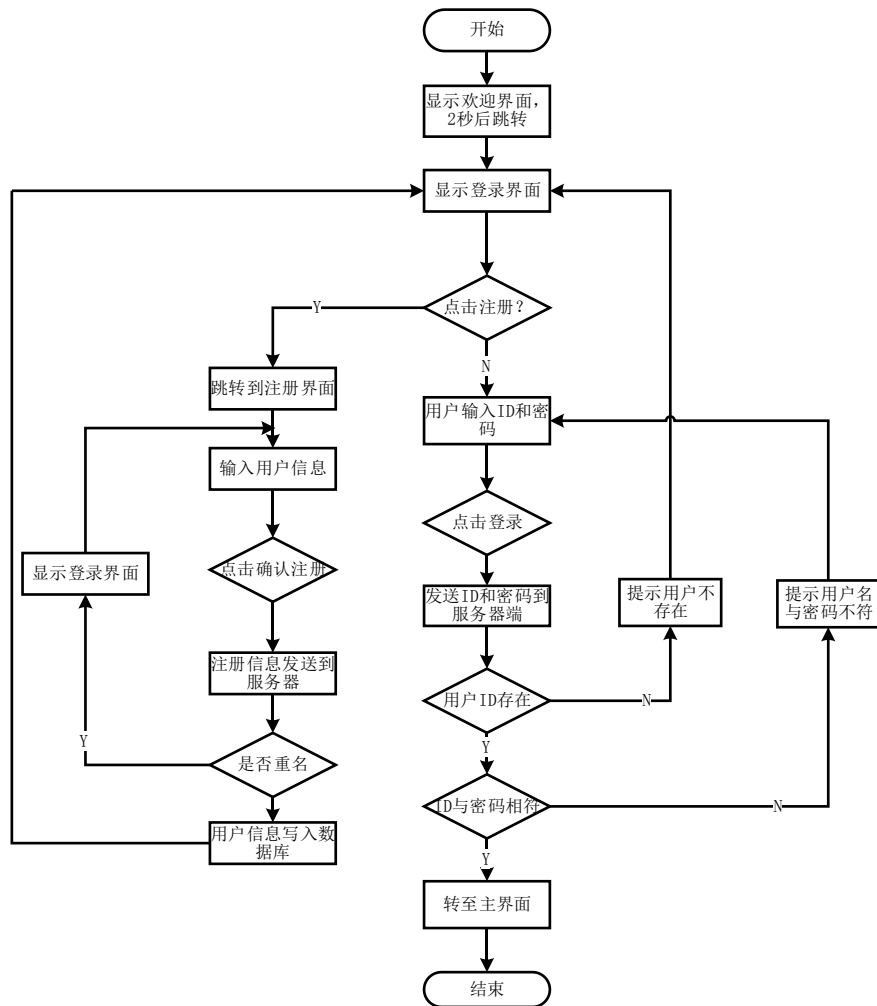


图 4-20 登录/注册流程图

用户注册的时序图见图 4-21。先是进入用户界面，输入 ID、密码、验证码，数据经过加密传输到用户验证模块，验证成功后进入用户管理模块，向数据库传递用户 ID、密码。经验证不是重复注册后，在数据库里新建一条记录，写入用户 ID、密码，在用户界面显示注册成功。如果在验证时发现存在重复注册或用户名相同，则在用户界面显示提示信息，提醒用户重新注册。

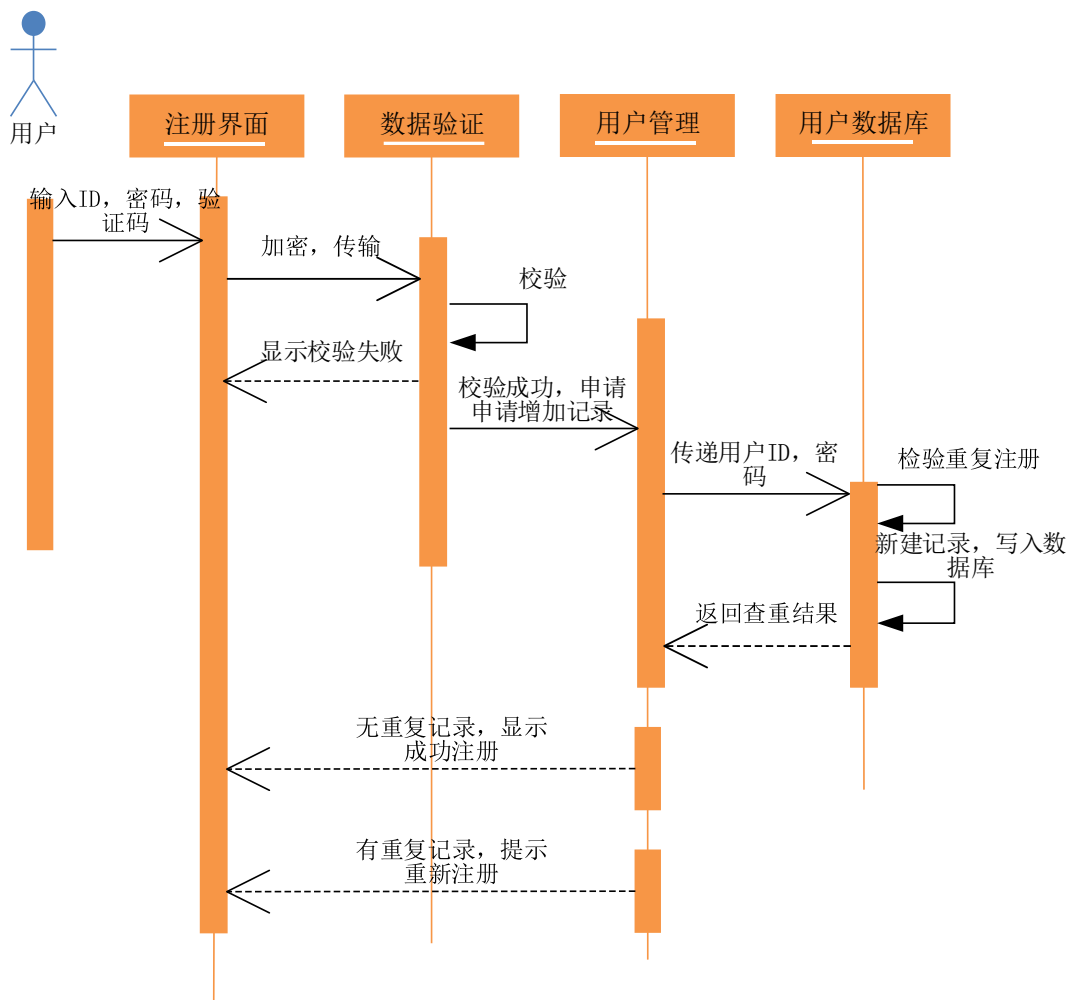


图 4-21 客户端 APP 用户注册时序图

登录功能是通过 LoginActivity 类来实现的。当 TextView 确认用户输入了用户名、登录密码后，然后设置 loginBtn.setOnClickListener 来监听登录按钮的操作，确认用户点击登录按钮后，登录认证 httpclient.doInBackground() 是 Async Task 类函数，与服务器进行交互，如果验证正确则进入下一步操作，如果错误，则发出提示信息。

如果发现用户未注册，则自动跳转到注册界面。注册界面由多个 TextView 文本视图组成，通过调用 RegisterActivity 类实现功能，与服务器之间使用 HTTP 协议进行通信。

(2) 停车导航

该模块包括两部分，分别是停车场查询和室外导航，到达目标停车场后的室内导航。停车场查询模块使用户在出行之前就可以检索可用的停车场和车位信息，直接在手机上显示停车位使用状况、所在位置等详情。点击查看详情时可以选择导航

按钮，系统将调用第三方导航软件，为用户规划导航路线。

停车模块为用户提供了多个功能，从选择停车场，输入预约停车时间，显示停车场信息，再到导航，功能比较完备。

为了提供准确的车位导航服务，适应新能源汽车导航到充电桩的需求，在硬件系统上提供了 WiFi 定位和导航服务，流程见图 4-22。

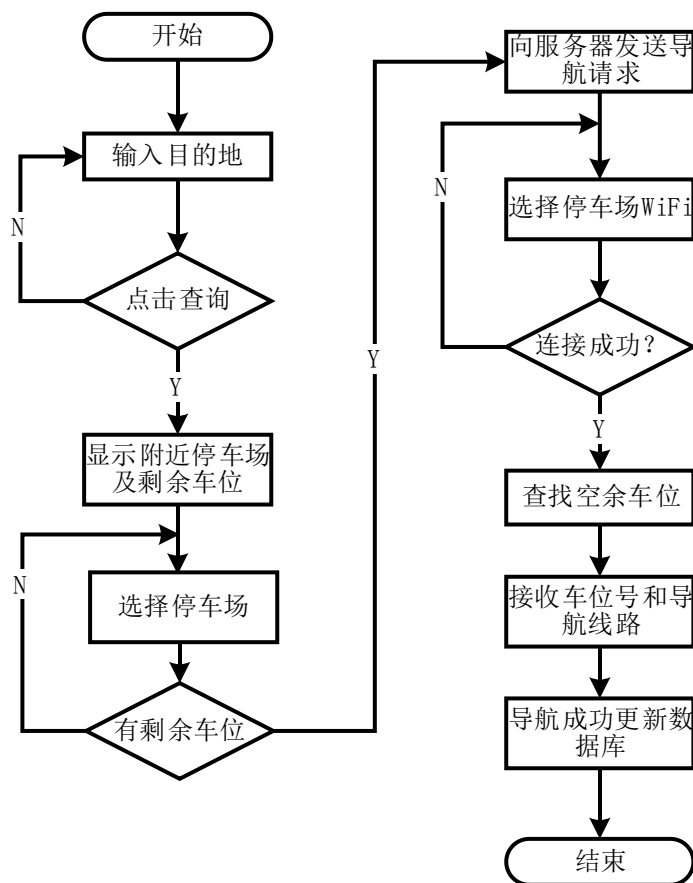


图 4-22 车位引导流程图

用户可以直接查看系统按目的地距离远近推送的停车场，也可以通过对话框输入关键词，搜索想去的具体停车场。服务器端根据用户输入信息，搜索到特定的停车场，之后将结果反回到移动终端。Activity 用户界面调用 `onClick()` 方法中的 `List View` 控件，把停车场的相关信息在列表框里显示，用户可以直接点击选择某个停车场，进行下一步，调用方法是 `onClick()`。使用 `myInflater.inflate()` 方法获取车位数、地址等数据。

室外导航需要用到高德地图的定位 SDK 模块。有几个操作步骤，首先是声明 `LocationClient()` 类，然后注册监听函数 `onReceiveLocation`，再发起定位请求。在手机 GPS 模块获得经纬度数据后，在监听函数中获取定位结果，然后规划当前位置

和目标位置之间的导航线路。

车辆到达停车场后，客户端将显示车位利用情况。如车位全部被占用，用户就需要重新选择停车场。到达停车场后，用户可以自行选择车位，或者连接停车场内的 WiFi 来导航，也可以直接接受推送车位号和导航路线。

室内导航的过程：先通过指纹定位模块获取用户当前位置的坐标，显示停车区域二维地图模式和导航线路。

前面的用户服务部分已经介绍了线路规划和导航的时序图，故此处只介绍车辆从停车场入口，到车位的时序图，见图 4-23。

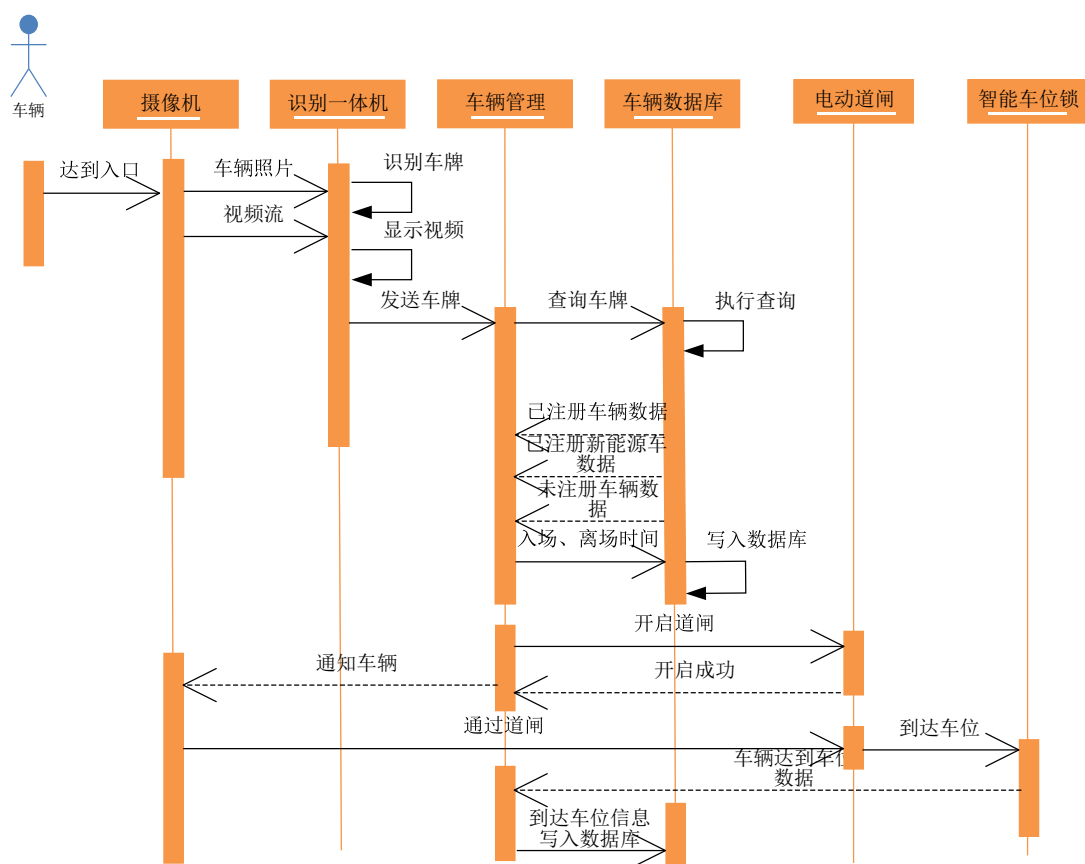


图 4-23 停车时序图

(3) 反向寻车

由于粗心等原因，有的用户会忘记车辆停放的具体位置。这时寻车功能就可以发挥作用，帮助用户快速找到车辆所在车位，流程图见图 4-24。

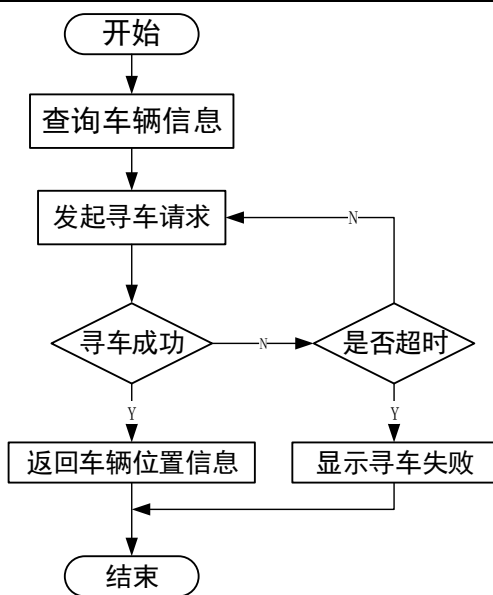


图 4-24 寻车模块流程图

寻车的时序图见图 4-25。

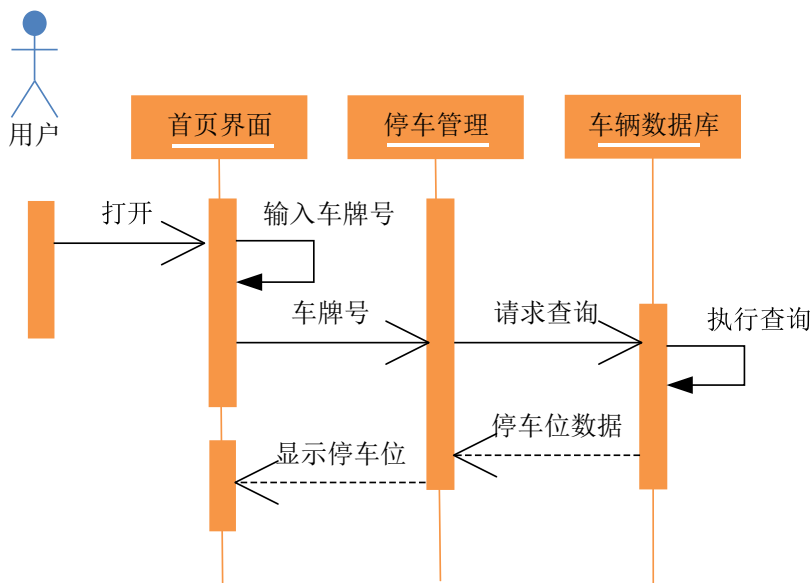


图 4-25 寻车时序图

该模块的实现方法也是通过 WiFi 指纹定位对用户进行定位，区别在于这时是要将人员导航到车辆所在车位的位置。该模块需要用到 ListAdapter 的 onclick()方法，用户点击视图上的寻车按钮后，调用 MyAdapter()方法进行定位。同时执行 intent 方法，转入 ParkingLotMapActivity，返回地图界面。如果需要进行导航，则调用 navigation()方法进行路径规划。

(4) 计时缴费

缴费有两种情形。一种是充电缴费，停车费分時計费由后台设定。充电分为三种，第1种是自由冲，随时可以停止充电。第2种是定时冲，由用户根据经验或提示设定充电时间，最短充电计费时长为0.5小时。第3种是定量冲，由用户设定设定充电量。

停车费缴费也分为3种情况。第1种是包月用户，每个月缴一次费。第2种是企业客户，停车数量不超过预定数的，按包月客户计，超过预定数，超出部分按计时收费。第3种是计时收费，用户可选择使用微信、支付宝等移动支付，或预先充值，用账户余额缴费。该功能模块的实现过程如图4-26所示。

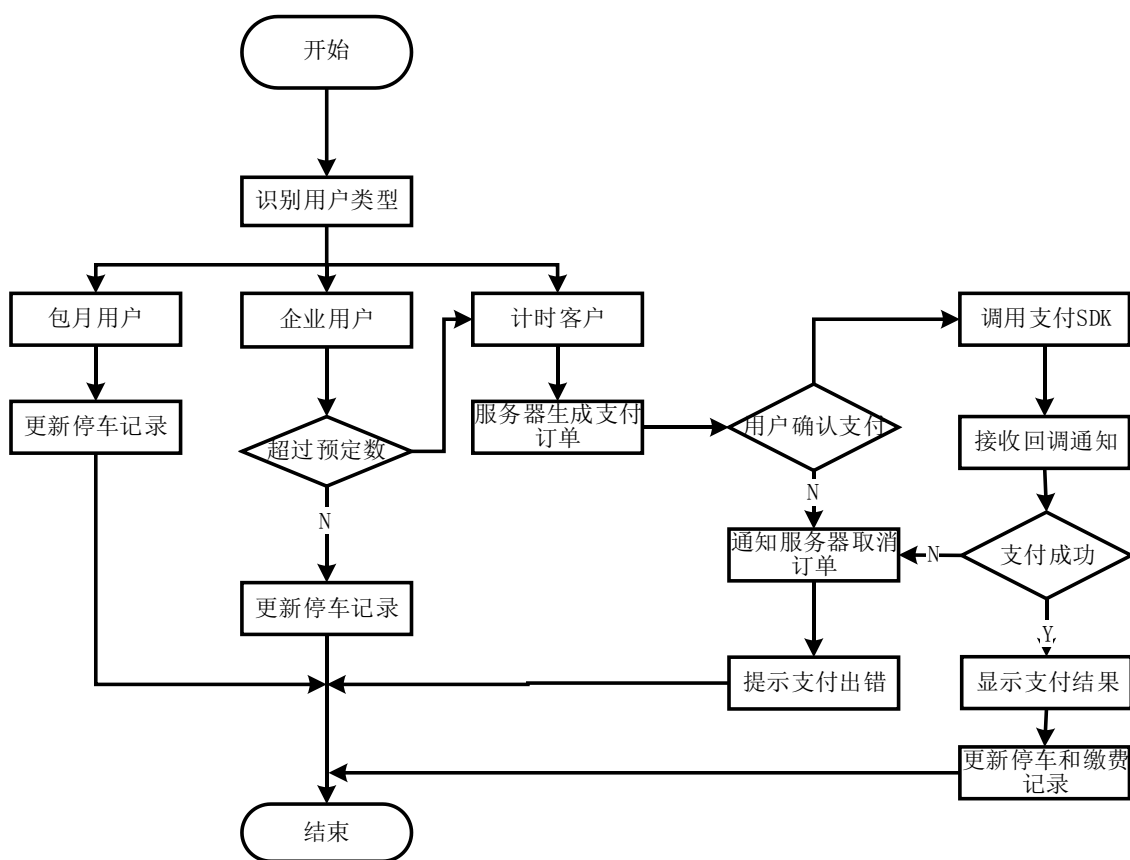


图 4-26 计时缴费流程图

本系统支持在手机上查看订单信息，支持提前缴费。缴费功能页面首先显示待支付订单，用户确认停车时间和收费金额后点击支付按钮，则调用支付宝进行在线支付。由于涉及金融支付的安全性，支付宝要进行审核后才能开通。因此开发者需要先申请开通账号，获取支付宝的第三方应用开发者权限和移动支付权限。然后下载支付宝的 SDK，配置账号、密码、二维码等。生成订单数据时，需要用到 getOrderInfo() 函数，使用 PayTask 对象来调用 SDK，与服务器端进行数据交互。确

认支付成功后，系统会更新订单数据。如果用户要查看历史订单，则执行 HistoryOrderlist()方法，如查看已完成订单，则使用 display()方法。在车辆出场时，系统检索车辆信息和订单支付情况，如果验证用户是已缴费用户、月租用户、企业集团用户，则直接放行。

4.4 资源管理模块和客户端通信的设计与实现

4.4.1 通信接口设计

运行在服务器的资源管理模块、手机客户端和高德地图、支付宝等通过 HTTP 通信协议进行通信，如图 4-27 所示。

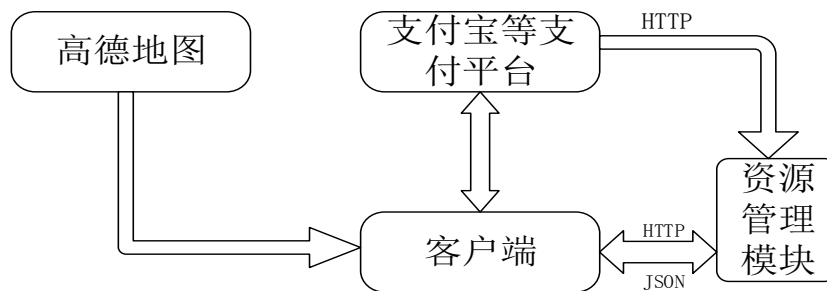


图 4-27 通信接口框架图

HTTP（Hyper Text Transfer Protocol，超文本传输协议）协议建立在 TCP 协议基础上，是一种无状态连接，同一个客户端的前一个请求和后一个请求没有对应关系，无法保存已执行的事务处理信息。每次服务器与客户端建立 HTTP 连接，完成数据传输后，就会自动断开连接。如果系统要再一次处理客户端前一次发送的信息，则需要客户端重新发送数据^[41]。

JSON 是一种以键值对展现的数据结构，文件大小比 XML 小，减少了网络传输数据所需要的流量从而加快了传输速度，因此在很多应用中都取代了 XML^[42]。由于第三方应用基本上都支持 HTTP 协议，加上这种协议对带宽要求低，操作系统提供良好支持，因此使用 HTTP 协议作为客户端和服务端之间的通信协议。服务器端使用 POST 方法接收客户端的请求数据，这种方法对数据类型没有限制，安全性也更好。服务器与客户端之间采用 JSON 数据交互格式。在传输前，数据是以属性加数值的实体类存在数据库中，当传输时把数据写到 JSON 字符串里，以字符串的形式发送。如果数据不是实体类，还需要增加一个处理环节，即先定义好数据，再用 GSON 类库将其转变 JSON 字符串。

4.4.2 基于 HTTP 协议的服务器端开发

在一个完整的通信过程中, server 的对象从被创建到被销毁的整个过程的服务响应时序图参见图 4-28。这个过程中用到了 `init()`、`service()`和 `destroy()`方法。

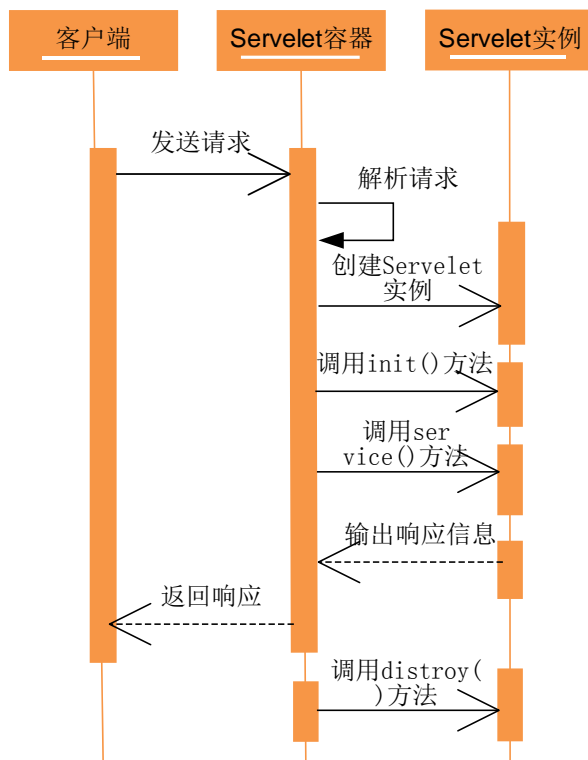


图 4-28 服务器响应时序图

在客户端和服务端交互过程中, web 服务器 Tomcat 会一直运行, 监听指定端口上是否有请求数据。收到请求数据后, web 服务器对数据包进行解析, 提取 url 等信息, 分配 Servlet 容器, 并通过容器创建 servlet 实例。在载入 servlet 容器时, web 服务器先执行用于初始化的 `init()`方法, 当 web 服务器或者客户端首次访问 servlet 时就先装载 servlet, 对 servlet 对象进行初始化。`init()`方法的功能单一, 仅用于初始化, 因此在一个通信周期中只需要执行一次 `init()`方法。`init()`方法执行之后, 再去调用 `service()`方法。`service`方法是一个多功能的方法, 既可以从 `request`对象获得客户端的输入数据, 也可以向 `response`对象输出数据。用户每请求一个 `HttpServletRequest`对象, 服务器就会调用对象的 `service`方法, 而且向 `service`方法传递一个请求对象和一个响应对象, 用作方法的参数。在停止、卸载 servlet 时, 服务器执行 `destroy()`方法, 该方法与 `init()`方法类似, 也是在一个周期里执行一次。一般是将 servlet 作为服务进程的一部分来关闭。当 web 服务器 Tomcat 完成所有 `service()`方法之后, 需要停止和卸载 servlet 时, 就调用 `destroy()`方法, 或是经过事先设定

的时间间隔后调用 `destroy()` 方法，结束通信。

业务逻辑包括访问数据库，将数据封装成实体类，以及将实体类转换成 JSON 格式的字符串等。每个模块继承 `HttpServlet`，之后用调用 `init()` 方法，对实例变量进行初始化，在 `service()` 方法中使用 `req` 获取客户端请求参数，调用 `resp`，把 JSON 格式的响应数据发送客户端。

安卓操作系统提供了十分完善的 SDK，其中的 Apache 的 `HttpClient` 比 `URLConnection` 更灵活，简化了客户端发送 HTTP 请求的操作。移动终端 APP 与服务器通过异步任务对象完成数据交互，在对象的 `doInBackground()` 方法中完成连接服务的请求操作。

4.5 本章小结

本章介绍了各个服务模块的设计与实现过程。着重说明 WiFi 定位的基本原理和方法，WiFi AP 部署过程，建立指纹库，指纹定位的设计与实现，服务器端和客户端的通信方法和实现过程。详细说明了手机客户端的 MVC 架构设计、用户界面设计，使用流程图说明各功能模块的实现过程。

第5章 停车场管理系统测试与分析

5.1 管理系统测试环境

在软件开发过程中,设计错误和软件 bug 是难以避免的。因此在系统交付使用前进行充分测试,消除软件缺陷,达到用户对功能、性能、稳定性的要求^[43]。

测试的主要设备是服务器的电脑和运行客户端的手机,测试内容主要是测试否页面正常显示,以及功能是否正常运行。测试环境配置见表 5-1。

表 5-1 测试环境

设备	用途	建议配置	数量
磁盘阵列	数据存储	曙光 DS600 磁盘阵列	1
数据库服务器	安装 MySQL	曙光 I610-G20, Xeon E5 CPU, 512G RAM, 2 * 512G HD	1
应用服务器	Web 服务	曙光 I610-G20, Xeon E5 CPU, 512G RAM, 2 * 512G HD	2
手机	运行移动端 APP	安卓 7.0 以上	5
摄像机	拍摄车辆照片	海康威视 DS-2CD2T25FD-I3 网络摄像机	58
车辆检测器	检测车辆位置	定制, 含地感线圈	20
车牌识别一体机	识别车牌号	华夏智信 V82-DV101	4

(1) 磁盘阵列: 用于存储车场出入口摄像机所拍摄的图像数据和视频流数据, 这些数据以文件形式存放, 一般保存 3-6 个月。曙光公司的 DS600 磁盘阵列是面向中低端企业级应用的存储产品, 具有全冗余架构设计、PRAID 技术、完善的硬盘安全控制机制和直观统一的管理功能, 可以满足项目的需要。

(2) 数据库服务器: 用于安装数据库软件 MySQL。本系统的数据存储量小, 对数据库服务器的性能没有特殊要求, 曙光的 I610-G20 可以满足项目需要, 可适当增配内存, 以提高访存性能。

(3) 应用服务器: 安装部署 Web Server、后台管理系统, 对外提供服务。曙光的 I610-G20 适合中小企业, 可以满足项目需要。

(4) 移动设备: 安卓手机 (运行安卓 7.0 以上系统)。

(5) 摄像机: 选用海康威视公司的网络摄像机 DS-2CD2T25FD-I3, 在车辆进出场时拍摄照片和视频, 将图像和视频传送到值班员的 PC 上, 供值班员观看。图像和视频还传送到存储服务器, 用于事后调查取证使用。

(6) 车辆检测器：由生产厂家根据要求进行定制，含车感线圈，能够检测车辆位置。检测数据通过 RS485 总线，先传送到集线器，在通过以太网，传送到服务器。

(7) 车牌识别一体机：采用华夏智信 V82-DV101 车牌车脸识别一体机。

5.2 系统测试

5.2.1 服务端测试

服务器端主要进行系统管理软件的测试。管理后台模块主要是测试能否正常输入、输出，检测非法操作、不符合要求的输入等；出入场管理测试包括测试车辆驶入、驶出，界面显示是否正常等。下面说明几个典型模块的测试过程。

(1) 用户注册测试

用户注册是一个基本功能，整个过程包括按管理员、维修员、物业经理、用户进行分类，由操作员输入姓名、电话、手机号码、单位名称、关联车辆和车牌等信息，由系统自动生成用户 ID，并保存入数据库。用户注册的测试用例见表 5-2。

表 5-2 用户注册测试用例

测试用例编号	1
功能	用户注册
测试类型	黑盒测试
测试前置条件	管理员已登录，并授权
测试事件流	(1) 进入“用户信息管理”界面 (2) 点击“添加”按钮 (3) 进入“用户注册”界面 (4) 输入用户信息 (5) 点击“保存”按钮 (6) 提交表单，数据库保存数据
测试结果	可进入“用户信息管理”界面，能够检索新增人员信息，并显示
测试结论	通过

(2) 设备信息管理

停车场的设备主要有摄像机、显示屏、地感线圈、充电桩、UPS 等，因此，要记录设备的种类、编号、状态，分配 IP 地址，供管理人员查看设备状态，进行定期维护、更换，以及进行资产管理。增加设备信息的测试用例见表 5-3。

表 5-3 增加设备信息测试用例

测试用例编号	2
功能	增加设备信息

表 5-3 (续表)

测试用例编号	2
测试类型	黑盒测试
测试前置条件	管理员已登录，并授权
测试事件流	(1) 进入“设备管理”界面 (2) 点击“增加设备”按钮 (3) 进入“增加设备”界面 (4) 输入设备数据 (5) 点击“保存”按钮 (6) 提交表单，校验数据 (7) 数据校验通过，数据库保存数据
测试结果	返回“设备管理”界面，可查询到新增设备
测试结论	通过

(3) 停车场信息配置

本系统的用户是一家停车管理公司，拥有多个停车场，因此需要对停车场名称、位置，以及收费时段、收费标准等进行增删改查。配置停车场信息的测试用例见表 5-4。

表 5-4 配置停车场信息测试用例

测试用例编号	3
功能	配置停车场信息
测试类型	黑盒测试
测试前置条件	管理员已登录，并授权
测试事件流	(1) 进入“停车场管理”界面，点击“配置停车场参数”按钮，进入参数配置界面 (2) 修改/输入停车场参数 (3) 点击“保存”按钮 (4) 提交表单，数据库保存数据
测试结果	返回“停车场管理”界面，可查询到新的配置信息
测试结论	通过

(4) 查询车辆进出场记录

当需要查询一些异常记录，或分析某些车辆的停车记录，或用户对收费存在质疑等情况时，需要查询出入场记录。另外，查询结果也可用于生成统计报表。查询车辆进场信息的测试用例见表 5-5。

表 5-5 查询车辆进出场信息测试用例

测试用例编号	4
功能	车辆进场信息查询

表 5-5 (续表)

测试用例编号	4
测试类型	黑盒测试
测试前置条件	管理员登录，并授权
测试事件流	(1) 进入“车辆查询”界面，通过下拉条选择车辆分类，然后点击“出入场查询”按钮 (2) 执行查询 (3) 返回查询结果 (4) 显示车辆出入场信息
测试结果	进入“车辆信息查询”界面，显示出正确的车辆进出场信息
测试结论	通过

(5) 未缴费车辆离场

对于未注册的短时或临时停车的车辆，或预缴额度已用完的企业客户，有可能出现由于驾驶员疏忽或故意逃费，未缴费车辆进入出场闸道，导致异常离场的情况。未缴费车辆离场拦截测试用例见表 5-6。

表 5-6 未缴费车辆异常离场测试用例

测试用例编号	5
功能	车辆离场
测试类型	黑盒测试
测试前置条件	车辆未缴费
测试事件流	(1) 车辆进入出口道闸 (2) 一体机识别车牌 (3) 根据车牌，查询车辆缴费状态 (4) 判定未缴费 (5) 显示“车辆未缴费”，弹出收费界面 (6) 显示屏显示“车辆未缴费，请缴费”
测试结果	显示“车辆未缴费”，弹出收费界面 显示屏显示“车辆未缴费，请缴费”
测试结论	通过

(6) 车牌识别错误测试

市场上的车牌识别一体机识别率很高，通常可以达到 99% 以上。在系统交付使用前，项目组对车牌识别一体机进行联调测试，累计测试约 320 次。结果表明，在车牌无污损、遮挡的正常情况下，一体机的识别率达到 100%。但现实中总是存在一些特殊情况，如车牌沾满泥土、污渍，或者人为遮挡、无牌车等，导致识别失败。需要针对这些情况进行测试，测试用例见表 5-7。

表 5-7 车牌识别失败测试用例

测试用例编号	6
功能	识别车牌
测试类型	黑盒测试
测试前置条件	识别一体机无法识别车牌
测试事件流	(1) 车辆进入出口道闸 (2) 一体机识别车牌 (3) 识别车牌失败 (4) 显示“无法识别车牌”，弹出告警界面，通知工作人员 (5) 显示屏显示“无法识别车牌，请等待”
测试结果	显示“无法识别车牌”，弹出告警界面 显示屏显示“无法识别车牌，请等待”
测试结论	通过

5.2.2 客户端 APP 测试

客户端 APP 包含用户管理、停车导航、在线支付等功能模块，要针对这些模块分别编写测试用例，检测各模块是否能正常工作，软件界面以及操作过程是否合理，发现软件运行过程中出现的异常和错误。

下面列举各功能模块的测试用例。

(1) 注册和登录模块测试

智能停车场 APP 第一次启动后自动进入登录页面，新用户需要进行注册才能登录。登录界面的测试既要考虑正常操作，也要考虑异常操作，包括用户不小心输错了用户名或者密码，输入空格或非法字符等特殊情况。测试注册界面时主要是看各输入模块操作是否正常。经测试，直接键入不存在的用户名和密码进行登录操作，会提示“该用户不存在”而无法登录，只有输入数据库中已有的用户名和密码，才会自动进入主页面。新用户则点击注册按钮，输入注册信息并经过手机验证码验证后才可登录。用户注册测试用例见表 5-8，用户重名测试用例见表 5-9，登录测试用例见表 5-10。

表 5-8 APP 客户端用户注册测试用例

测试用例编号	7
功能	客户端用户注册
测试类型	黑盒测试
测试前置条件	显示主界面

表 5-8 (续表)

测试用例编号	7
测试事件流	(1) 点击“用户注册”按钮 (2) 进入注册界面 (3) 输入已有的用户名和密码, 点击注册 (4) 显示: “用户名已存在, 请换个用户名” (5) 2 秒后返回“用户注册”界面
测试结果	显示“请输入用户名和密码”, 返回注册界面
测试结论	通过

用户在输入注册信息时, 如果输入的用户名与数据库中已有的用户名相同, 针对这种情况, 需要做相应的测试, 保证能够避免重名的情况。这也是一种容错测试, 测试用例见表 5-9。

表 5-9 用户重名注册测试用例

测试用例编号	8
功能	客户端用户注册
测试类型	黑盒测试
测试前置条件	显示主界面
测试事件流	(1) 点击界面上的“用户注册”按钮, 进入注册界面 (2) 输入已有的用户名和密码, 点击注册 (3) 显示提示信息: “用户名已存在, 请换个用户名” (4) 2 秒后返回“用户注册”界面
测试结果	显示提示信息“用户名已存在, 请换个用户名”。2 秒后返回注册界面
测试结论	通过

用户输入数据库中已有的用户名和正确的密码后, 可登录进入主页面, 看到各个功能按钮。用户登录测试用例见表 5-10。

表 5-10 用户登录功能测试用例

测试用例编号	9
功能	客户端登录
测试类型	黑盒测试
测试前置条件	完成初始化, 显示登录界面
测试事件流	(1) 输入数据库中已有的注册用户名和密码 (2) 点击界面上的“登录”按钮 (3) 显示“登录成功” (4) 2 秒后显示用户主界面

表 5-10 (续表)

测试用例编号	9
测试结果	显示“登录成功”。2 秒后进入用户主界面
测试结论	通过

登录成功后进入主界面，用户可以点击功能按钮进入各功能模块。

(2) 附近停车场查询功能测试

用户登录后，GPS 已定位，就可以查询附近的停车场，便于后面选择停车场并导航到目的地，测试用例见表 5-11。

表 5-11 查询停车场测试用例

测试用例编号	10
功能	查询停车场
测试类型	黑盒测试
测试前置条件	显示主界面，GPS 已定位
测试事件流	(1) 点击“查询停车场”按钮 (2) 将位置数据提交到服务器 (3) 服务器端的管理程序将停车场位置数据发送到手机的客户端 (4) 显示查询结果和地图
测试结果	显示“查询结果和地图”
测试结论	通过

(3) 室外导航功能测试

进入附近停车场页面，用户可以查看周边停车场各种相关信息，包括距离远近、剩余车位、收费标准等。用户从列表中选择合适的停车场，点击“导航”按钮，客户端就会调用高德地图接口，加载高德地图导航界面，通过手机自带 GPS 进行定位，测试用例见表 5-12。

表 5-12 室外导航测试用例

测试用例编号	11
功能	导航到停车场
测试类型	黑盒测试
测试前置条件	显示主界面，GPS 已定位
测试事件流	(1) 点击停车场图标 (2) 点击“导航”按钮 (3) 显示查询结果和地图
测试结果	显示导航界面和路线
测试结论	通过

(4) 室内导航测试用例

本管理系统的一个特色功能是能够在地下停车场或停车楼的室内停车场进行定位和导航。但由于尚没有成熟完善的第三方引擎，为保证客户端的正常工作，需要对定位和导航要进行比较充分的测试，测试用例见表 5-13。

表 5-13 室内导航测试用例

测试用例编号	12
功能	室内导航
测试类型	黑盒测试
测试前置条件	车辆进入室内停车场，完成 WiFi 定位，进入室内导航界面，
测试事件流	(1) 点击“室内导航”按钮 (2) 向服务器发起请求 (3) 服务器返回导航线路图片 (4) 显示线路图片
测试结果	显示室内导航路线图片
测试结论	通过

从测试结果看，本系统已经初步实现手机客户端的室内定位和导航功能。但由于定位精度不够高，缺乏合适的地图引擎，目前仅能够实现显示导航路线图片，用户体验有待进一步改善。

5.3 性能测试

除了满足用户的功能需求，系统还应该具有良好的性能和较短的响应时间，从而为用户提供良好的使用体验。对本系统来说，对用户体验影响比较大的是室内定位时间和定位精度两项指标。

室内定位时间的长短取决于处理器的计算能力和网络传输带宽。由于目前手机处理器的性能还比较弱，存储容量有限，因此室内定位解算的处理由服务器的 CPU 来执行。使用 3 部手机，对室内定位时间进行了 30 次测试。从手机发出定位请求，到服务器返回定位结果，时间一般在 2 秒左右，基本可以满足用户对使用体验的要求。测试结果参见表 5-14。

表 5-14 室内定位时间测试

室内定位时间测试编号	定位时间（单位：秒）
1	2
2	2.2
3	2
4	1.9
...	
30	2.1

室内定位精度高低决定能否进行准确定位，规划合理的导航路径，是衡量系统性能的另一项重要指标。在停车场内随机选取了 20 个测试点，根据平面图上附近标定的参考点，计算出每个测试点的准确位置。每个测试点用 2 部手机各进行 2 次测试，共计进行了 80 次测试，平均定位误差为 3.6m。从测试结果看，WiFi AP 数量多，分布均匀的地方，定位精度相对高一些。测试结果参见表 5-15。

表 5-15 室内定位精度测试

室内定位精度测试编号	定位误差（单位：m）
1	4.2
2	5.2
3	2.8
4	3.2
...	
80	4.6

5.4 本章小结

测试包括从模块测试到集成测试，从性能测试到功能测试，需要根据测试场景、目标设计相应的测试用例，以保证软件应用系统正常稳定工作。特别是在实际场景下，有可能存在各种各样的意外情况，包括由硬件故障引发的软件工作异常，用户的非法操作、不合法输入等，都需要考虑和设计一些测试用例，进行针对性的测试。对影响用户体验的室内定位时间、定位精度两项指标进行了性能测试。

通过对服务器端后台管理程序和手机端 APP 的完整测试，发现了一些考虑不完善的设计、软件 bug，经过修改和调试，整个系统工作正常。

结 论

基于物联网技术的智能停车场管理系统针对停车场管理企业对提高停车资源利用率、减少用工数量,提供在线预约、行车线路规划和导航、移动支付等服务的需求,采用车牌识别一体机、地感线圈、充电桩等物联网设备,实现车辆信息的自动采集、传输和处理。将 WiFi 定位技术和手机客户端相结合,实现了室内外的定位和导航功能。

该系统采用 B/S 架构、MySQL 数据库、MVC 开发模式,开发了用户资源管理、场地资源管理、设备资源管理、用户服务、室内定位与导航、手机客户端、通信接口等模块。对系统进行了功能测试和性能测试,表明达到预期目标,在武汉车都管理公司上线运行。

本论文主要研究成果:

(1) 对停车场管理系统相关领域的技术和应用情况开展研究,进行需求分析、业务流程分析,结合车牌识别、近距离无线通信和组网、位置感知和定位等相关物联网技术,明确了方案可行性。在此基础上完成系统架构设计、网络架构设计、功能设计、数据库设计。

(2) 资源管理模块、服务模块、数据库实现了统一规划设计,解决了以往分散管理,数据不统一、不规范、不集中、不互通的问题,便于对企业对多个场地进行统一的资产管理和设备维护。

(3) 基于 WiFi 指纹定位技术的室内定位与导航功能解决了在地下停车场或停车楼里找预定车位的难题,尤其是方便了新能源车找到预定的充电桩。预约功能使用户能够放心出行,预交、包月、在线缴费简化了财务收支管理,避免资金流失。

(4) 客户端为用户提供预约、导航、缴费等多种服务,吸引用户持续使用。

(5) 根据车辆所在位置推荐最优的行车线路,根据用户类型自动选出合理的缴费方式。实现整个服务过程的无人值守,具备了一定的智能服务能力。

该系统有效提高了停车场管理的自动化程度,提高管理效益,方便了用户进行预约、停车和取车、充电等操作。为了适应共享经济、高安全性、无人驾驶等方面的需求,未来还可以增加几项功能:

(1) 用户的固定车位对外分时出租功能,使停车位的使用更加灵活高效。

(2) 远程监控功能,让用户可以直接通过手机访问摄像头,查看车辆所在位置的监控图像。

(3) 为无人驾驶车辆的信息系统提供室内导航功能接口。

参考文献

- [1] 张群.智能化城市停车场管理系统的应用研究[D].南京: 南京邮电大学, 2015: 2-3
- [2] Lee,S.,D.Yoon,and A.Ghosh.Intelligent parking lot application using wireless sensor networks[C].International Symposium on Collaborative Technologies and Systems(CTS),2008: 48-57
- [3] Seong-eun Yoo,Poh Kit Chong,et.al.PGS:Parking guidance system based on wireless sensor network[C].3rd International Symposium on Wireless Pervasive Computing(ISWPC),2011: 218-222
- [4] Giupponi L,Agusti R, Perez_Romero J. The research and design of intellectual parking system based on RFID[C].IEEE Global Telecommunications Conference(GLOBECOM),2013: 3851-3855
- [5] Alkheder SA, Al Rajab MM, Alzoubi K. Parking problem in Abu Dhabi,UAE toward an intelligent parking management system .ADIP: Abu Dhabi intelligent parking[J].Alexandria Engineering Journal, 2016(55): 2679-2687
- [6] Bachani M,Qureshi UM, Shaikh FK. Performance alalysis of proximity and light sensors for smart parking[J].Procedia Comupter Science, 2016(83): 385-392
- [7] Brassil J, Pearson C, Fuller L. Indoor positioning with an enterprise radio access network[J]. Procedia Computer Science,2014(34): 313-322
- [8] Carrera V JL,Zhao Z,Braun T,Li Z,Neto A. A real-time robust indoor tracking system in smartphones[J]. Computer Communications,2018(117): 104-115
- [9] 陈志宏, 闫刚.智能停车行业现状及发展趋势[J].智能建筑, 2014(4): 33-35
- [10] 陈卓.上海陆家嘴智能停车诱导系统的设计与实现[D].大连理工大学, 2015: 25-26
- [11] 丁轼轩.基于 Java 的停车管理系统的设计与实现[J].电子技术与软件工程, 2018(05): 148-150
- [12] 陈婷.基于 RFID 定位的停车场智能移动终端设计[D].南京邮电大学, 2016: 10-12
- [13] 郭芝源, 李枕, 李维龙.基于二维码的停车场反向寻车系统设计[J].物联网技术, 2015(10): 36-42
- [14] 周彬彬.基于图像识别理论的智能交通系统关键技术研究[D].南昌航空大学, 2016: 34-36
- [15] 毛科禹,陈桂兵. 室内定位技术的应用现状与发展趋势[J]. 现代测绘, 2019(9): 31-34

- [16] 万群, 郭贤生, 陈章鑫.室内定位理论, 方法和应用[M].北京: 电子工业出版社, 2012: 40-62
- [17] 周源, 刘禹鑫, 林富明. 室内定位技术发展与应用研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2018(6): 54-57
- [18] 高伟, 侯聪毅, 许万旻.室内导航定位技术研究进展与展望[J].导航定位学报, 2019(1): 10-17
- [19] 黄润飞.基于低功耗蓝牙的地下停车场室内导航模型研究与实现[D].云南师范大学, 2017: 12-14
- [20] 余瑞寒.基于 iBeacon 技术的智能停车场系统的设计[D].西安电子科技大学, 2015: 21-23
- [21] 汪苑, 林锦国.几种常用室内定位技术的探讨[J].中国仪器仪表, 2011(2): 54-57
- [22] 陈空, 宋春雷, 陈家斌等.基于改进 WKNN 的位置指纹室内定位算法[J].导航定位与授时, 2016(7): 58-64
- [23] 高盼. 智能大型车库寻车系统的设计与实现[D]. 南昌航空大学, 2018: 30-46
- [24] 张会清, 苏园竞, 张一伟.基于 WiFi 位置指纹室内定位算法的研究与实践[J].自动化技术与应用, 2018: 55-64
- [25] 王琰.基于 WLAN 的地下停车场定位导航系统的研究[D].山东建筑大学, 2018: 44-51
- [26] 周慧.基于 WiFi 的室内定位技术研究[D].南京邮电大学, 2016: 25-40
- [27] 张梦丹, 卢光跃, 王宏刚, 刘继明.基于指纹算法的室内定位技术[J].电信科学, 2016(10): 77-87
- [28] Moustafa Y, Nohamed A, Ashok A. Multivariate analysis for probabilistic WLAN location determination system[C]. The Second Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services, August 7-8, 2005, Fort Worth, Texas, USA. New Jersey: IEEE Press, 2005: 353-362
- [29] 詹杰, 刘宏立, 刘述钢等. 基于 RSSI 的动态权重定位算法研究[J]. 电子学报, 2011(1): 82-88
- [30] SECO F, JIMENEZ A, PRIETO C, et al. A survey of mathematical methods for indoor localization [J]. Intelligent Signal Processing, 2009: 9-14
- [31] Sengur A. Multiclass least-squares support vector machines for analog modulation classification [J]. Expert System with Application, 2009(36): 6681-6685
- [32] 黄震, 罗中良, 陈治明.基于优化最小二乘支持向量机的室内定位算法[J].中山大学学报(自然科学版), 2016(55): 48-51

- [33] 王淑婷. 基于位置指纹的 Wi-Fi 定位算法研究[D].吉林大学, 2015: 32-44
- [34] 蔡朝晖, 夏溪, 胡波 等. 室内信号强度指纹定位算法改进[J].计算机科学, 2014(11): 178-181
- [35] 李娟娟,张金艺,张秉煌.蓝牙标准规范的下的模糊指纹定位算法[J].上海大学学报(自然科学版), 2013(19): 126-131
- [36] 张兴.WLAN 室内定位信号特征提取算法研究[D].哈尔滨工业大学, 2013: 55-60
- [37] 张明华.基于 WLAN 的室内定位技术研究[D].上海交通大学, 2009: 34-36
- [38] 邓志安.基于学习算法的 WLAN 室内定位技术研究[D].哈尔滨工业大学,2012: 15-20
- [39] 杨帆, 赵东东.基于 Android 平台的 WiFi 定位[J].电子测量技术, 2012(9): 116-119
- [40] 林嘉婷.试谈前后端分离及基于前端 MVC 框架的开发[J].电脑编程技巧与维护, 2016(23): 5-8
- [41] 王涛.HTTP 协议技术浅析[J].中国新技术新产品, 2013(22): 14-14
- [42] 何磊.论 JSON 的优越性[J].内蒙古科技与经济, 2014(19): 78-78
- [43] 赵斌.软件测试技术经典教程(第二版)(M).北京:科学出版社, 2011: 16-30

致 谢

衷心感谢导师软件学院黄虎杰教授在论文撰写过程中对我的精心指导。在论文的写作和修改过程中，导师对我进行了多次辅导，指出不足，提出建议，帮助我把握重点，使我能够顺利完成论文。

感谢董长青高级工程师，在整个项目的实施过程中不断对我进行指导和帮助，制定合理的技术方案，使项目能够顺利按时完成并交付。给论文奠定了很好的实践基础。

感谢我的家人，替我承担了琐碎的家务，给我独立的空间，让我能够专心论文的写作和修改。在她们的鼓励和支持下，使我能够最终坚持完成本篇论文。

