

南开大学

本科生毕业论文(设计)

中文题目: 基于蓝牙 4.0 技术的大型地下停车场自动寻车系统

外文题目: Large underground parking homing vehicle system

Based on Bluetooth 4.0 technology

学 号: 1212561

姓 名: 陈展昊

年 级: 2012 级

专 业: 软件工程

系 别: 软件工程

学 院: 软件学院

指导教师: 马捷

完成日期: 2016 年 5 月 2 日

关于南开大学本科生成绩单（设计）的声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在指导教师指导下，进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本学位论文的研究成果不包含任何他人创作的、已公开发表或没有公开发表的作品内容。对本论文所涉及的研究工作做出贡献的其他个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本学位论文原创性声明的法律责任由本人承担。

学位论文作者签名：

年 月 日

本人声明：该学位论文是本人指导学生完成的研究成果，已经审阅过论文的全部内容，并能够保证题目、关键词、摘要部分中英文内容的一致性和准确性。

学位论文指导教师签名：

年 月 日

摘要

手机导航软件已经成为现代人出行至关重要的工具。如今的导航软件运用全球定位系统（GPS）基本解决室外定位问题，其灵敏度和精度都达到较高水平。然而对于卫星信号不能覆盖，却日益复杂的室内环境，导航技术仍处于方兴未艾阶段。低功耗蓝牙技术是最流行的室内定位解决方案之一。蓝牙技术具有低功耗、精度高的优点，而且苹果公司已使用低功耗蓝牙技术开发出支持定位、信息推送功能的 iBeacon 硬件。因此采用相对成熟的低功耗蓝牙技术进行大型停车场定位和寻找汽车功能是正规且可行的解决方案。

本文基于商业化的 iBeacon 蓝牙信号源设计的大型停车场室内导航系统针对蓝牙信号稳定性差的特点，采用区域定位方法，重点研究信号源分布策略，使蓝牙信号网络在覆盖范围内尽量配置成单接入点状态，通过一个到三个信号源确定六边形的位置范围。这样能保证定位点即使处于移动状态也能保持识别结果的稳定变化，而不像精确的单点定位一样出现大幅度高频率的定位点跳动。软件本身采用 MVC 模型搭建 C/S 结构。

关键词：室内定位；低功耗蓝牙；

Abstract

Mobile navigation software has become an essential tool for modern traffic. Many navigation software using global positioning system (GPS) have basically solved the outdoor location problem, and its sensitivity and precision have reached higher level. However, in increasingly complex indoor environment where satellite signal can't cover, navigation technology is still in the ascendant. Low power Bluetooth technology is one of the most popular indoor positioning solutions. This technology has the advantages of low power consumption and high precision. The Apple Corp has developed iBeacon hardware that supports positioning and information push function with low power Bluetooth technology. Therefore, it is a normal and feasible solution to use the Low Power Bluetooth technology for locating indoor.

This paper presents a indoor navigation system for large parking lot based on the commercial iBeacon hardware. According to the poor stability of the Bluetooth signal, the location method focuses on the signal source distribution strategy. Bluetooth signal network is configured into a single access point state, so that mobile devices could use one to three signal sources to determine its position. This design can maintain the stability of the position results, compared to a high-frequency jumping point in the precise point positioning strategy. The software adopts the MVC model to build the C/S structure.

Keywords: Indoor Position; Low Power Bluetooth

目 录

第一章 绪论	6
第一节 背景和意义	6
第二节 相关研究和项目	7
第三节 论文的主要工作	7
第四节 论文的内容组织	8
第二章 布点策略概述	10
第一节 硬件设备综述	10
第二节 接收数据分析	11
第三节 定位原理和有效距离	12
第三章 饱和区布点策略	错误!未定义书签。
第一节 平面覆盖方案	14
第二节 建模分析	14
第三节 最佳半径计算	16
第四章 边界区布点策略	错误!未定义书签。
第一节 停车场室内设计及数据存取	18
第二节 边界区域布点关键问题	18
第三节 边界区域布点策略	19
第五章 系统需求分析	24

第一节 用户需求描述	24
第二节 系统任务	24
第三节 功能模块	25
第六章 系统数据库设计	29
第一节 数据库简介	29
第二节 数据库 ER 图	29
第三节 数据字典描述	31
第七章 用户界面设计与系统实现	34
第一节 界面设计	34
第二节 系统分析与设计	36
第三节 关键技术难度及解决方案	39
第八章 软件效果图	41
第九章 总结与展望	43
第一节 本文总结	错误!未定义书签。
第二节 进一步展望	错误!未定义书签。
参考文献	错误!未定义书签。
致 谢	46

第一章 绪论

随着现代建筑的室内设计越来越复杂，大型的室内公共场所对局部定位软件的需求也不断增加。定位功能是商品位置导航、寻人、推荐和签到等个性化活动的基础。然而与 GPS 技术不同，室内定位有多种解决方案，可运用的信号源也有多种，可以说各有各的优缺点。继 2014 年左右由于其他技术尚不成熟而成为当时主流的 WiFi 信号定位后，如今随着低功耗蓝牙设备 iBeacon 及其衍生硬件的完善，蓝牙 4.0 成为苹果公司大力推动的室内定位解决方案，在国内也产生了多家相关创业公司，与微信平台结合，为会议提供室内导航服务。

第一节 背景和意义

当民用 GPS 技术已达到成熟阶段并已能准确快速并低成本地在普通智能设备上实现后，强大的室外定位技术运用到各行各业。然而在现代社会，人们 80% 的活动都集中在室内，即使室外定位足够强大来满足长距离的导航需求，人们面对复杂陌生的室内环境时仍然会遇到迷路、走失等问题。虽然建筑物内部面积相对小，室内活动相对简单，但由于现代建筑布局的创新求变和复杂多样，这“最后一步”中包含的困难仍是亟待解决的问题。室内定位就是解决这最后一步问题，即短距离导航问题。

由于现代城市交通主要依靠私家车，大型停车场已经成为商业区和住宅区的必备基础设施之一。随着年来包含电影院、商业街、食肆等娱乐休闲设施的大型室内商城的数量不断增加，地下停车场也越来越大。由于地下停车场要复合地基的要求，绝大部分的停车场已不是呈现传统的矩形，而车位也不再是单一的规则摆放。很多超大停车场为了管理便利更是将停车场划分为多个区域，加上进出口数目多而分散，造成寻找空车位和车辆极其困难，人们往往面临一从电梯下到地下车库就迷路的情况，因此大型停车场的室内定位系统需求大。

目前室内定位使用的技术主要有 Wi-Fi 技术、蓝牙、红外线、RFID、ZigBee 等。其中前两项的接收硬件由于在当前的智能手机中都有配备，因此得到更多的重视和研究。二者的基本原理都是利用短距离网络的 rssi 信号衰减规律进行测距进而定位。而苹果公司于 2013 年九月发布的 iBeacon 硬件及其相应软件的以其

低功耗、反应速度快、成本低等特点逐渐成为主流的室内定位方式。

第二节 相关研究和项目

本论文的研究及实现基础为 iBeacon 技术。iBeacon 是苹果公司于 2013 年 9 月在其新发布的 iOS7 系统中配备的新功能。开发此技术的主要应用方向就是进行室内定位。经过数年的发展，国内外出现了许多相关的研究和应用实际项目。

由于蓝牙信号具有较强的不稳定性，许多论文研究主要关注信号本身的性质及原理进行定位研究和提出优化方案。典型的研究是基于 RSSI 信号测距的原理对硬件的优化研究，包括研究经典的信号衰变公式、拟合实验的信号衰变规律和对信号进行滤波处理等研究。除了对硬件或信号本身的研究，相对而言与本文联系更紧密的是对信号源在室内部署结构的研究。这类的研究或是采用经典的信号衰变模型，或是基于较稳定的实验数据分析不同环境下的布点策略。主要是基于大片空旷地区或单纯被分割为多个房间的室内环境。也有部分深入的研究是使用启发性算法探索具有普适性的模型，如 David Plets 等的 Coverage prediction and optimization algorithms。除了对定位技术的优化研究，也有部分研究关注的是在具体环境下系统的搭建和实现，如吴栋淦的“基于 iBeacon 的智能导航系统的设计与实现”，莫倩和熊硕的“基于蓝牙 4.0 的接近度分类室内定位算法”等。

除了学术上的研究，室内定位的市场前景也催生了许多市场项目和创业公司。如智石科技（Bright Beacon）、云子（SENSORO）等 iBeacon 在中国的运营商都提供了 iBeacon 技术相关的解决方案，并设计出其独特的硬件设备，构建开发平台和工具。这些公司为很多室内展览会提供了导航服务并使用定位数据进行大数据分析，如展会中最受欢迎的展位、根据浏览特点划分参会人员类型等。

第三节 论文的主要工作

本文主要研究和实现了使用不稳定的蓝牙信号源构建能稳定定位带蓝牙 4.0 接收模块的 android 设备的系统。为了解决定位点高频跳动问题，将对接收数据的精确度和稳定性要求高的单点定位方法改为容错性更好的区域定位算法。使用 MVC 架构实现 CS 模式，客户端直接从停车场本地服务器获取信息，从而无需耗费联网流量。

- (1) 通过实验收集多个 iBeacon 蓝牙设备的测距能力。使用 android 手机记录离信号源不同距离下记录到广播中的 iBeacon 距离信息（仅当距离更新时记录）。分析实际数据，评估其使用传统定位算法在不同硬件平台上的局限性并使用实验验证。
- (2) 根据实际数据提出使用单信号源进行区域定位方法和有效距离概念。为了在实际中能在智能设备上实现快速简易并且稳定的定位效果，采用简化的定位策略：在肉眼搜寻范围内定位一片区域而非单点。分析实际测距数据确定信号源的有效距离。
- (3) 提出使用停车场 CAD 数据确定信号源布置策略。根据在饱和区有效定位区域的研究确定信号源密度和摆放形式。再根据具体的地图形式，使用启发性算法获取每个信号源的具体坐标，以增加利用率。
- (4) 实现上述的定位算法，开发一个 C/S 结构的 Android 手机软件及其服务器，满足在大型室内停车场内部定位、导航、寻找空车位、寻找车、寻人等功能。

第四节 论文的内容组织

本文共分为八章，各章的内容如下：

第一章 绪论。介绍了本文的研究背景和意义，列举分析了相关研究和相似项目，阐述本文的主要工作。

第二章 布点策略概述。本章主要是关于对布点策略研究的准备工作和相关硬件描述。首先描述了实验及实际软件使用的蓝牙信号源硬件 iBeacon 和 Android 手机。然后通过实际测距数据的收集分析传统定位方式的局限性。最后综合数据提出简化的定位策略。

第三章 饱和区布点策略。本章主要研究在信号源能进行饱和覆盖的区域的布点方案。根据平面覆盖的原理将蓝牙信号覆盖范围使用正多边形进行拟合。然后从实际定位应用角度定义了有效的信号覆盖面积。通过有效面积占总面积的比例定义覆盖率。通过建模绘图和公式推导两个方法导出最佳方案。

第四章 边界区布点策略。本章研究在靠近墙体的边界区域的状况。由于墙体对蓝牙信号的阻隔和人们主观认知的偏好，对该区域的定位要求较高。通过分析不同情况下的需求，得到在该区域信号源分布的整体要求，并使用模拟退火的

启发性算法得到具体的方案。

第五章 系统需求分析。从本章起进入实际应用软件的软件工程文档部分。本章主要是基于前半部分提出的定位和布点方法，对用户需求和系统实现做出分析。提出软件应该实现的功能和用户体验，并构建用户友好的软件结构和方便开发的功能模块。

第六章 数据库设计。本章是软件工程文档中重要的一环。根据需求分析和模块划分的结构设计系统的数据结构和存储方式。以 ER 图和数据字典的形式展示，为数据库搭建提供指导。

第七章 用户界面和系统实现。本章将用户需求具体化，得出具体的用户界面设计和软件使用路径，是界面实现的依据。然后从软件工程角度构建系统代码实现的类图，为代码编写提供蓝图。最后列举了系统实现过程中的关键难点以及解决所使用的各种技术。

第八章 软件测试。本章主要是展示软件的实现效果。分客户端和后台管理系统两个角度，以截图方式展示软件效果。

第九章 总结与展望。对本文进行的工作和工作中的不足进行了总结，并介绍了后续的研究方向。

第二章 布点策略概述

本章描述的是后两章硬件准备和前期测试工作，包括一次实际数据手机使用。第一节关于实验和实际系统使用的硬件信息。第二节主要为实验结果分析和对传统方法的概括和分析。在最后的一节提出的定位算法是后文研究和实现的基础。

第一节 硬件设备综述

2.1.1 蓝牙信号源

本文的实验数据和实现软件都是基于 SENSORO 公司开发的云子和云盒产品。该公司为 iBeacon 传感网络的运营商，其开发的设备符合 iBeacon 技术标准，提供相应的蓝牙信号广播功能。SENSORO 通过了 Google 的官方认证，开发了基于 Google 官方 SDK 的开发工具和测试应用。这两种产品的核心功能是不断使用低功耗蓝牙信号广播其唯一的标识码（UUID），智能手机通过其自带的蓝牙 4.0 模块即可接收到相应的识别码，并能通过信号强度计算与信号源间的距离。手机端也可根据识别码向特定 iBeacon 发送指令，获取环境数据或指示其进行开关特定功能、调节功率等指令。在大量部署云子设备后，可使用配置软件直接对其进行批量配置工作。实验共使用 3 个云子，8 个云盒。以下是硬件设备的具体参数：

设备名称	云子	云盒
图片		
尺寸	直径 50mm, 高度 19mm	边长 90mm
重量	39g	200g
协议标准	蓝牙 4.0 通过 iBeacon 认证	
价格	¥188.00	¥99.00
传输距离	80m	80m

电池寿命	1.5-2.5 年	可更换电池
------	-----------	-------

2.1.2 智能手机及软件支持

实验及软件测试使用的智能手机为小米 M3，处理器为四核 1.8GHz，内存 2.0G，Android 版本为 4.4.4。使用 SENSORO 官网的 SDK 开发可记录测距数据的测试 app。官网上提供的软件工具包括配置和巡检软件，可用于检测周边云子的所有数据（包括耗电量）及进行功能开关操作。

第二节 接收数据分析

在手机上编写简单的实验软件，在空旷区域记录与 iBeacon 距离不同时所记录下的距离（根据 RSSI 信号强度修正后的预测距离）。下图展示了在距离信号源 1、3、5、10、15 米时分别实验 25 次（1 秒刷新一次）的数据，其中折线描的是平均值的点，柱形是数据的跨度。

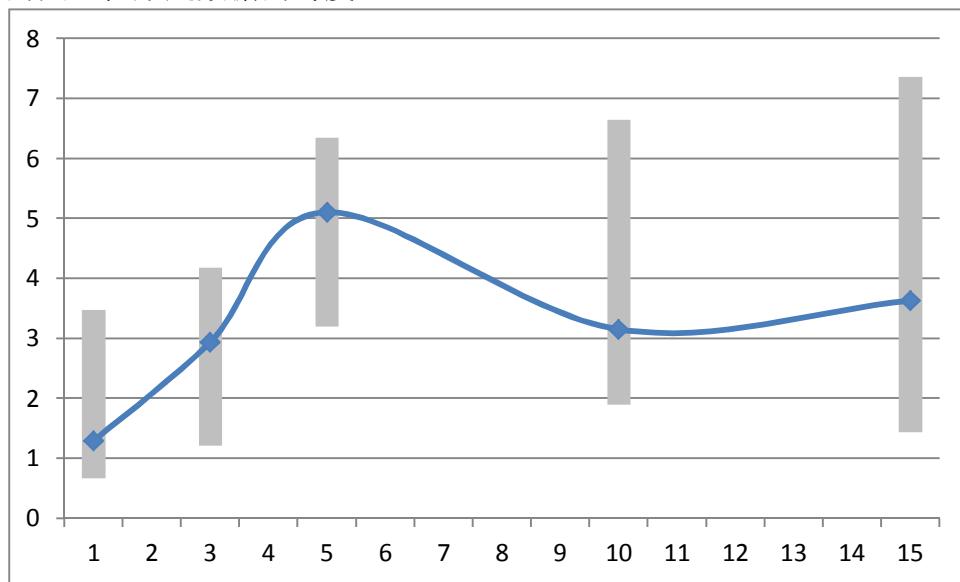


图 2.1 设备测试数据

从实验数据可知，实际距离在五米之内时，均值是较为准确的。超过 5 米后准确度下降得很厉害，难以识别到较远的距离，只能通过 Proximity 属性判断当前距离属于“远”的粗略距离。而从记录数据的跨度来看，5 米以下测距时有时会测到比实际距离大很多的数据，这应该是由于信号受到复杂环境阻隔导致的信号衰减严重所导致的。这使在近距离测距时，数据稳定性弱，且往往向上偏差严重。而测到比实际距离小的数据属于反弹效应导致的信号相互影响和增强，这在距离较大时测到的距离偏小。

第三节 定位原理和有效距离

由上一节数据分析可知，云子的信号稳定性较差，且即使距离很远（超过 15 米）仍能接收到不准确的数据，因此难以单纯通过构造单接入的信号网进行定位。必须通过软件上的逻辑来分辨距离最近的接入点。

传统的定位算法一般是使用距离三个信号源的距离进行平面上的点定位。然而考虑到云子的测距数据准确度低，使用传统算法基本上是不能定位的。也有一些优化算法是基于不准确测距数据计算最有可能的所在位置。这些算法虽然能计算出大概的位置，但是由于数据稳定性弱，在手机上实现后会出现强烈的跳动现象，造成极差的用户体验。鉴于硬件性能的限制，必须使用区域定位来实现稳定的定位效果。

当使用一片区域来定位并显示时，最基本的就是这片区域的大小。由于云子的测距是没有进行方向识别的，其信号覆盖范围为一个圆。而在区域定位中，每个区域一定为以信号源为中心的旋转对称区域，最基本的也是圆的形式。但是蓝牙信号可覆盖的距离太远，无论是从精确度还是用户体验上都不能满足定位要求。因此需要定义合适的区域半径来规定区域大小，当与信号源的实际距离小于或等于该半径时，则认为处于相应的区域内，因此称该半径为信号覆盖的有效距离。

有效距离必须满足两个要求：尽量使有效距离内定位数据准确，跨越有效距离时测距数据有明显变化；有效距离不能太大，以保证定位的准确度。其中第一个要求是较为关键的。由于实验测得的硬件测距数据并不是线性变化的，必须考虑信号的波动性变化。可观察到的现象是，数据的波动性与实际距离是呈现线性变化的。这是由于距离越近，遮挡造成的信号过度衰减的影响越小。因此需要划定一个时间窗口，使用在一段时间中的所有数据来进行定位。假设在时间窗口中可收集分别来自于 n 个设备的 k 条数据，则以在时间窗口中测得的最大距离和平均距离作为定位依据。从实验数据来看，当距离超过 5 米时，数据特征发生明显变化：最大值维持在 6.4 左右，均值反而下降。因此使用最大距离和平均距离的加权平均值作为距离指标选取所在区域，使用最大距离与平均距离的差值作为波动性指标，即：

$$\arg \min_i [(\max(r_i) - \bar{r}_i) + a * \bar{r}_i] = \arg \min_i [\max(r_i) + (a-1) * \bar{r}_i]$$

其中 i 取值为 1 到 n 的整数，代表每一个信号源， r_i 代表距离信号源 i 的测距数据。实际的相对权重 a 由实际实验决定。考虑到信号变化的特点和人的感官体验，取 5 米作为有效距离，因此定位精度为 5 米。

第三章 饱和区布点策略

根据上一章随后一节提出的定位方法可知，当定位点同时位于两个信号源的有效范围内时，由于信号强度的高波动性，将会导致定位区域不断在相邻的几个定位区域内变化。同时，考虑到为一点定位的必要条件是该点位于一个信号源的有效距离内，因此必须提高信号的覆盖率，即尽量减少不在任何一个信号源有效距离内的信号真空区大小。

第一节 平面覆盖方案

在布点策略研究中，将地图块分为两类：饱和区，指没有墙体间隔或靠近边缘的开阔地区，如大厅、广场等；边缘区，指靠近墙体的地区，如承重墙附近等。在饱和区中，由于没有墙体阻隔，每个云子的信号都能完全被使用。由于饱和区中各方向都是相同的，所以只需要确定的是布点的重复样式，可与通信中的信号覆盖问题类比。

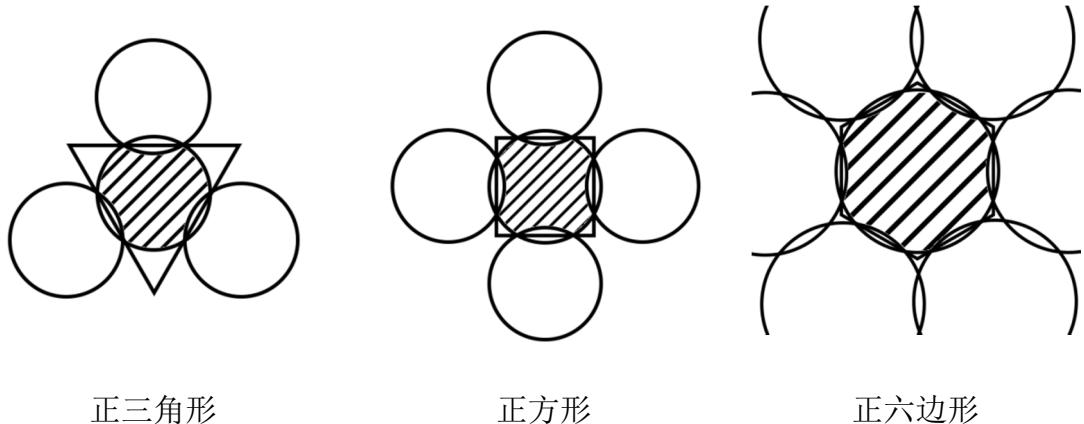
在一般关于信号覆盖的研究中，最终的结论往往是使用正六边形进行平面覆盖，即将每一个信号源的服务范围刻画为正六边形，整体组成蜂窝煤网络。然而信号覆盖研究一般只考虑信号覆盖率和信号源的数量而不考虑两个信号源信号重叠的部分，因为服务范围的重叠并不会影响信号传输。然而当使用标识性信号进行定位时，必须减少重叠部分以减少位置误判。

使用正多变形覆盖平面时，该多边形的内角必须为 360 的约数，这样多个正多边形才能衔接在一起。则有可能的图形为正三角形（60 度）、正方形（90 度）和正六边形（120 度）。除了确定每个信号源的覆盖面形状，其形状大小也是饱和区布点的关键。当使用正多边形分割平面后，可直接将每个多边形的中心点作为云子的部署点。

第二节 建模分析

为了选择最合适的多边形描述每个 iBeacon 的信号覆盖范围，定义信号模糊区。在这这些区域里，或者是由于处于信号覆盖范围外，或是被两个信号源同时覆盖，导致定位时会有失真或定位区域高频波动现象。为了提高定位质量，必须

找到能使信号模糊区最小的多边形及其达到最小值时对应的边长。下图的阴影区域表示三个方案下每个 iBeacon 信号覆盖区域内能有效定位的区域：



在上面三个示意图中图中的每个圆形表示以 iBeacon 位置为中点，有效距离为半径的信号覆盖区域。当使用一种正多边形描述该区域时，定位点识别的最近信号源为该 iBeacon 时就会显示该圆相应多边形。更关键的是，多边形的选择决定了布点的重复模式。

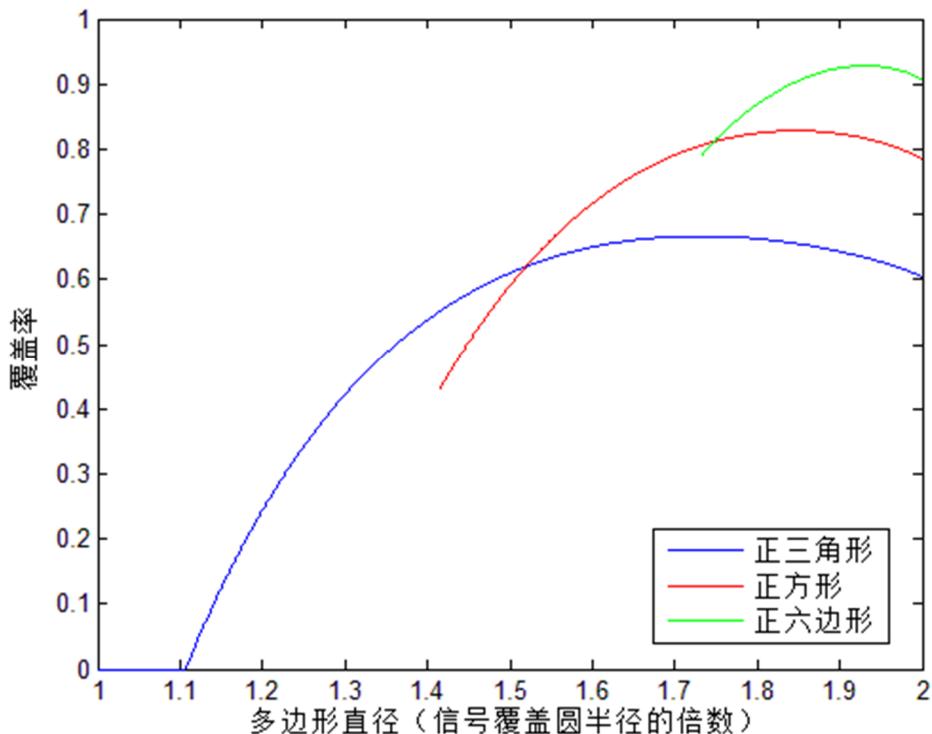


图 3.1 覆盖方案比较

从展示图中可以看出，阴影区域（有效定位区域）面积与多边形大小有关，而阴影面积和多边形面积之比即为该方案对应的有效面积覆盖率。用多边形一边

与其中点的距离描述多边形半径。当多边形半径大于该多变形内切或外接圆形时，有效面积会不断减少，因此只需考虑当多边形的尺寸小于等于其内切信号覆盖圆且大于等于其外界信号覆盖圆时的效果。

在使用 Matlab 计算三种方案的覆盖率时，使用多边形直径（边到中点距离的两倍）描述多边形大小。因此，多边形直径最大为信号覆盖圆半径（有效距离）的两倍，最小为多边形外界信号覆盖圆时直径，分别为 r （正三角形）， $\sqrt{2}r$ （正方形）， $\sqrt{3}r$ （正六边形）

从 Matlab 的计算结果可知，每个方案的覆盖率在其直径取值范围内均存在单一极大值，并且正六边形覆盖方案能达到的覆盖率最高，可达到 90%以上，因此选取正六边形覆盖方案，其最佳半径可通过求导获得。

第三节 最佳半径计算

本节在建模分析选取到进行平面覆盖的最佳多边形（正六边形）后，根据正六变形覆盖方案计算覆盖率的公式，结合 iBeacon 信号源的有效距离，计算每个正六边形的最佳半径。确定六边形的半径后，即可确定相邻信号源的距离（两倍半径）。

本节使用与上节相同的指标衡量不同半径下的效果，即覆盖率。从上一节的图像可知，六边形半径在其取值范围内存在单一的极值，且该极值为最大值。因此只要对准确率函数的求导，即可求得该极值。为了简化公式，单独考虑六分之一的正六边形的覆盖率。设圆形信号区域半径为 R ，多边形半径为 r （自变量），则图形按图 3.3.1 分割为以下四个部分：

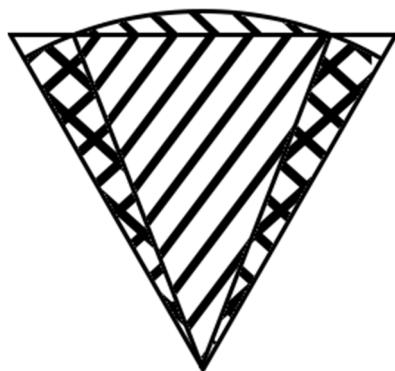


图 3.2 分割示意图

(1) 大扇形：向左上倾斜阴影区+向右上倾斜阴影区+交叉阴影区

$$S_1 = \frac{1}{6}\pi R^2, \frac{dS_1}{dr} = 0$$

(2) 小扇形：向左上倾斜阴影区+向右上倾斜阴影区

$$S_2 = R^2 \cos^{-1} \frac{r}{R}, \frac{dS_2}{dr} = -\frac{R^2}{\sqrt{R^2 - r^2}}$$

(3) 大三角形：向右上倾斜阴影区+交叉阴影区+空白区

$$S_3 = \frac{\sqrt{3}}{3} r^2, \frac{dS_3}{dr} = \frac{2\sqrt{3}}{3} r$$

(4) 小三角形：向右上倾斜阴影区+交叉阴影区+空白区

$$S_4 = r\sqrt{R^2 - r^2}, \frac{dS_4}{dr} = \frac{R^2 - 2r^2}{\sqrt{R^2 - r^2}}$$

由于示意图中向左上倾斜阴影区会对其相邻的六边形区域造成干扰，所以有效的覆盖区域为：向右上倾斜阴影区+交叉阴影区-向左上倾斜阴影区，覆盖率为此区域面积除以三角形面积，即等覆盖率根据六边形半径的函数如下：

$$\text{Accuracy}(r) = 1 - \frac{(S_2 - S_4) + \{S_3 - [S_1 - (S_2 - S_4)]\}}{S_3}$$

对函数求导，按照导数为 0 即可算出覆盖率最大时的六边形半径及最大的覆盖率

$$\begin{aligned} \frac{d\text{Accuracy}}{dr} &= 0 \Rightarrow r = R \cos \frac{\pi}{12} \\ \max(\text{Accuracy}) &= \frac{2\sqrt{3}}{2+\sqrt{3}} \approx 0.9282 \end{aligned}$$

根据五米的有效距离，可算得多变形半径为 4.83 米。

第四章 边界区布点策略

第一节 停车场室内设计及数据存取

现代建筑和室内设计行业一般使用 CAD (Computer Aided Design) 软件进行图纸设计, CAD 文件是停车场建设前就必须生产的文件。因此最容易获取停车场数据的方式为从 CAD 中导出数据。CAD 软件可输出的数据为组成停车场地图的线段的两个端点的 x, y 坐标。因此地图的储存方式为线段坐标矩阵 ($n \times 4$ 矩阵)。本论文及测试软件中使用的地图为某活动中心地下停车场地图。图 4.1 展示了在 CAD 中设计界面和数据导出窗口。使用的软件为 Autodesk AutoCAD 2014 英文版。

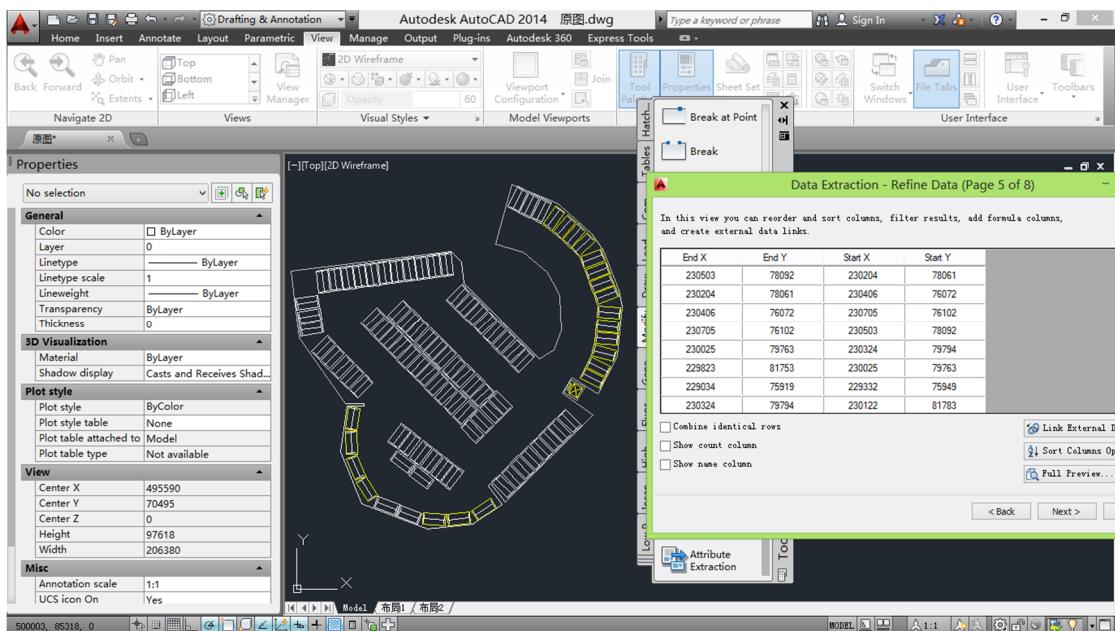


图 4.1 AutoCAD 软件工作台

第二节 边界区域布点关键问题

4.2.1 承重墙

现代建筑的设计越来越复杂, 地下停车场为了配合复杂的地上建筑, 不得不设计成相应复杂的形状。而承重墙正是地下停车场中常见的结构。在承重墙附近, 由于蓝牙信号较为微弱且不稳定, 在被墙体阻隔后, 蓝牙信号会变得极为微弱, 甚至消失, 这将造成信号覆盖的盲点。此外, 如果人处于墙体一端, 而定位显示

区域的中心在墙体另一端，也会造成用户体验不佳。因此需要尽量使 iBeacon 信号源远离墙体。

4.2.2 边界

由于地上建筑或规划地的限制，地下停车场整体形状往往不再是传统的矩形，而更多是呈现出不规则的形状。若过多的 iBeacon 设备布置在边界上，将会导致这些在边界附近的信号源覆盖能力的浪费。这样会导致使用的 iBeacon 设备数量增加，从而导致成本增加。

4.2.3 狹窄走廊

在用户直线运动时，一般是希望定位的区域也是线性变化的。然而由于定位区域是使用六边形描述的，在狭窄的走廊（宽度为 1~2 个有效距离）中，若信号源恰好位于走廊两侧，就会导致定位区域不断左右跳动，造成不好的用户体验。

第三节 布点模型及实现

由上一节可知，考虑边界区域信号源布点时，虽然已经确定了平面覆盖方案，仍需要综合评估多种实际环境限制下使用布点重复模式覆盖实际地图时的角度和位置。综合上节中提到的三种实际情况，提出使信号源尽量远离边界线的布点原则。根据这个原则，理想情况下 iBeacon 信号源的覆盖范围（正六边形）将不与停车场边界和承重墙相接，从而减少布点成本和位置误判；在狭窄走廊中信号源与走廊平行，集中在走廊中线上，从而提高用户体验。

在布点的重复模式确定的情况下，不同的布点方案相当于将停车场的地图以不同的角度选择后放在一个用正六边形覆盖的平面上，在地图内的六边形中点即为信号源位置。由于旋转角度和放置位置（用地图左上角坐标表示）的取值范围是连续的，且地图的形状各式各样，因此难以列出统一的计算公式或简单遍历所有可能性。本文使用启发性算法（模拟退火算法）计算最优角度和坐标。在 Matlab 中，依据以下步骤实现模型。

4.3.1 生成取值平面

一次性生成一张足够大的取值平面可以避免每次布点网和地图的相对位置改变后重新生成布点网，可以节约运算时间。为了计算取值平面的大小，需要考虑布点网和地图间可能的相对位置情况。当使用地图左上角及地图旋转角度描述相对位置时，角度的取值范围 360 度，而点要保证在其取值范围内能覆盖所有可能的情况。由于每个信号源的覆盖范围是正六边形，布点网对于每一个其中的信号点都是呈中心对称的，共六条对称轴，将六边形切割为 12 个直角三角形。当地图在取值平面上根据对称轴翻转时，其相对的布点情况是不变的，因此取一个直角三角形（最小角为 30 度）作为地图左上角的取值范围。

由于旋转的取值范围为 360 度，生成取值平面时要用地图中的最长线（对角线）计算预留的空间。准确的取值平面如图 1，为了简化图形，使用图中的矩形作为取值平面。根据取值平面生产布点图 2。

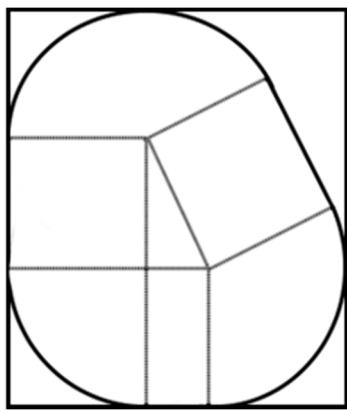


图 4.2 地图扩充方案

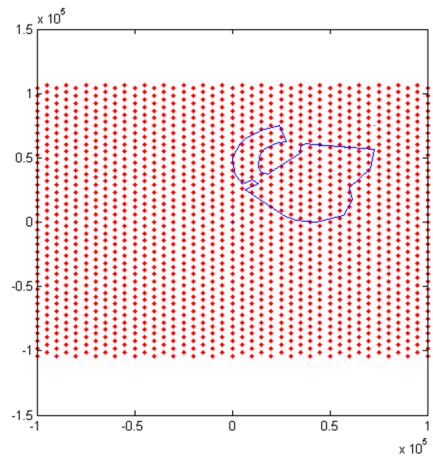


图 4.3 生成全局布点网

4.3.2 判断停车场内信号源

为了使最终直接生成信号源坐标，在实际运算中通过移动和选择布点网改变布点策略。由于布点网是通过点坐标矩阵的形式存储的（ $n \times 2$ 矩阵），可直接通过乘旋转矩阵和加减位移矩阵实现相对位置的改变。

在改变布点网和地图的相对位置后，需要判断哪些信号源位于地图内。该过程为判断一点是否在多边形内。具体的算法为遍历每一个信号源点，对每一个信号源点执行以下判断：以该点为端点作与水平成 90, 45, 0 度的三条射线，其中至少一条射线穿过多边形边界（非端点）的次数为奇数，则该点位于多边形内。

由于停车场地图是以线段形式存储的，而且多边形内部存在墙体，因此取三条射线进行判断，防止单一射线穿过线段端点或内部墙体的情况导致的误判。图 4.4 展示了顺时针旋转 45 度， x ， y 位移均为 1 米变换后，进行判断后的布点图。

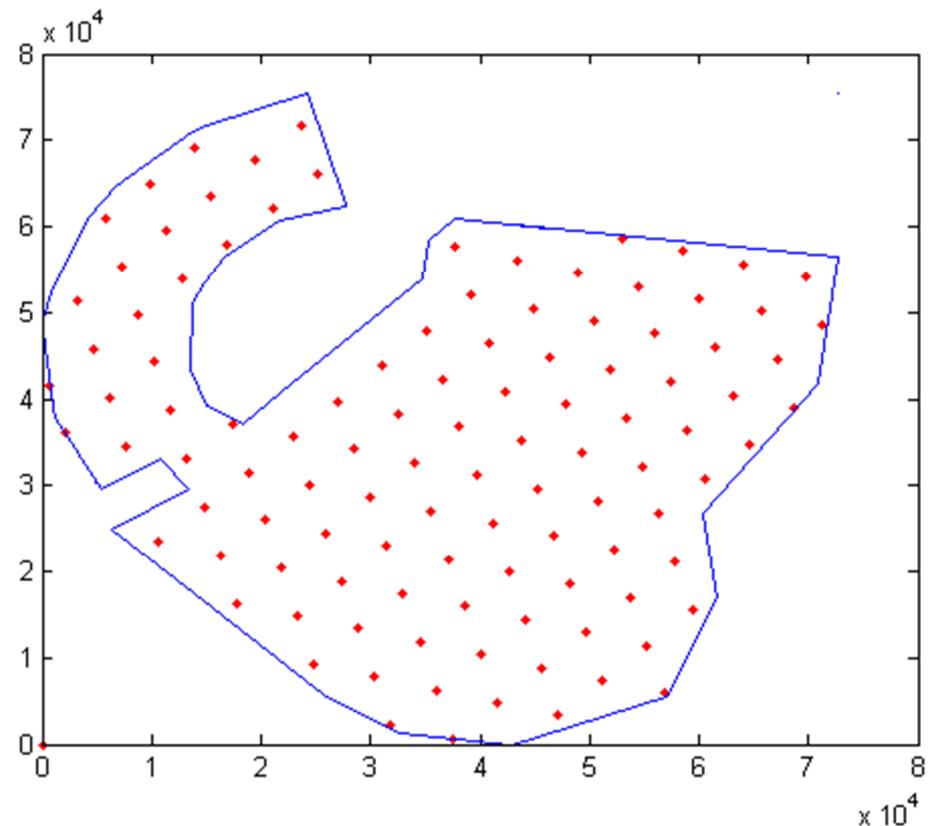


图 4.4 有效信号源

4.3.3 判断边界信号源

为了使信号源计量远离停车场边界，需要计算出边界点距离边界的平均距离，然后进行优化。判断边界点的算法为：计算在多边形内部所有信号源点与边界线段的距离，若改点与任一边界线的距离小于有效距离（5 米），则判定该点为边界点。在判断的同时，记录小于有效距离的数据（一个边界点可能产生多个数据），判断结束后计算平均值。图 4.5 展示了该算法的判断效果，其中被圈住的点为边界点，边界点与边界的平均距离为 2.51 米。

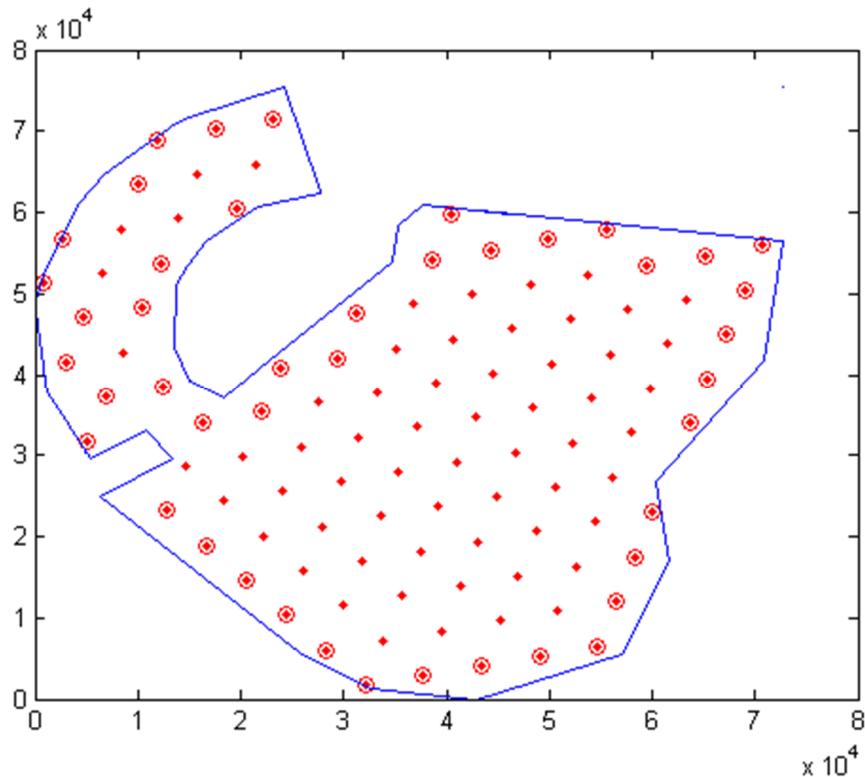


图 4.5 边缘信号源

4.3.4 模拟退火过程

由于当改变位移和旋转角度时，边界点与边界线的平均距离是连续变换的，可使用模拟退火算法获取因变量的全局极值。

模拟退火算法是 1983 年由 S. Kirkpatrick 正式提出的基于加热后的固体在的退火过程抽象的启发性随机寻优算法。其模拟降温的物理过程从高温开始逐步降温，每个离散的降温过程中自变量进行概率性变化，根据其变化前后目标函数求得的因变量变化情况决定接受新解的概率。由于自变量能在解空间中进行概率性突变，就可以跳出局部的极值，在足够长的降温过程后能寻找到全局最优值。

设计模拟退火方案时，最为关键的步骤是变换能量的计算。变换能量决定新解被接受的概率大小。在本文的实验中，自变量（ x, y 位移和选择角度）新的取值服从以当前自变量为中心的正态分布。变化前后的能量大小为平均距离的变化值。若能量变化为正值，即变化后平均距离大于变化前，则变化后更优，直接接受新解。若能量变化为负值，则将变化值除以当前温度的商（负值）作为自然对数的次数计算随机变量（取值为 0 到 1），若其大于 Matlab 生成的随机数，则

接受新解。

本文的实验在模拟退火算法内部使用多次迭代扰动的蒙特卡洛过程进行降温时的重复实验。初始温度为 500，降温至 0.01，每次降温过程迭代 20 次。实验使用的计算机 CPU 为 Intel Core i5-2430M，2.4GHz，Matlab 版本为 R2012b。运算过程平均 CPU 占用率 32%，内存占用 309.2MB。图 4.6 展示了实验过程中的目标函数变化过程。

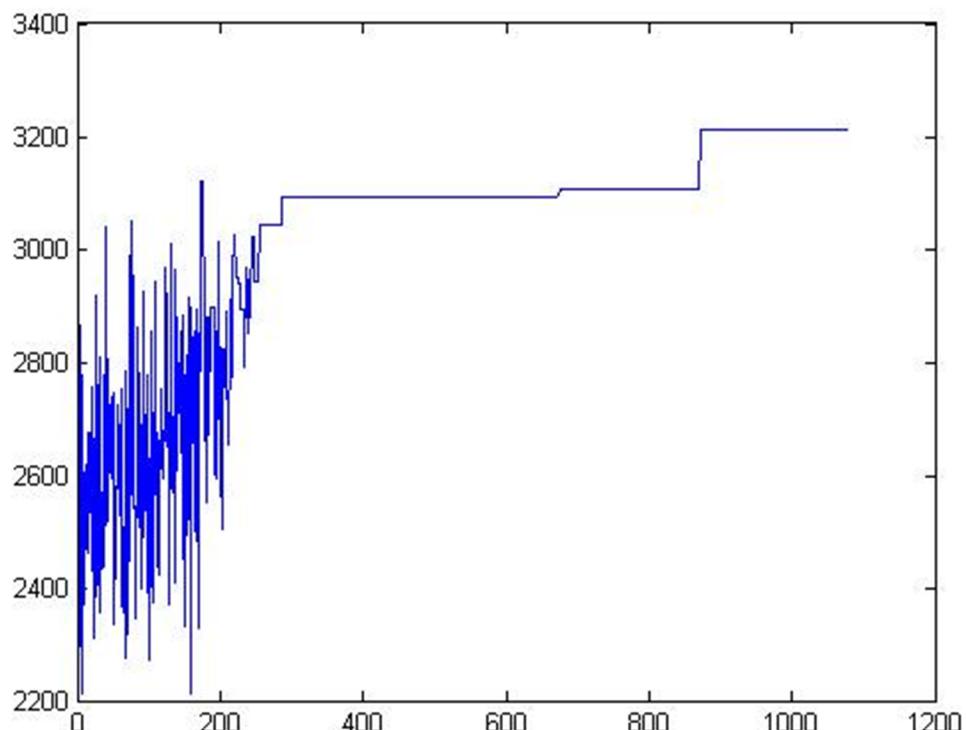


图 4.6 模拟退火优化过程

从实验结果可知，共进行了约 1500 次降温，布点网与地图边缘的平均距离从最小的接近 2.2 米达到最终趋于稳定的 3.2 米。整个优化过程也经历了前期的波动和后期的稳定的过程。最终的优化结果为：x 位移 2.81 米，y 位移 1.38 米，旋转角为 0.639。从最终生成的布点网来看（文中未展示），主要的优化的是与较长的规则边缘间的距离，如大片的直墙体等。

第五章 系统需求分析

完成对布点策略的研究后，接下来的几章描述的是基于上述布点和定位策略的寻车系统的设计和实现。寻车系统的核心功能包括室内定位、导航和位置管理。为方便实际用户使用，用户系统在 Android 上实现。

第一节 用户需求描述

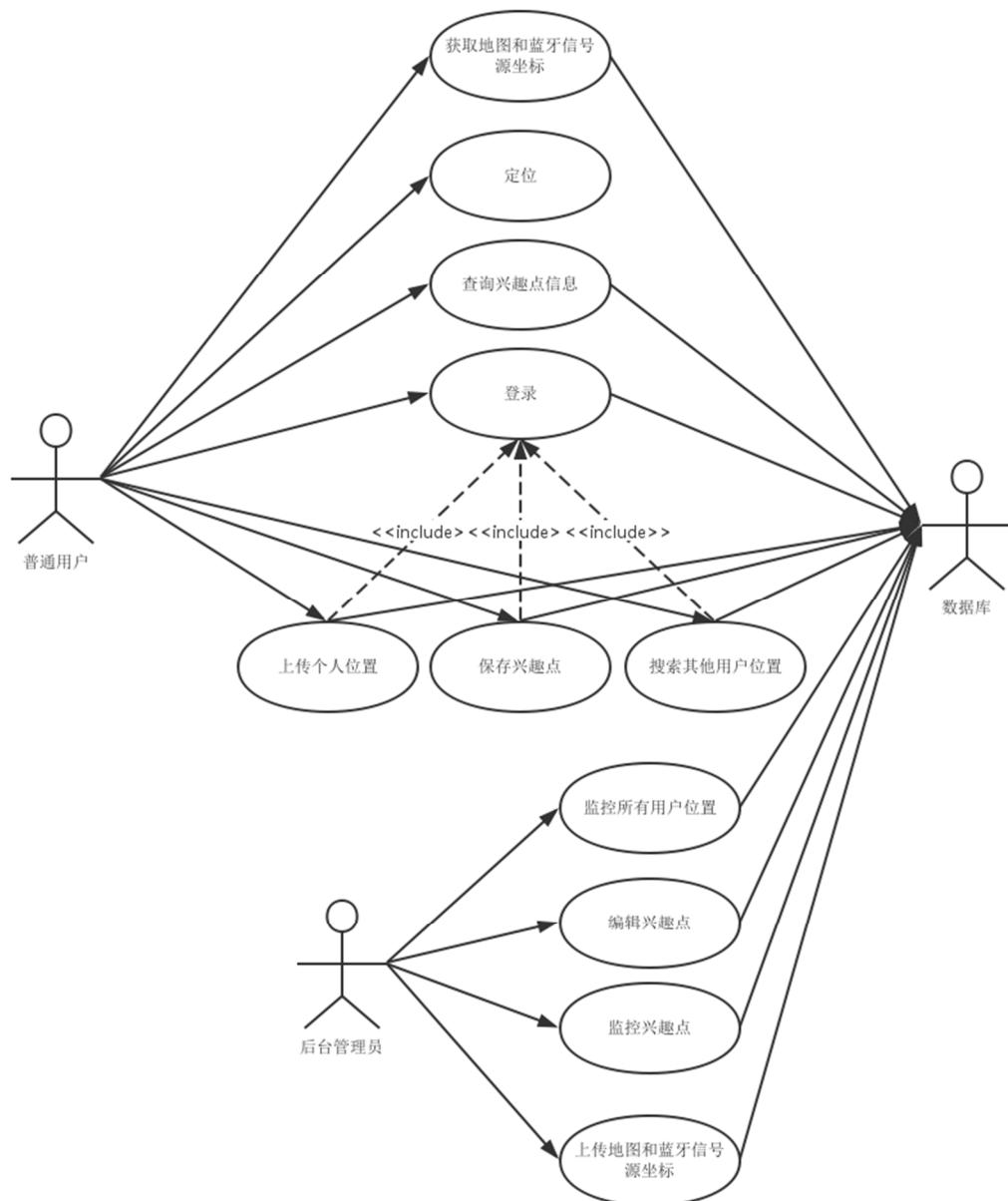


图 5.1 系统用例图

使用该系统的主要包括普通用户和后台管理员两种用户，加上数据库，共三个角色。参考一般定位系统和综合室内系统的特点，普通用户可获取停车场包括地形、道路、关键地点等信息。需要登录后操作包括保存各类个性化信息，由于这些信息需要用户信息进行标识。一个用户可以通过系统寻找其好友（获取另一用户的即时位置坐标）。管理员则可检测和管理所有数据，包括上传地图原始数据和用户信息。

第二节 系统任务

寻车系统主要负责实时室内环境定位、制定目的地导航、位置保存、位置共享等功能。为了方便用户个人的寻车需求，系统除了要满足基本导航系统的定位和导航功能外，还需实现用户寻找指定位置或其他用户的个性化功能。该系统中使用兴趣点概念泛化一切保存在数据库中的坐标点，包括用户记录的个人坐标、停车场标定的车位坐标等。

系统主要待实现功能包括用户信息管理、地图信息管理、用户定位、导航、兴趣点管理、位置共享。以下分别对各功能进行概述。

- (1) 用户信息管理，主要负责管理用户的登录信息、个人信息和好友信息等基本设置。包括登录、注册、密码更改、个人信息填写和更改、好友添加和删除、用户查找等功能。
- (2) 地图信息管理，主要负责以三维图形展示停车场中墙体、车位、电梯口等信息。包括地图信息获取、三维视图构建和展示、变换视图操作、兴趣点展示以及管理员从后台管理相关信息等功能。
- (3) 用户定位，主要负责通过接收附近的蓝牙信号源的信号、确定实时坐标并在地图上显示。包括获取信号源坐标、接收信号源发射的标识编码、确定当前所在区域、显示位置等功能。
- (4) 导航，主要负责根据路径信息和给定的地图中起点、终点坐标后，确定可行的最短路径。包括获取路径信息、用户地图坐标交互、路径运算、路径显示等功能。
- (5) 兴趣点管理，主要负责管理用户创建的坐标点和地图中的关键位置。包括获取坐标点、创建和编辑个人坐标点、搜索兴趣点、查找兴趣点信息、查

找附近兴趣点等功能。

- (6) 位置共享，主要是负责帮助用户间确定其他用户（好友）的位置，以帮助用户在室内寻人的要求。包括位置上传同步、权限确认、位置下载及显示等功能。

根据以上所示的功能要求，系统储存和管理的相关数据主要包括用户信息、信号源信息、地图信息、关键地点信息等，这些信息实体需要在数据库中有独立的表单记录。以下分别对各功能模块进行概述。

- (1) 用户信息，系统中主要包括普通用户和管理员两种用户。两种用户信息都包括登录信息、基本信息。用户间需要储存记录好友关系的信息。
- (2) 信号源信息，即 iBeacon 设备相关的信息。主要包括信号源的标识码和位置坐标信息。由管理员从后台进行管理维护，对普通用户透明。普通用户开启客户端时自动获取所有信号源信息。
- (3) 地图信息，包括地形信息、道路信息等与地图相关的信息。由管理员在系统构建时从后台录入，并可从后台管理系统进行管理。普通用户在开启客户端时从服务器下载该信息。
- (4) 关键地点信息，关键地点包括用户保存的个人位置和地图创建时为方便用户寻找创建的关键地点信息。该信息包括地点名称、位置坐标、访问权限（公开或私有）、创建时间等。由于存在大量用户建立的位置，必须存在定期清除过期记录的机制。

第三节 功能模块

根据系统的功能需求和数据结构，将系统划分为用户信息管理、地图信息管理、关键地点管理、信号源信息管理、后台信息管理五个相对独立的功能模块，以指导系统开发。以下是关于各个模块的概述。图中显示系统结构和每个功能模块所涉及的数据。

- (1) 用户信息管理模块：主要实现用户信息及与其相关的兴趣点信息的增删改查，根据登陆用户信息确定其访问权限。
- (2) 地图信息管理：主要实现与地图相关的固定信息（地形、道路信息）的录入（管理员操作）和读取（普通用户操作）。

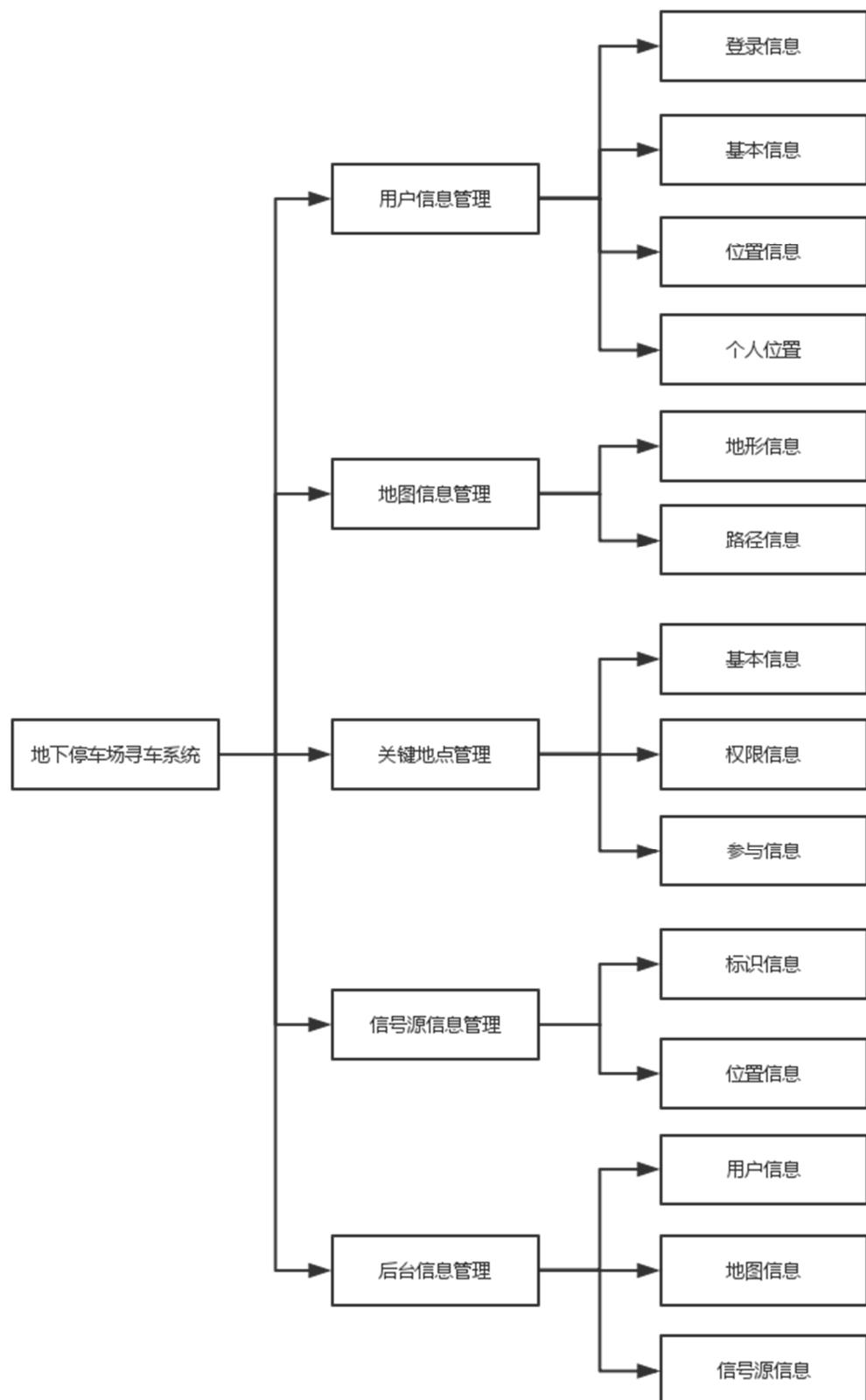


图 5.2 系统功能模块图

- (3) 关键地点管理：地图中固定的关键点（管理员添加）主要包括停车位、电梯口、出入口等常用位置。而用户建立的个性兴趣点则主要为停车的地点。每个兴趣点创建时都要求有基本信息，以供搜索。两种兴趣点依靠权限区分：前者为公开，后者为私有。
- (4) 信号源信息管理：信号源（iBeacon）的信息由管理员添加。其坐标根据布点策略算出。考虑到多层的地下停车场，除了水平的 x、y 坐标，信号源还必须有 z 坐标，以标识其所在楼层。
- (5) 后台信息管理：后台休息库由管理员通过后台登录管理。管理包括地图、信号源等固定信息。为了达到更好的代码复用，使用 web 的方式部署后台管理系统。这样数据库读取和后台逻辑代码可同时服务后台管理系统和手机客户端。

第六章 系统数据库设计

第一节 数据库简介

服务器端数据库采用 MySQL 5.1 这个版本，MySQL 是一个关系型数据库管理系统，由瑞典 MySQL AB 公司开发，目前属于 Oracle 公司。MySQL 是一种关联数据库管理系统，关联数据库将数据保存在不同的表中，而不是将所有数据放在一个大仓库内，这样就增加了速度并提高了灵活性。MySQL 的 SQL 语言是用于访问数据库的最常用标准化语言。它分为社区版和商业版，由于其体积小、速度快、总体拥有成本低等特点。MySQL 有着它占用空间小的特点，服务启动速度快，配置方便，并且提供一定的安全服务支持，比较适合中小型项目的开发。在本项目的开发中，MySQL 对于我们的开发过程是极其方便的，通过 MySQL GUI Tools 加速了数据库的管理速度。

我们在建立项目数据库时使用了通过概念模型图以及物理模型图生成表及其字段，最终分析表间关系生成最终的数据库结构的方式，提高了我们的设计和建立数据库的速度。下面对数据库的设计结构、ER 图以及数据字典进行阐述和说明。

第二节 数据库 ER 图

通过需求分析，可获取到系统涉及的数据结构：包括用户、兴趣点、信号源、墙体和道路节点五个实体及其相互间的关联项。系统的数据结构较为简单，不包含多值属性。为了进一步简化对数据进行增删改查操作的流程和规范化表单以提高储存效率，对用户和兴趣点不进一步进行细分，而是直接使用单一的泛化表格，通过类型区分不同用户（普通用户和管理员），通过权限区分不同兴趣点（公开和私有）。

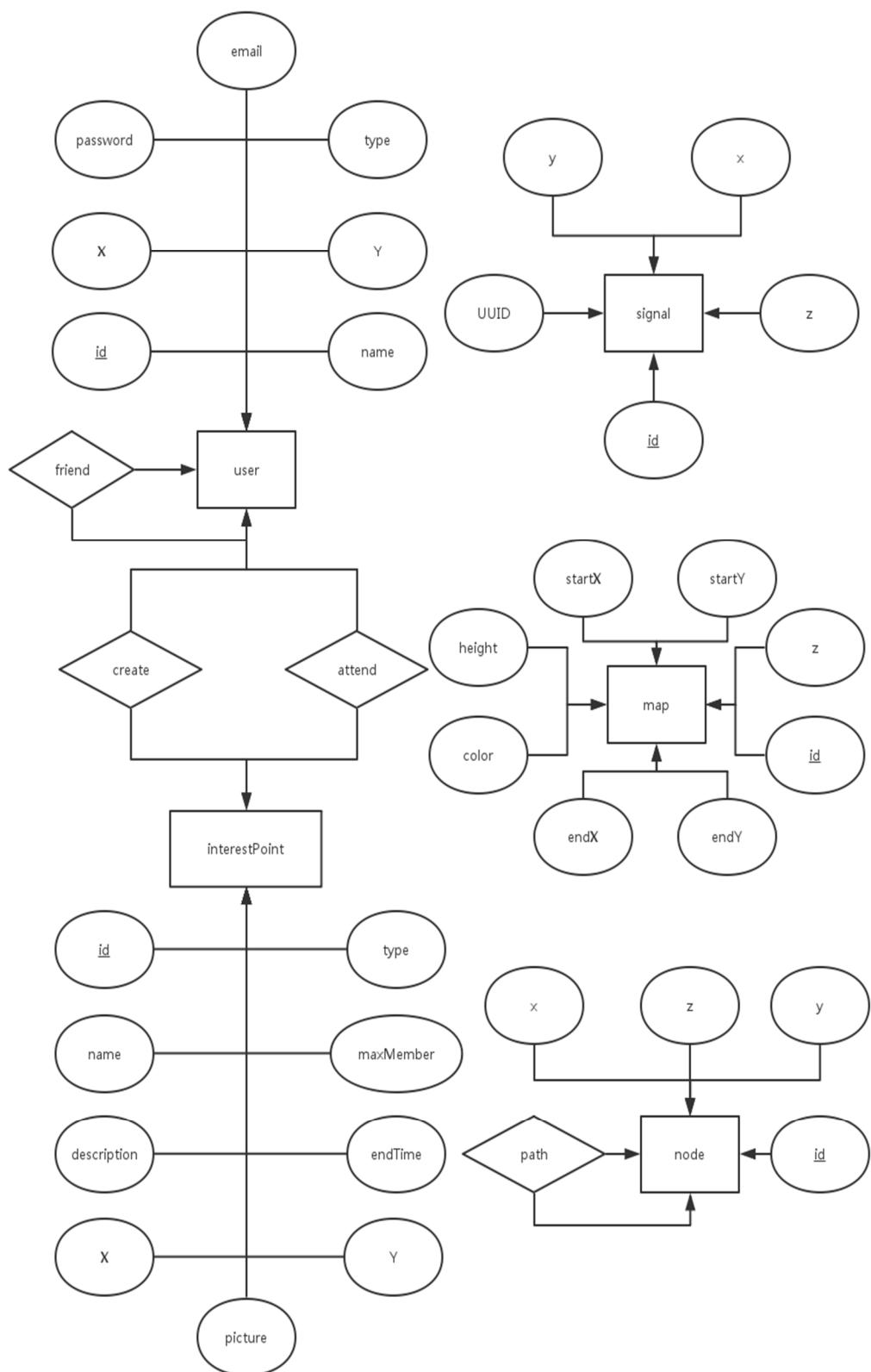


图 6.1 系统 ER 图

第三节 数据字典描述

用户信息表（User）的定义如表 6.1 所示。

字段名称	字段描述	数据类型	可否为空	说明
Id	用户编号	Integer	主键+外键	自动增加
Email	用户邮箱	Varchar(45)	否	用户的单一标识
Password	用户密码	Varchar(45)	否	MD5 码
Name	用户名称	Varchar(45)	否	搜索用户凭据
Type	用户类型	Integer	否	取值为 0 或 1
X	X 坐标	Float	是	
Y	Y 坐标	Float	是	

表 6.1 用户信息表

地图信息表（Map）的定义如表 6.2 所示。

字段名称	字段描述	数据类型	可否为空	说明
Id	墙体编号	Integer	主键	自动增加
Type	类型	Integer	否	区分类型
Startx	起点 X 坐标	Float	否	
Starty	起点 Y 坐标	Float	否	
Endx	终点 X 坐标	Float	否	
Endy	终点 Y 坐标	Float	否	
Height	墙体高度	Float	否	

注：墙体的两端实际上是无起点终点之分的。除了实际墙体外，地图中的停车位、路标线等标记线都是储存在该表中，根据 type 属性进行区分。

表 6.2 地图信息表

节点信息表（Node）的定义如表 6.3 所示。

字段名称	字段描述	数据类型	可否为空	说明
Id	路径编号	Integer	主键	自动增加
X	起点 id	Float	否	
Y	终点 id	Float	否	

表 6.3 节点信息表

路径信息表 (Path) 的定义如表 6.4 所示。

字段名称	字段描述	数据类型	可否为空	说明
Id	路径编号	Integer	主键	自动增加
StartP	起始节点 id	Integer	否	
EndP	终止节点 id	Integer	否	

表 6.4 路径信息表

兴趣点信息表 (Interestpoint) 的定义如表 6.5 所示。

字段名称	字段描述	数据类型	可否为空	说明
Id	兴趣点编号	Integer	主键	自动增加
Name	兴趣点名称	Varchar(45)	否	搜索用户凭据
Type	兴趣点类型	Integer	否	标识公开或私有
X	X 坐标	Float	否	
Y	Y 坐标	Float	否	
Picture	兴趣点图片	Varchar(45)	是	储存图片路径
Description	兴趣点描述	Varchar(300)	是	
Endtime	结束时间	Timestamp	否	

表 6.5 兴趣点信息表

好友信息表 (Friend) 的定义如表 6.6 所示。

字段名称	字段描述	数据类型	可否为空	说明
Id	关系编号	Integer	主键	自动增加
Fid1	用户编号	Integer	否	依赖于用户表
Fid2	用户编号	Integer	否	依赖于用户表

表 6.6 好友信息表

创建信息表 (Friend) 的定义如表 6.7 所示。

字段名称	字段描述	数据类型	可否为空	说明
Id	关系编号	Integer	主键	自动增加
Uid	创建者编号	Integer	否	依赖于用户表
Pid	兴趣点编号	Integer	否	依赖于兴趣点表

表 6.7 创建信息表

参与信息表 (Attend) 的定义如表 6.8 所示。

字段名称	字段描述	数据类型	可否为空	说明
Id	关系编号	Integer	主键	自动增加
Uid	参与者编号	Integer	否	依赖于用户表
Pid	兴趣点编号	Integer	否	依赖于兴趣点表

表 6.8 参与信息表

第七章 用户界面设计与系统实现

本章描述了 Android 手机客户端和 Web 后台管理系统的界面设计原型和跳转结构。设计过程从实际功能出发，根据用户使用软件时的操作路径（流程图）独立实现各功能节点上的界面，并保持相同的控件和布局风格。

第一节 界面设计

7.1.1 手机客户端操作流程分析

通过对普通用户相关的功能模块分析，可得普通用户通过手机客户端进行的业务流程图，如图 7.1.1 所示。

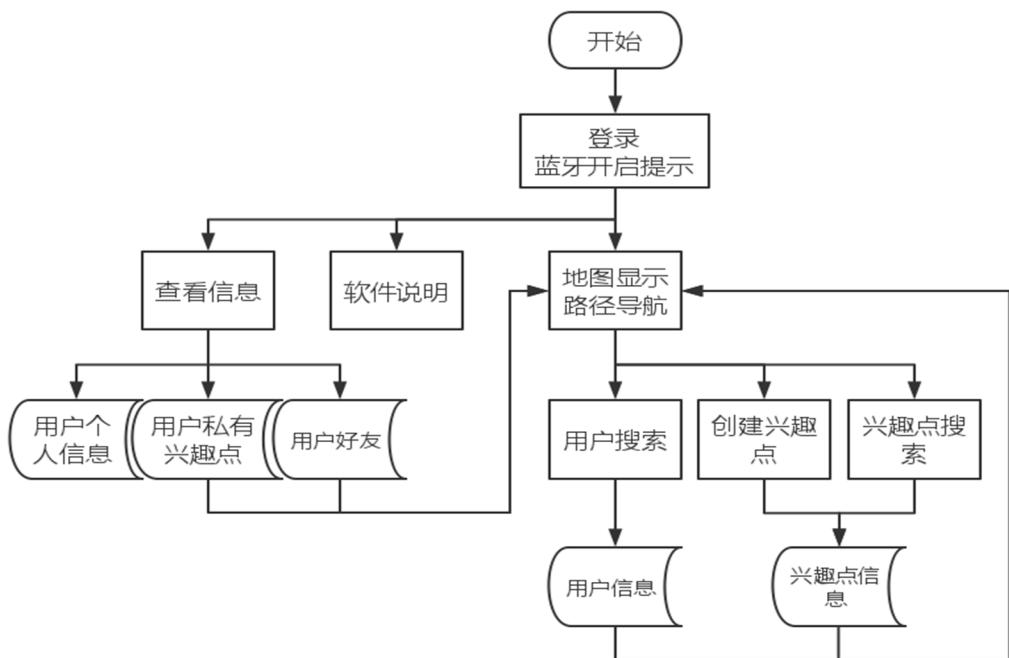


图 7.1 手机客户端流程图

根据客户端的操作流程图可知，打开软件后的第一步为提示打开蓝牙功能和身份验证，该部分可以弹窗形式实现，为强制执行的任务。软件的菜单页面（首页）提供三个跳转项。

软件说明为简单的单页面，主要介绍软件使用方法和制作信息等。

用户信息查看页面展示与用户直接相关的个人信息、私有兴趣点和好友，以

列表显示展示，在个人信息列表中可对信息进行更改和打开/关闭位置共享功能。在私有兴趣点和好友列表中可跳转到详细信息页面，通过“在地图中显示”功能可跳转至地图页面且以点的形式显示兴趣点或用户所在位置。

地图界面是软件的核心界面。参考传统的导航软件进行界面实现。用户可直接通过点击地图进行交互。在该界面中，用户可通过关键字搜索兴趣点、用户及获取附近兴趣点，并通过搜索结果列表跳转到信息界面（可通过“在地图中显示”功能回到地图界面）。地图界面中，以六边形形式展示用户位置，以点形式展示兴趣点。同时可通过“导航”功能在地图上显示路径。

7.1.2 后台管理系统操作流程分析

通过对管理员相关的功能模块分析，可得管理员以 Web 网页形式进行的业务流程图，如图 7.1.2 所示。

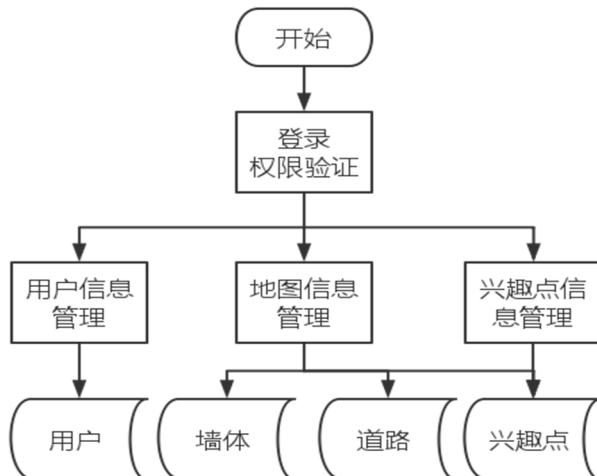


图 7.2 管理系统流程图

后台管理系统的结构相对简单，主要是提供对数据库信息直接进行增、删、改、查等操作的管理接口。整体上采用简洁商业网站的动态列表形式展示。进入网站必须进行登陆，且用户类型必须为管理员，才能进入系统。管理员身份信息在登陆时提前记录，在添加兴趣点时作为创建人信息。主要分为三个页面，其中用户信息和兴趣点信息管理页面以表单形式展示数据列表，可对数据进行批量处理。地图信息以平面图形式展示墙体、道路和兴趣点的位置。每个实体可在单独页面中展示具体信息。

第二节 系统分析与设计

由于系统的主要功能模块都是部署在手机客户端上,后台客户端的任务基本上从属于客户端任务。系统部署在 Android 平台上,后台服务器为 tomcat7.0,后台逻辑代码使用 Java 语言编写。

7.2.1 客户端分析

系统分析是从代码实现角度考虑,综合系统逻辑流程和数据结构,根据面向对象编程原理构建类结构。以接口的形式描述系统中各个类的属性、方法以及类与类之间的访问调用关系。最后生成的分析类图是进行核心代码实现的指引图。

由于系统的数据结构较为简单,各数据类间联系较少,这是数据库设计时考虑简化数据结构需求的结果。简化后的数据结构有效减少数据实体间的依赖,使数据增删更自由。但这样是系统实现过程中对逻辑处理部分代码的要求就会更高,不仅限于数据的增删改查等简单工作,因此分析类图中使用单独一个类来刻画逻辑代码实现。

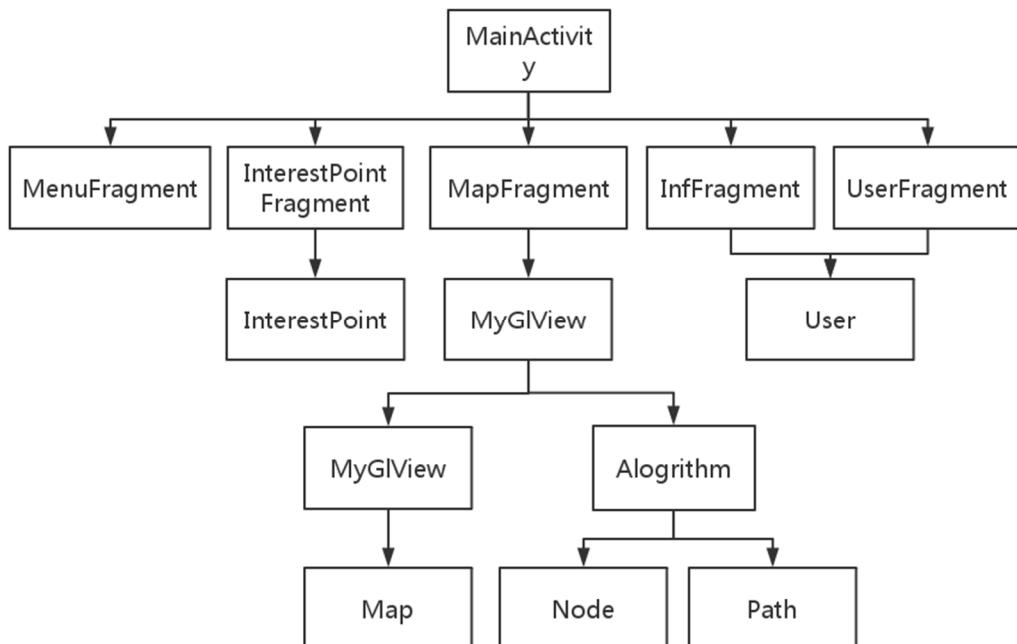


图 7.3 客户端分析类图

由于版面的限制和突出关键软件结构的考虑，上图仅展示了部分的类结构。主要展示了类间的包含和调用关系，主要关注以下两点：

1. 通过统一的 `MainActivity` 管理蓝牙信号接收功能模块。在该类中监测 iBeacon 设备信号强弱，信号源增减等实时信息，而 `Fragment` 类则主要负责界面的布局。此外，`MainActivity` 中保存包括从服务器上下载的公共信息和临时数据，以供 `Fragment` 间相互交流。
2. `Algorithm` 类中主要包括两个方法，是定位算法和寻径算法的实现。前者接收信号源信息输入，输出位置坐标。后者接收起点和终点坐标输入，输出路径 `Path` 对象链表。

7.2.2 服务器端设计

与客户端相比，服务器端所提供的功能相对简单。服务器端主要负责与客户端间的网络交互和对数据库进行读写操作。因此服务器端的实现主要分为数据库访问和网络连接两个部分。此外，为了给管理员提供 Web 形式的功能，必须编写相关的网页布局文件。鉴于服务器处理的逻辑简单，本部分仅展示系统的设计，即具体的实现结构。

服务器系统采用 MVC 设计模式开发，以降低层间的耦合性和代码的可复用性。MVC 全名是 Model View Controller，是模型 (model) — 视图 (view) — 控制器 (controller) 的缩写，一种软件设计典范，用一种业务逻辑、数据、界面显示分离的方法组织代码，将业务逻辑聚集到一个部件里面，在改进和个性化定制界面及用户交互的同时，不需要重新编写业务逻辑。

服务器端的设计类图展示了系统的具体架构。`db` 层实现建立数据库连接和执行 `sql` 语句的功能。其中的配置文件中写入数据库名、登陆名、密码、端口等参数，可通过修改配置文件直接修改所访问的数据库。`po` 层中每一个类对应数据库中一张表，包含表的属性及其 `get`、`set` 方法。`po` 层是数据库的映射。`dao` 层实现对数据的增删改查操作，通过调用 `db` 层方法实现，包含的类基本上与 `po` 层对应。`biz` 层通过结合不同的 `dao` 层方法实现具体的服务。具体的服务逻辑，如密码验证、数据读写整合等，在本层进行实现。`biz` 和 `dao` 包中存放接口，通过相应的 `impl` 包中的类继承实现其方法。`servlet` 层实现底层代码与前端的拼

接。具体实现从前段页面获取信息和页面跳转逻辑。

注：由于版面限制，设计类图中并未完全标注所有类，以实际项目为准。

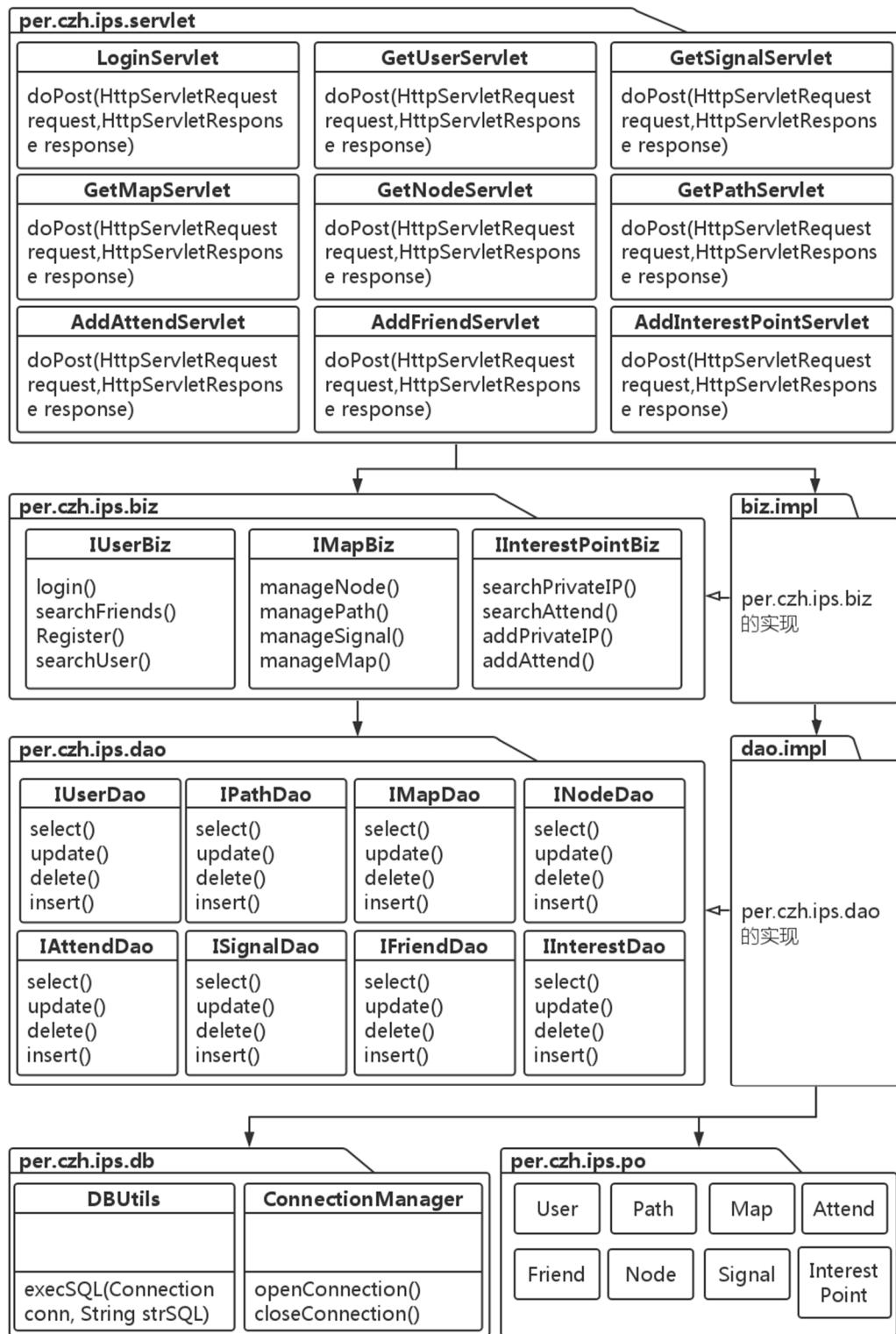


图 7.4 服务器端设计类图

第三节 关键技术难度及解决方案

本节主要阐述了在系统实现过程中的三个技术上的难点，并分别使用计算机图形学、离散数学算法和多线程编程的方法提出实现过程中相应的解决方案。

7.3.1 地图绘制

由于系统实现的导航系统是针对室内环境的，三维的立体地图较平面的贴图更直观，更符合人们的认知需求。因此在软件的 2.0 版本中将原来的平面地图改为三维图。

在手机上实现三维的图形绘制和相关操作需要调用 Android 系统上的三维绘图库：OpenGL。在获取到地图中墙体的坐标及其高度后，将每一片墙体作为单独的矩形进行绘制。由于在数据库中每片墙体都是单独储存的，因此这样的操作较为简易。在墙体绘制是采用固定的本地坐标系，地图的旋转、缩放、移动等操作通过单独的移动摄像机操作实现。在界面代码实现中需要继承 OpenGL 中的 Render（绘图界面，进行图像渲染）和 GLSurfaceView（界面的容器，可用于接收用户触摸命令）两个类并自定义绘图和操作的方法。然后将重定义的 MyG1View 类（继承 GLSurfaceView）以 View 形式部署到地图界面 MapFragment 中。地图的具体绘制由 MyG1Render 负责，而定位、寻径等算法则在容器 MyG1View 中调用。由于 Android 系统对其内置的 OpenGL 库进行过优化，可很流畅地渲染停车场这种低运算量的是三维图。

7.3.2 路径算法

数据库中路径的储存方式是单独存储路径节点，道路是以节点间的关联关系来储存的，即单独存储每一条路径的起点和终点的节点编号。这样的储存方式能有效地储存有单行、双行线（在 path 表中有两条记录，起点和终点颠倒）形式的道路并为计算最短路径的离散数学算法提供便利。

在实际的软件中，用户通过手指触碰屏幕直接规定导航的起点和终点。由于用户规定的点不一定位于道路上（实际上通常并不恰好位于路径上），在计算路劲前必须先计算距离起点和终点最近的节点作为实际起终点。而在道路显示时，则除了高亮显示要经过的道路外，还需连接用户指定的起终点和实际起终点。

在获取到起终结点后，即可使用求解有向图最短路径的 Dijkstra 算法获取导航路径。传统的 Dijkstra 算法的实际操作过程如下：

设图 G 的顶点集为 V，边集为 E，源顶点为 V0，U={V0}，dist[i]记录 V0 到 i 的最短距离，path[i]记录从 V0 到 i 路径上的 i 前面的一个顶点。

1. 从 V-U 中选择使 dist[i] 值最小的顶点 i，将 i 加入到 U 中；
2. 更新与 i 直接相邻顶点的 dist 值。

$$dist[j] = \min\{dist[j], dist[i] + matrix[i][j]\}$$

3. 直到 U=V，停止。

理论上的 Dijkstra 算法的最终结果为从起点到图中任意其他端点的最短距离。而每一次向 U 中添加端点时，意味着已经得到起点到该端点的最短距离及相应的路径。由于实际上只需要获取起点到终点的路径，当终点被加入到 U 中时，就可以终止算法。在实际按以下步骤进行代码实现：

1. 设 U={V0}，边集 L={}，R={};
2. 从 V-U 中选择使 dist[i] 值最小的顶点 i，将 i 加入到 U 中，将边；
3. 更新与 i 直接相邻顶点的 dist 值。
4. 重复步骤 2，3 直至 U 中包含终点 Vd；
5. 从 L 中选出以 Vd 为终点的边 VnVd，加入 R；
6. 将前一步中加入 R 的边的起点作为终点，重复步骤 5；
7. 直至 R 中包括以 V0 作为起点的边，此时 R 即为所求路径。

在实际计算中，直接使用两点间距离作为 dist 公式。需要特别说明的是，在已经商业化应用的 GPS 导航系统中应该并不是单纯使用这种遍历式的算法。但是考虑到停车场的道路数量有限，可使用这样较简单的方法。

7.3.3 位置同步

位置同步功能是指用户开启该功能后，客户端后台可不断向服务器提交实时的位置。并且可获取同样开启了该功能的好友的位置并在地图上显示。这要求定时与服务器间的高频信息交互。软件中使用多线程的结构实现该功能。上传位置的线程每当位置改变时被调用，而获取其他用户位置的线程则以固定的频率调用。

第八章 软件效果图

本章使用最终开发完成的手机软件截图形式展示项目的效果图及完成系统各项功能的相关操作图示。



图 8.1 登陆界面



图 8.2 菜单页面



图 8.3 用户信息界面



图 8.4 用户好友界面



图 8.5 用户创建兴趣点界面



图 8.6 兴趣点信息界面



图 8.7 兴趣点参与者界面



图 8.8 其他用户界面

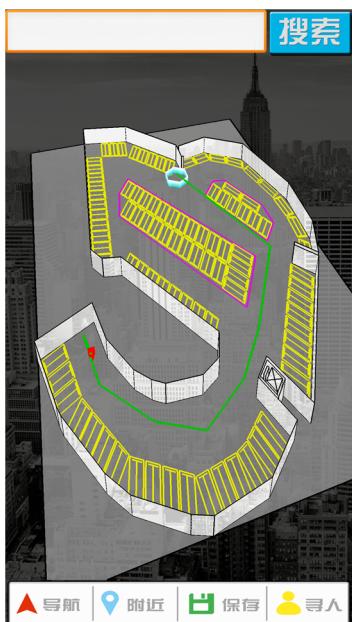


图 8.9 地图界面



图 8.10 新建兴趣点对话框



图 8.11 搜索界面

第九章 总结与展望

本章总结了本文的工作，从整体上概括全文的结构和提出作者在实验、编码及文档编写过程中发现的系统缺陷及改进方向，以供读者参考。

第一节 本文总结

本文是对室内定位的相关算法的研究实验报告和实际系统实现过程中的技术文档的结合。所有研究和设计都是基于实际的 iBeacon 硬件和设想的大型地下停车场环境，结合实际中进行室内设计的过程得出现实中可行的解决方案。

文章的第一部分是基于实际硬件研究能提供适应现有设备资源、能提供好的用户体验的定位算法和相应的信号源部署方案。在进行具体的设计前，对学术文献和现有项目进行调查，分析其中定位算法的可实行性和可借鉴的经验。然后对蓝牙信号源设备的测距性能进行实验测试。鉴于硬件的测距性能较弱、收集数据的稳定性差，设计区域定位算法以提供较定位稳定，但精确度较低的用户体验。本文的理论研究主要是关于信号源的部署方案的，相关的研究较少，即使在实际的开发企业的网站上也只是简要列举几个原则。本文从建筑师的实际设计步骤出发，基于现实的设计图数据研究和实现布点方案。研究对开阔地区和边缘地区的布点分别讨论：在最适布点模式下应用模拟退火算法来获得能适应复杂边缘区域的布点方案。

在系统实现的技术文档部分，本文严格按照软件工程要求。从需求分析到系统分析设计再到最后的软件测试效果图，展示了软件开发过程中数据库、逻辑层和前端三层的结构和最终效果。最终的系统是基于 CS 架构的 Android 应用及其服务器。软件主体功能通过三维图形式展示，为用户提供更直观的体验，系统包括定位、导航、寻车、寻人等功能。

第二节 进一步展望

本文对定位算法的研究主要是关于信号源部署策略的，并没有对定位算法做出更多的深入研究。这一是限于硬件性能的局限性，二是从实用角度出发，简化客户端的运算工作，将主要的工作量放在准备阶段。然而这样的设计一定程度上

是通过高密度的布点来进行区域定位，是基于较低的精度和成本需求的，在对精度要求高或要求少量信号源的环境下就不是很合适了。因此对 iBeacon 本身的优势和更智能的定位算法的研究是有必要的。使用蓝牙信号进行测距时抗干扰能力弱是蓝牙定位技术的关键问题，也是寻求技术突破的关键点。

在软件系统实现部分，本文的工作主要是面向最终的用户的，以数据读取操作为主。而在进行数据录入部分并未设计可视化的操作界面。若要形成完整的应用系统，还应编写面向停车场管理人员的数据录入和维护平台。

该系统是基于具体的停车场环境，但系统本省实现的功能还可应用于其他室内环境，如商场，会场等。开发具有普适性的室内定位软件是普及蓝牙定位技术的关键。

参考文献

- [1] 莫倩, 熊硕. 基于蓝牙 4.0 的接近度分类室内定位算法[J]. 宇航计测技术, 2014(6):66-70.
- [2] 丁恩杰, 乔欣, 常飞, 等. 基于RSSI的WSNs加权质心定位算法的改进[J]. 传感器与微系统, 2013, 32(7):53-56.
- [3] 陈国平, 马耀辉, 张百珂. 基于指纹技术的蓝牙室内定位系统[J]. 电子技术应用, 2013, 39(3):104-107.
- [4] 卞合善. 基于蓝牙 4.0 低功耗室内定位研究[D]. 北京邮电大学, 2015.
- [5] 石志京. 基于低功耗蓝牙的室内定位技术研究[D]. 宁波大学, 2015.
- [6] 吴栋淦. 基于 iBeacon 的智能导览系统的设计与实现[J]. 贵阳学院学报:自然科学版, 2014, 9(4):9-13.
- [7] 江德祥. 基于蓝牙传感网络的室内定位研究及在行为识别中的应用[D]. 湘潭大学, 2010.
- [8] Álvarez Y, Cos M D, Lorenzo J, et al. Novel Received Signal Strength-Based Indoor Location System: Development and Testing.[J]. Eurasip Journal on Wireless Communications & Networking, 2010, 2010(2):50-50.
- [9] Subhan F, Ahmed S, Ashraf K, et al. Extended Gradient RSSI Predictor and Filter for Signal Prediction and Filtering in Communication Holes[J]. Wireless Personal Communications, 2015, 83(1):1-18.
- [10] Plets D, Joseph W, Vanhecke K, et al. Coverage prediction and optimization algorithms for indoor environments[J]. Eurasip Journal on Wireless Communications & Networking, 2012, 2012(1):1-23.
- [11] Lin W C, Chang H Y, Lan C C, et al. A heuristic-based algorithm for wireless localization and path tracking[C]// Third International Conference on Ubiquitous and Future Networks. IEEE, 2011:332-335.

致 谢

值此论文顺利完成之际，我首先要向我的导师马捷老师表达深深的敬意感谢。本论文是在马老师的悉心指导之下完成的。马老师在研究选题、关键技术突破点、研究方式等多个方面给了我极为重要的指导和建议，使笔者顺利的解决了研究过程中遇到的各种困难。在撰写论文的过程中他还对我进行了细心的指导，认真阅读和修改了我的论文，使我顺利的完成了论文撰写。

同时，感谢和我一起完成研究和开发项目的国创团队的各位成员。通过讨论和协作，我们获得了许多宝贵的学习和研究经验并最终完成项目的开发。很多感谢你们为整个项目完成所付出的努力。

感谢所有在大学四年期间，帮助过我的老师们，是你们引导我一步一步向前走，让我不断成长。

感谢我所有的同学、朋友，感谢你们四年的陪伴和宽容，陪伴我走过四年的大学时光。

再次感谢你们，谢谢你们为我所做的一切。