西 南 交 通 大 学

本科毕业设计（论文）

基于Beacon的室内定位系统设计与实现

年 级： 2014 级

学 号： 2014112252

姓 名： 杨 玉 川

专 业： 物联网工程

指导教师： 何 滨

二零一八年六月

西南交通大学

本科毕业设计（论文）学术诚信声明

本人郑重声明：所呈交的毕业设计（论文），是本人在导师的指导下，独立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，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

作者签名：

日期： 年 月 日

西南交通大学

本科毕业设计（论文）版权使用授权书

本毕业设计（论文）作者同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权西南交通大学可以将本毕业设计（论文）的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本毕业设计（论文）。

**保密**□，在 年解密后适用本授权书。

本论文属于

**不保密**□。

（请在以上方框内打“🗸”）

作者签名： 指导教师签名：

日期： 年 月 日 日期： 年 月 日

院系 信息科学与技术学院 专 业 物联网工程

年级 2014级 姓 名 杨玉川

题目 基于Beacon的室内定位系统设计与实现

指导教师

评 语

指导教师 (签章)

评 阅 人

评 语

评 阅 人 (签章)

成 绩

答辩委员会主任 (签章)

年 月 日

**毕业设计（论文）任务书**

班 级 物联网2014-1班 学生姓名 杨 玉 川 学 号 2014112252

发题日期：2017年12月15日 完成日期：2018年6月 1日

题 目 基于Beacon的室内定位系统设计与实现

1、本论文的目的、意义

人们平均80-90%的时间在室内，70%的移动电话使用和80%的数据连接使用来自室内。室内定位是移动位置服务的最后一米。人们对位置服务的需求从室外转向室内，如何为用户提供精确的室内位置服务成为近年来的研究热点，室内定位技术的主要应用领域包括:室内精准导航、大数据分析、个性化营销、社交网络等。

Beacon的定位，主要是使用移动端的蓝牙设备，接受Beacon信号，根据RSSI进行测距定位。由于室内实际环境中低功耗蓝牙(BLE)接收信号强度指示(RSSI)信号易受折射、多径、障碍物、散射等不稳定因素的影响，测距误差较大,这对这些问题，研究相应的处理方式，构建定位系统具有实际的使用价值。

2、学生应完成的任务

学习Android系统开发，蓝牙设备的操作。根据RSSI室内测距模型 ，研究不同的提高测距精度的方法，利用Beacon设计并实现一个室内定位的演示系统。

3、本论文与本专业的培养目标达成度如何？（如在知识结构、能力结构、素质结构等方面有哪些有效的训练。）

本论文支撑本专业以下毕业要求的达成：

（1）具有通过文献研究分析复杂工程问题的能力（指标点2.3）；

（2）能够在设计环节中体现创新意识，考虑社会、健康、安全、法律、文化以及环境等因素（指标点3.3）；

（3）具备基于科学原理并采用科学方法对复杂工程问题进行研究的能力（指标点4.3）；

（4）能够理解和评价针对复杂工程问题的工程实践对环境的影响（指标点7.2）；

（5）具备良好的口头表达能力和人际交往能力，能够就复杂工程问题与业界同行及社会公众进行有效沟通（指标点10.1）；

（6）具有书面表达与沟通能力、科技论文与技术报告写作能力，能够撰写报告和设计文稿、陈述发言、清晰表达或回应指令（指标点10.2）。

4、论文各部分内容及时间分配：（共17周）

第一部分 查阅相关文献资料，完成所需开发工具与平台的准备工作 (2 周)

第二部分 软件目标及功能需求分析 (2 周)

第三部分 软件分析与设计 (3周)

第四部分 程序编写、调试、测试、优化与运行 (5周)

第五部分 论文撰写、修改、打印与装订 (4 周)

评阅及答辩 论文审订、评阅，演示程序准备、演示讲稿准备，答辩 (1周)

备 注 按规定提交论文、外文翻译、源程序、安装程序及使用说明、设计文档、答辩相关资料，毕业设计光盘（含前述电子版内容，确保可读）

指导教师： 年 月 日

审 批 人： 年 月 日

摘 要

注：

(1) 本页前面页数应为偶数，以保证此页双面打印时为正面！

(2) 至少500字。

(3) 推荐的写作段落顺序及内容如下：

①第一自然段（2~4行）：选题的提出；

②第二自然段（2~4行）：论文研究内容总概；

③第三自然段（10~12行）：描述论文所做具体内容以及其中的一些亮点（如，依据什么提出或改进了什么算法或模型，利用何方法或技术解决了什么关键问题，理论分析或仿真实验表明结果如何 等等）。

以下为示例中文摘要的**前2个自然段**：

eb信息的爆炸性增长使Internet成为我们获取信息资源的重要途径，而在全球一体化的今天，人们对翻译质量和翻译速度的要求也日趋严格。网络上拥有大量的双语对照信息，而传统的搜索引擎无法对其进行充分的利用。因此，本文从搜索技术和翻译技术上进行研究，提出了一个基于双语翻译的搜索引擎系统。

本文利用Heritrix和Lucene工具，在计算机辅助翻译的基础上利用搜索引擎技术，实现检索具有双语对照信息的网页。本文主要研究如何从海量信息库中爬取网页资源，设计出识别双语网页和提取双语语料的方法，并构造出合适的索引器和检索器，通过用户接口将网页信息输出给用户。

……

关键词：词1；词2；词3；词4；词5

注：① 关键词与摘要正文之间空一行；

② 关键词应按其涵义外延从大到小顺序排，列3-5个。

Abstract

目 录

[第1章 绪 论 1](#_Toc515036571)

[1.1背景与意义 1](#_Toc515036572)

[1.2国内外发展应用现状 1](#_Toc515036573)

[1.3论文主要研究内容 3](#_Toc515036574)

[1.4论文章节安排 3](#_Toc515036575)

[第2章 室内无线定位技术 5](#_Toc515036576)

[2.1 室内定位技术概述 5](#_Toc515036577)

[2.1.1 惯性传感器定位技术 5](#_Toc515036578)

[2.1.2 Wi-Fi定位技术 6](#_Toc515036579)

[2.1.3 Zigbee定位技术 7](#_Toc515036580)

[2.1.4 RFID定位技术 7](#_Toc515036581)

[2.1.5 磁场定位技术 8](#_Toc515036582)

[2.1.6 蓝牙定位技术 8](#_Toc515036583)

[2.2典型室内定位算法介绍 8](#_Toc515036584)

[2.2.1 基于测距的定位算法原理 8](#_Toc515036585)

[2.2.2 基于测距的定位算法 9](#_Toc515036586)

[2.3 低功耗蓝牙(BLE) 11](#_Toc515036587)

[2.3.1 低功耗蓝牙协议栈 11](#_Toc515036588)

[2.3.2 低功耗蓝牙与传统蓝牙区别 13](#_Toc515036589)

[2.3.3 BrightBeacon的室内定位解决方案 13](#_Toc515036590)

[2.4 本章总结 14](#_Toc515036591)

[第3章 基于Beacon的室内定位技术分析 15](#_Toc515036592)

[3.1 蓝牙Beacon设计 15](#_Toc515036593)

[3.2 室内传播模型分析 16](#_Toc515036594)

[3.2.1 室内无线信道特点 16](#_Toc515036595)

[3.2.2 对数路径损耗模型 17](#_Toc515036596)

[3.2.3 Ericsson多重断点模型 18](#_Toc515036597)

[3.2.4 衰减因子模型 18](#_Toc515036598)

[3.3 基于RSSI的室内定位测距模型 19](#_Toc515036599)

[3.3.1 测距模型基准测试 19](#_Toc515036600)

[3.3.2 对测量的RSSI值进行滤波 20](#_Toc515036601)

[3.3 基于位置指纹的定位算法设计 23](#_Toc515036602)

[3.3.1 最近邻算法（NN） 23](#_Toc515036603)

[3.3.2 K最近邻算法(KNN) 24](#_Toc515036604)

[3.3.3 加权KNN算法 24](#_Toc515036605)

[3.3.4 贝叶斯估计算法 24](#_Toc515036606)

[3.4 基于PDR的定位算法设计 25](#_Toc515036607)

[3.5 本章总结 27](#_Toc515036608)

[第4章 基于Beacon的室内定位系统实现 28](#_Toc515036609)

[4.1 低功耗蓝牙Beacon设置 28](#_Toc515036610)

[4.2 Android App室内定位分析与实现 29](#_Toc515036611)

[4.2.2 Android App开发技术栈介绍 29](#_Toc515036612)

[4.2.1 室内定位App总体结构 30](#_Toc515036613)

[4.2.2 界面显示模块 30](#_Toc515036614)

[4.3 RSSI定位实现 30](#_Toc515036615)

[4.3.1 RSSI定位模型的参数确定 31](#_Toc515036616)

[4.4 指纹定位实现 35](#_Toc515036617)

[4.4.1 指纹数据库建立 36](#_Toc515036618)

[4.4.2 基于KNN室内位置估计 37](#_Toc515036619)

[4.5 PDR定位实现 37](#_Toc515036620)

[4.5.1 行人运动状态判定 37](#_Toc515036621)

[4.5.3 航向确定 39](#_Toc515036622)

[4.6 室内定位的改进 39](#_Toc515036623)

[4.6.1 系统功能模块分析 40](#_Toc515036624)

[4.6.2 定位系统流程 41](#_Toc515036625)

[4.7 本章总结 44](#_Toc515036626)

[第5章 系统测试与运行 45](#_Toc515036627)

[5.1系统测试环境 45](#_Toc515036628)

[5.2系统测试与运行结果 45](#_Toc515036629)

[5.3本章小结 50](#_Toc515036630)

[结 论 51](#_Toc515036631)

[致 谢 52](#_Toc515036632)

[参考文献 53](#_Toc515036633)

第1章 绪 论

1.1背景与意义

随着无线通信技术的发展及位置服务需求的多样化，用户更加需要的是在复杂室内环境下进行定位与导航，传统的GPS定位在室外能为人们提供高精度的定位与导航服务，但是GPS信号不能够穿透建筑物进到室内，这时GPS就不能发挥其作用了。

在复杂的室内环境中，无线信号伴随着多径、折射、反射等现象，不利于终端设备接收并解析无线信号，因此需要提供某种抗干扰能力更强，接收信号更加稳定的设备来代替GPS信号应用于室内场景中。目前，已经应用于室内定位的技术有射频识别、WIFI技术、蓝牙定位、ZigBee技术等，其原理的主要算法分为基于测距和测距无关两类，前者主要是通过收集无线信号的角度及距离信息，利用极大似然估计、三角测量法及三边测量法进行计算，而测距无关的是利用网络的对等特性进行数据分析，主要有质心算法、Amorphous算法及DV-Hop算法等，但由于室内复杂的情况，产生的多径效应、折射和反射的影响，对其算法参数的确定都会产生极大的影响。室内定位技术的应用场景相当的广泛，例如在博物馆内，根据游客在不同的展览区域内提供不同的场景导航，以及提供基于此场景的导览、解说等服务；在大型超市内，根据消费者在不同的区域，向用户推荐相应的商品同时提供对商品的导航服务，方便消费者更加有针对性的购物，提升购物体验；在地下停车场中，室内定位技术可以对用户所停车位进行记录，在用户需要找车的时候，提供室内定位导航技术，便于用户快速找到所停车辆。

低功耗蓝牙(BLE)设备相对传统蓝牙，具备远距离、多信道、低功耗等特性，稳定传输距离在50M以上，多个模块的互联互通，能够满足大型的室内定位场景，结合现在智能手机搭载的蓝牙模块，可以提供定位场景实时化的服务。

1.2国内外发展应用现状

随着计算机科学的飞速发展，目前国内外已经出现了多种室内定位系统，其解决方案各有不同，偏重的定位技术也不同，下面对这些定位系统的发展一个介绍。

AT&T剑桥实验室在上世纪九十年代初研发了目前的第一代室内定位系统：基于红外线感应的Active Badge系统。该系统具有体积小、功耗低的特点，但由于定位过程复杂、延迟时间较长等缺点，因而适用性不高。随后在1998年，微软提出了利用位置指纹技术来定位的解决方案，并开发出了基于RSSI的RADAR室内无线射频定位系统。RADAR系统工作于无线局域网中，由AP负责信号强度值得采集，再结合经验数据与衰减因子模型，利用最近邻法对移动终端进行定位。它的定位精度很高，系统可在高达95％的概率下将定位精度控制在9cm以内，但由于实现系统需布置大量传感器，定位成本过高，因此难以实现推广普及。

在二十一世纪初期，各高校的研究实验室相继推出普适的定位系统。在2000年，MIT实验室研制出的Cricket系统从硬件设施着手，实现了设备的小型化与低成本化，提高了用户私密性与管理效率，但其定位精度较Active Badge略差，移动端的耗电量较高。哈佛大学则最早将无线传感器网络引入到室内定位服务中，设计出一套非集rfl式定位系统，针对恶劣环境下节点易失效，信号易丢失的情况做出优化，展现了高鲁棒性的优势。

国内在室内定位领域的研究起步比较晚，主要研究机构集中于科研院所与各大高校。随着生活水平的提高，科技的不断进步，定位需求井喷式地增长，也进一步刺激了室内定位系统的研发。针对在室内场景下不同的定位精度需求，浙江大学设计了iNemo定位系统。它综合了房间级(10m)与办公室隔间级(1-2m)两种定位精度。通过待定位用户自身配备的节点与邻近的房间内的信标节点之问的信息交互，首先判断该用户所在房间。当用户有更精确的定位需求时，激活该房问内的信标节点，通过信息交互获取更多的RSSI信息进行精确定位。

由于在无线传感器网络环境下，短时间内多次接收的信号强度变化与环境的动态变化息息相关，因此iNemo利用这一特点，系统节点通过周期性广播获取相邻节点的信号强度，并根据强度差异以量化动态变化特性，综合得出当前环境下定位结果的置信度。iNemo系统的缺陷在于节点间需要大量的信息交互为定位提供数据支撑，从而增加了系统的计算量。

香港科技大学研发的LANDMARC定位系统则是基于RFID技术原理，首先在测量区域内放置诸多活性参考标签，通过射频阅读器采样标签信息完成无线环境下数据的采集工作，根据发射点与目标点问的采样信息相较前一时刻采集数据的匹配度，估算出目标点的位置。

LANDMARC定位系统的优点显著：一、无须布置大量的RFID阅读器，降低了系统成本；二、活性标签的应用代替了人工的数据采集；三、适应环境能力强，定位精度较高。但鉴于标签的部署与室内布局密切相关，因此方案的适用性不高。此外系统需根据目标点的远近来调节发射功率，因此存在一定程度的时滞。

此外，清华大学，复旦大学等各高校在室内定位算法的设计与改进上也贡献了大量研究成果。复旦大学提出的一种基于RSSI的室内定位算法，改进了路径损耗模型，引入了距离估计误差的随机变量，通过有限次迭代可获得较高精度的定位结果。东南大学也于2004年成立了专门的无线传感器研究小组，针对MAC层协议，室内定位算法等方面都进行了深入研究。

1.3论文主要研究内容

目前的智能手机都搭载有蓝牙设备，能够实现对BLE信号的扫描与解析，随着智能手机的普及，不需要再考虑终端成本的问题，使用相对较少的节点成本就可以组建一个基于Beacon的室内定位无线网络，提供室内定位及导航的服务，随之而来的需要解决的主要是定位精度问题，在成本尽量控制的条件下，通过优化节点部署、接收信号算法优化等，提供更加精准的位置信息。基于这两点，本文的主要研究内容如下：

(1)分析国内外室内定位的研究现状，比较不同室内定位技术的优缺点，介绍了室内定位技术常用的算法，确定了本文以蓝牙的RSSI值为基础的室内定位研究方案。

(2)结合本文的设计方案所采用的BLE与Beacon技术，分析并验证了蓝牙信号查询特征，根据应用的蓝牙硬件模块标识码的特点进行了信标节点的ID规划。

(3)搭建蓝牙信号分布特性研究实验平台，根据路径损耗模型对BLE的RSSI特性进行了实测分析，并针对不同发射功率分别建立了RSSI值仿真模型。

(4)设计了基于移动终端的蓝牙室内定位系统方案，包括室内定位场景分析与节点布设、客户端应用程序开发以及室内综合定位算法设计三部分。其中客户端应用程序的开发涉及蓝牙RSSI值采集与加速度信息提取；室内综合定位算法设计方面则提出了基于指纹定位与PDR估计结合的连续定位。

(5)结合蓝牙RSSI值仿真模型，对室内定位精度的可能影响因素进行了性能分析；结合实测数据，验证了本文设计的蓝牙室内定位系统的可行性；通过手机客户端在实际环境中的应用，实现了基于BLE的室内定位系统演示。

1.4论文章节安排

本文共分为七章，各章的主要内容具体如下：

第一章为绪论，主要介绍了本文的研究背景以及国内外研究现状，针对日益迫切的室内定位需求，阐述了本文基于蓝牙的室内定位研究内容，最后列出了论文的组织结构。

第二章首先概述了目前应用广泛的室内定位技术，在此基础上总结了室内定位的算法及相应模型，从测距与非测距两方面进行定位算法及模型介绍。

第三章分析基于Beacon的室内定位技术，包括对信号的室内传播模型进行分析总结，以及测距模型的基准测试，设计基于位置指纹的定位方案，分析其多种算法间的差别及优点，最后设计基于PDR的算法模型。

第四章着重设计整个室内定位软件，并分析当前定位场景需要的参数，设计基于Android的App架构，并给出指纹数据库建立过程，研究了BLE的RSSI特性，构建分布特性研究实验平台，针对两种信号采集场景与蓝牙设备发射功率，实测分析了室内环境下距离与RSSI值的关系，并根据实测数据建立仿真模型。

第五章测试整个定位App的各项指标，App整体运行页面，以及各项数据的采集是否正确，定位是否准确。

第2章 室内无线定位技术

室内无线定位技术是，在室内通过对无线电磁信号的各个参数进行测量后，使用相关的定位算法和约束条件，得到终端现在处于的位置信息。相对于目前成熟的室外定位技术而言，室内定位技术具有更加的复杂特性。相对于室外，室内的环境更加多变，空间范围较小，对精度要求更高；在室内，无线信号更加容易受到干扰，产生反射、绕射等现象，并且在室内人流的移动、物品的摆放、终端的方位都会影响信号的传输，出现路径损耗及多径效应，甚至出现信号盲区，使定位精度严重下降，因此对于室内定位节点的放置、算法都有更为严苛的要求。

现在已经有许多已经投入商用的室内定位解决方案，包括惯性传感器、WIFI、蓝牙、Zigbee、RFID、超声波等，根据不同的定位精度需求及成本可以选择不同的定位技术。

2.1 室内定位技术概述

2.1.1 惯性传感器定位技术

惯性传感器包括加速度计和陀螺仪等，可测量加速度和角速度。通过对运动传感器的信息进行整合计算，不断更新待移动点的位置和速度。通过对加速度进行积分，可以知道待移动点的位置变化、速度变化，通过对角速度进行积分，可以得到移动点的方向变化，如图2-1所示：



图2-1 对位置角度的积分

惯性传感器定位于其他方法的不同之处在于，不需要事先布置基站或对室内情况有预先了解，所以在救援人员追踪方面有重要应用，因为在这种情况下，室内的无线信号可能受到强烈干扰、基站可能无法正产工作、或救援环境未知。在无线信号难以正常运行时，惯性传感器定位则成为最优选择。另外，由于现在手机中多带有惯性传感器，所以惯性传感器定位也有易于普及的硬件条件。

2.1.2 Wi-Fi定位技术

Wi-Fi定位技术有两种，一种是在已知各个AP位置的前提下，用信号衰减模型计算移动设备与各个AP的距离，用三角定位法确定移动设备的大致位置。另一类方法则类似于机器学习算法，首先将待检测的室内区域按特定面积进行网格划分，然后获取每个网格内的Wi-Fi信号强度信息，这实际上是一个训练的过程。在训练阶段得到每个网格的信号强度信息，在定位时，通过实时检测信号强度，将与当前信号强度匹配度最高的网格作为移动设备当前的位置。



图2-2 Wi-Fi定位原理图解

WifislamMeridian智慧图Wi-Fi定位由于Wi-Fi网络的普及，变得非常流行。Wi-Fi定位可以达到米级定位(1~10米)，传统的Wi-Fi定位产品主要应用在专业行业领域(矿井、监狱、医院、石油石化等)，如Aeroscout和Ekahau公司的Wi-Fi定位产品。一些Wi-Fi网络设备厂商如Cisco、Motorola等公司也有自己的Wi-Fi定位产品，并随着其Wi-Fi网络设备的推广，已经有很多应用。随着市场（特别是大众消费相关行业）对室内定位需求的增加，Google把Wi-Fi室内定位和室内地图引入了google地图，一年多来已经覆盖了北美和欧洲一万大家大型场馆，近期也涌现出一批Wi-Fi定位很有特色的公司，如wifarer、wifront等公司。百度、高德、四维等公司也在研发Wi-Fi室内定位产品。

Wi-Fi定位可以在广泛的应用领域内实现复杂的大范围定位、监测和追踪任务，总精度比较高，但是用于室内定位的精度只能达到2米左右，无法做到精准定位。由于Wi-Fi路由器和移动终端的普及，使得定位系统可以与其他客户共享网络，硬件成本很低，而且Wi-Fi的定位系统可以降低了射频(RF)干扰可能性。

2.1.3 Zigbee定位技术

ZigBee室内定位技术通过若干个待定位的盲节点和一个已知位置的参考节点与网关之间形成组网，每个微小的盲节点之间相互协调通信以实现全部定位。基于 ZigBee 的定位技术具有低成本、低功耗，且信号传输不受视距影响的优点，其被广泛的应用于工业现场采集、智能家居、医疗护理和环境监测等领域。Zigbee 定位算法包括基于距离和距离无关算法 ，而距离无关定位算法精度较低，无法满足室内定位需求，而其测距方法也多利用 RSSI 信号强度进行距离反演。



图2-3 Zigbee网格定位原理

ZigBee是一种新兴的短距离、低速率无线网络技术，这些传感器只需要很少的能量，以接力的方式通过无线电波将数据从一个节点传到另一个节点，作为一个低功耗和低成本的通信系统，ZigBee的工作效率非常高。但ZigBee的信号传输受多径效应和移动的影响都很大，而且定位精度取决于信道物理品质、信号源密度、环境和算法的准确性，造成定位软件的成本较高，提高空间还很大。

2.1.4 RFID定位技术

该系统通常由电子标签、射频读写器、中间件以及计算机数据库组成。射频标签和读写器是通过由天线架起的空间电磁波的传输通道进行数据交换的。在定位系统应用中，将射频读写器放置在待测移动物体上，射频电子标签嵌入到操作环境中。电子标签上存储有位置识别的信息，读写器则通过有线或无线形式连接到信息数据库。

2.1.5 磁场定位技术

地磁定位技术即根据所处环境的磁场分布来实现定位，由于无需使用其他辅助手段，是一种无源定位技术，适合在室内环境中应用。目前利用地磁定位技术使用的方式包括两类，其一是先构建精确的地磁模型来描述整个地球不同位置的磁场分布，再在实际应用中根据实测值结合地磁模型来进行定位，另一类是利用场景识别的方式，即先构建区域内的磁场指纹，再在定位阶段利用实测数据与指纹匹配的方式进行定位。芬兰奥卢大学提出一种基于地磁的导航定位系统 Indoor Atlas，据报道该系统利用地磁场可达到0.1-2 米的定位精度。

2.1.6 蓝牙定位技术

传统的蓝牙设备体积小，便携式笔记本、手机等移动终端里大多集成有蓝牙模块，因此基于传统蓝牙的室内定位技术具备了推广普及的基础。理论上，只要在室内范围安装有合适的蓝牙局域网接入点，并将网络模式设置为多用户环境下的基础网络连接模式，则当移动终端的蓝牙功能开启时，系统就能够获取当前用户的位置信息。不仅如此，采用蓝牙技术实现室内短距离定位时，能迅速发现并连接设备，并且信号的传输不受视距的影响。

随着新的更低功耗的蓝牙技术标准的提出，以及苹果、高通等公司开始敏锐地觉察到基于位置服务(Location Based Services，LBS)的需求兴起，纷纷将研发力量投入到以蓝牙为载体的精准微定位技术之中。基于BLE 4．0的iBeacon技术的问世与基于Bluetooth Smart蓝牙定位技术的Gimbal传感器的诞生掀起了蓝牙室内定位领域的新一波浪潮。

2.2典型室内定位算法介绍

基于测距的定位算法和基于非测距的定位算法是室内定位算法的两大类，基于测距的主要是需要得到目标节点的与参考节点之间的角度、距离信息，而基于非测距的定位算法主要依靠的是节点网络之间的连通性与邻近关系。

2.2.1 基于测距的定位算法原理

基于测距的算法根据测量到的节点之问的距离或角度信息来求取未知节点的位置，主要有基于TOA、基于到达时问差(Time Difference of Arrival，TDOA)、基于到达角(Angle ofArrival，AOA)以及基于RSSI值等定位算法。

1. TOA算法

若信号在介质中的传播速度已知，则根据信号的发射与接收时间，接收端即可计算出传播距离。TOA算法要求严格的时钟同步以获取足够的精度，但由于在室内定位中，节点之间的距离往往较近，而无线电波以光速传播，因此较难实现。利用超声波可降低对于时钟精度的要求，但易受到非视距传播的影响，且提高了对于定位设备的要求，增加了系统的复杂度。

1. TDOA算法

TDOA算法类似于TOA算法，都是借由测距来实现目标定位。通过在节点上安装两种无线收发器，利用两路信号(通常为超声波与电磁波)在空间中传播速度的差异，接收端将信号到达的时间差转化为节点之间的距离。TDOA定位技术的理论精度很高，可达厘米级，但由于超声波传输距离短，因此需要部署密集的网络，从而增加了成本，另一方面算法仍存在非视距传播的影响，高精度定位的实现受到诸多限制。

(3)AOA算法

基于AOA的定位算法是由接收节点通过天线阵列或者多个超声波接收机测得信号的到达方向，计算出发射节点与接收节点之间的角度，利用三角测量法计算接收节点的位置。AOA定位算法受到环境噪声、非视距传播等问题的影响，且由于需要额外硬件的支持，设备的尺寸及功耗要求较高，因此当算法应用于节点自身的定位时有很大的局限性。

(4)基于距离模型的RSSI算法

基于距离模型的RSSI算法是在已知发射功率的前提下，根据未知节点测得的接收功率，利用电磁波传播模型将路径损耗转化为距离的算法。目前RSSI定位算法大多应用于射频信号，得益于射频收发器模块提供了足够的功率参数、无需发射接收端的严格的时钟同步以及节点之间具备无线通信能力，定位系统可在通信过程中进行定位，因而这是一种低功耗、低成本的定位技术。

由于RSSI算法利用了传播过程中无线信号的衰减，从而计算距离，因此对于环境的变化很敏感。即便在发射端与接收端均不移动的状态下，也可能因为快衰落与信号传输环境的迅速变化使RSSI值产生严重的震荡。此外，一般的无线信号收发器通常未经校准，相同的信号强度下，不同的设备上可能显示不同的RSSI值，因此对于室内定位的精度也存在较大的影响。

2.2.2 基于测距的定位算法

根据2.2.1节的分析，在明确了与室内测距相关的定位原理后，需重点研究基于测距的定位算法。常用的测距算法模型有以下几种：

1. 三边测量定位法

三边测量定位算法是通过测量目标节点到与三个不在同一直线的已知节点的距离，通过简单算法计算出目标节点的坐标。假设在平面上有三个不在同一直线上的已知节点，通过获取目标节点与三边的距离信息，结合已知节点的位置，则目标节点就在三个圆的交点上。

已知三个节点A、B、C的坐标分别为，目标节点与它们的距离分别为d1，d2，d3，如图2-4所示：



图2-4 三边测量法示意图

假设目标节点的位置为(x, y)，建立以下公式2-1：

 (2-1)

根据公式(2-1)可以得到目标节点的坐标为：

 (2-2)

三边测量定位法是比较简单一种估计方法，但是由于测距时本身存在一定的误差，所以在图2-4中会出现三个圆不能交于一点的情况，这就是定位误差引起的，这样就不能够得出公式2-1中的解，需要借助其他的一些方法来进行纠正。

2、三角测量定位法

三角测量定位法是根据三个点构成的三角形的几何关系来对待测节点进行估计，对于A、B、C三个已知节点的坐标分别为，待测节点相对于A、B、C的角度分别为：∠ADB，∠ADC，∠BDC，现假设待测节点D的坐标为，三角测量法的示意图如图2.5所示。对于已知节点A、C和∠ADC，若弦AC在△ABC内，则能够唯一确定一个圆，设圆心坐标为，半径为，可得。

图2-5 三角测量法示意图

2.3 低功耗蓝牙(BLE)

低功耗蓝牙是一种智能的无线传输技术，相对传统蓝牙，其拥有更低的功耗、更小的尺寸，具有短距低成本、可互操作的特性，但其系统的复杂性较高，工作在2.4G频段。

　　在蓝牙4.0的标准中，一开始是包含了低功耗蓝牙的。在被大众接纳之前，它是由诺基亚设计的一种短距离无线通讯技术，最初的目标是提供功耗最低的无线标准，并且优化了其在低成本、低带宽、低功耗与低复杂性方面。这些设计目标在核心规格中得以显现：低功耗蓝牙正努力成为一项专为半导体制造商以及低功耗、低成本实际应用所设计的低功耗标准。目前，低功耗蓝牙技术已被广泛使。

2.3.1 低功耗蓝牙协议栈

在通信领域，协议定义的是一种传输规范，传输数据双方遵守同样的规则，双方才能够读懂传输数据的意图，而协议栈就是协议的一种实现，以函数库的方式呈现，供开发人员进行调用。

低功耗蓝牙协议栈包含两个部分：主机和控制器，而主机和控制器的协议是分开分层实现的，主机层的包括通用访问规范、通用属性规范、属性协议、安全管理器、逻辑链路控制和适配器协议，控制器层包括主机控制器接口、链路层、物理层，上层可以调用下层的API来实现功能，低功耗蓝牙协议栈如图2-6所示：



图2-6 低功耗蓝牙协议栈

详细介绍如下：

1. 通用访问规范

GAP直接与应用程序或配置文件（profiles）通信的接口，处理设备发现和连接相关服务。另外还处理安全特性的初始化。对上级，提供应用程序接口，对下级，管理各级职能部门，尤其是指示LL层控制室五种状态切换，指导保卫处做好机要工作。GAP给设备定义了若干角色，其中主要的两个是：外围设备（Peripheral）和中心设备（Central）。

1. 通用属性规范

GATT层定义了使用 ATT 的服务框架和配置文件的结构。BLE 中所有的数据通信都需要经过GATT。它定义两个 BLE 设备通过叫做 Service 和 Characteristic 的东西进行通信。GATT 就是使用了ATT协议，ATT 协议把 Service, Characteristic对应的数据保存在一个查找表中，查找表使用16 bit的ID作为每一项的索引。

1. 属性协议

ATT层负责数据检索，允许设备向另外一个设备展示一块特定的数据称之为属性，在ATT环境中，展示属性的设备称之为服务器，与它配对的设备称之为客户端。链路层的主机从机和这里的服务器、客服端是两种概念，主设备既可以是服务器，也可以是客户端，从设备亦然。

1. 安全管理器

SM层提供配对和密匙分发，实现安全连接和数据交换。

1. 逻辑链路控制和适配协议

L2CAP层提供数据封装服务，允许逻辑上的点对点通讯。

基于包的协议，将包传输到HCI，对于无主机系统，就将包传给链路管理器LM。支持多路复用，包的分割和重组，以及向上层协议提交服务质量信息。

1. 主机控制器接口

HCI层为接口层，向上为主机提供软件应用程序接口（API），对外为外部硬件控制接口，可以通过串口、SPI、USB来实现设备控制。

1. 链路层

LL层为RF控制器，控制设备处于准备（standby）、广播、监听/扫描（scan）、初始化、连接，这五种状态中一种

五种状态切换描述为：未连接时，设备广播信息，另外一个设备一直监听或按需扫描，两个设备连接初始化，设备连接上了。

发起聊天的设备为主设备，接受聊天的设备为从设备，同一次聊天只能有一种关系，即主设备和从设备不能切换。

1. 物理层

物理层使用微带天线负责数据发送和接收，调频方面使用1Mbps自适应跳频GFSK，运行在2.4GHz频段。

2.3.2 低功耗蓝牙与传统蓝牙区别

蓝牙BLE即低功耗蓝牙。蓝牙BLE相对于传统蓝牙的优点：最大化的待机时间、快速连接和低峰值的发送/接收功耗。

1、蓝牙BLE的发送和接受任务会以最快的速度完成，完成之后蓝牙BLE会暂停发射无线，等待下一次连接再激活，而传统蓝牙是持续保持连接。

2、广播信道仅有3个，而传统蓝牙是32个。

3、蓝牙低能耗技术“完成”一次连接(即扫描其它设备、建立链路、发送数据、认证和适当地结束)只需3ms。而标准蓝牙技术完成相同的连接周期需要数百毫秒。

4、蓝牙低能耗技术使用非常短的数据包，标准蓝牙技术使用的数据包长度较长。

2.3.3 BrightBeacon的室内定位解决方案

一家公司提供的室内定位解决方案，适用于较为普遍的室内定位场景，如：智慧小区、大型停车场、商业街区等，通过使用BrightBeacon设备发送信号，然后对需要定位的区域进行模型建立，然后开发终端App进行BLE信号的接收，使用BrigthBeacon开发的一整套API就可以进行定位导航。

通过云平台对室内定位的地图进行生成，在地图生成完成后，下载其开发库，对终端App进行开发，在开发的时候，使用提供的App对BrightBeacon进行配置，地图上就可以显示其Beacon的位置，而实现室内定位。

2.4 本章总结

本章介绍了现在主流的室内定位技术，介绍了本文需要使用到的蓝牙定位技术在相较于其他定位技术的优点，具有部署成本低，终端应用易于开发的特点，集成于手机App中，可以满足人们对室内定位服务的实时需求，同时避免了需要开发终端设备的成本，蓝牙技术同样具有低功耗的特征，能够满足一次部署，长时间使用的需求。在这些技术的下面都有相应的定位算法作为支撑，其几大经典算法有相对的优点和缺点，需要结合其他数学方法进行改进，最后介绍了低功耗蓝牙的整体构成，以及从上到下的协议体系。

第3章 基于Beacon的室内定位技术分析

在上一介绍章低功耗蓝牙的基础上，本章介绍使用低功耗蓝牙作为Beacon的室内定位方案设计，本次设计是基于本次毕业论文的各个实验方案而言，在具体场景应用方面，应使用与其场景适应的参数，才能够达到定位精度的要求，本方案采用十字交叉九宫格分割定位方案，将室内空间进行划分，同时在手机App的设计上进行体现，使用手机App进行信号强度的采集，并与实际测量值进行对比。

3.1 蓝牙Beacon设计

Beacon是信标的意思，在室内定位场景应用中，使用Beacon进行信号的发射，在室内进行Beacon信号强度及相关信息的采集。低功耗蓝牙Beacon同样遵从低功耗蓝牙协议栈，开发人员在开发Beacon的时候与其开发低功耗蓝牙是大同小异的。在与Wifi Beacon的对比上，低功耗蓝牙Beacon拥有其绝对的优势。在信道方面，工作于免费的2.4GHz频段，保证了免费公共频点的低成本性；在信号强度方面，低功耗蓝牙Beacon可以随时调节信号发射强度，用于适应相应的室内定位场景；在功耗方面，蓝牙Beacon的低功耗特性是Wifi Beacon无法企及的，为室内定位的长期部署提供了可能性，简化了后期维护；在覆盖范围方面，低功耗蓝牙Beacon没有Wifi Beacon广，但是其范围在室内定位场景比如停车场、超市等地方，这些场景需要的精度，部署节点的密度、信号的覆盖范围都是恰到好处的，不仅提高了定位的精度，还降低了功耗。

蓝牙Beacon的拓扑设计主要依靠于对应的室内定位场景，在场景内需要不断调节其参数来适应场景的变化，用以达到更高的定位精度要求，在本论文中，在有4个蓝牙Beacon的基础上，可以组合成的较好的拓扑结构有3种，如图3-1(a) 、图3-1(b)、图3-1 (c)所示：



图3-1(a) 正方形 图3-1(b) 菱形 图3-1c 直线型

在一个较为规则的空间内，将Beacon设备部署为正方形，将区域划分为等面积的九个区域，形成九宫格布局，在这种拓扑下，Beacon设备信号的发射覆盖范围呈现均匀分布，在环境遮挡物较为一致的时候，整个区域接收到的Beacon信号都是差不多的，这时可以通过朝向来判定当前设备所处的位置。

1. 矩形拓扑

矩形拓扑中，整个信号区域分布最为均匀。

1. 菱形拓扑

菱形拓扑中，中心区域会出现一个信号强度最低点，能够方便信号强度基准的确认。

1. 直线型拓扑

直线型拓扑适用于较为狭长的通道环境内，这样的部署能更加方便简洁的测量Beacon信号，在邻近某一个Beacon设备的时候，该Beacon信号强度会急剧上升，方便于Beacon信号算法的编写与改进。

3.2 室内传播模型分析

低功耗蓝牙Beacon发出的信号在室内进行传播，会发生多径效应，在接收端采集RSSI信号的时候会产生误差，信号在室内的分布可以由室内传播模型进行刻画，从而得到较为精确的RSSI与距离的关系，在不同环境下，传播模型的参数不同得到的精度也会不同，因此需要选取适当的参数来得到较好的定位精度，关于不同环境下选取和n值选取范围如表3-1所示：

表3-1 和值选取范围表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **环境** | **射频参数(dBm)** | **衰减因子*n*** |
| 公园 | 32.7~36.0 | 2.7~3.4 |
| 办公室 | 39.0~50.5 | 1.4~2.5 |
| 竹林 | 35.2~38.2 | 4.5~5.4 |
| 草地 | 33.2~36.4 | 3.0~3.9 |
| 巷子 | 44~48.7 | 2.1~3.0 |
| 楼梯 | 33.5~44.2 | 1.4~2.4 |
| 楼道走廊 | 35.0~38.2 | 1.9~2.5 |
| 大院子 | 34.2~39.0 | 2.8~3.8 |

3.2.1 室内无线信道特点

在室内环境中，手机终端对低功耗蓝牙Beacon信号的采集不会是单一路径方向传播过来的，而是由许多路径的反射波叠加而成的。由于信号是通过各个路径反射过来的，所以到达终端的时间、相位、强度会有所不同，信号反射后会相遇，有的叠加会使信号加强，有的叠加会让信号减弱，这样接收信号的幅度会发生剧烈的变化产生衰落，这种由多径产生的衰落，称之为多径效应。

多径效应的体现就是，即使在静态环境下对一个Beacon信号进行测量，同样会产生动态变化的结果，在信号强度显示上，会出现波动的情况。

这种波动情况可以由可变参数信道来刻画，由于信号传播过程中到达时间、相位等的不一致，需要信道传播模型的参数随之变化来减小多径效应对信号强度测量的影响，可变参数信道的特性推导如下：

假设发射端产生正弦函数信号频率为，，经过多条路径传播后终端接收到的信号为：

 (3-1)

公式3-1中：

 路径数，i=1,2,3,4…n

 经过第i条路径接收的信号振幅

 第i条路径的传输时延



相对于、、的变化要缓慢很多，为缓变化随机过程，

 (3-2)

设，，得：

 (3-3)

公式3-3中：



由于的变化速度远小于瞬时信号的变化速度，因此可以视为窄带随机过程。

3.2.2 对数路径损耗模型

在定位算法中，经常使用的就是对路路径损耗模型，室内路径损耗模型表示为：

 (3-4)

公式3-4中n为路径损耗指数，取决于周围环境；为信号距离的损耗值，单位为dBm；表示传播距离，­表示参考距离，取1m；是一个标准差为的正态随机变量，为高斯白噪声，有：

 (3-5)

表示RSSI的值，是发射功率，公式可简化为：

 (3-6)

3.2.3 Ericsson多重断点模型

此模型是对对数路径损耗模型的改进，增加了路径损耗的上下边界，假设在处损耗为30dBm，对于Ericsson多重断点模型的室内传播距离与信号衰减的关系如图3-2所示：



图3-2 Ericsson多重断点模型

3.2.4 衰减因子模型

在室内，信号的传播会遇到墙体或者地板的阻隔，会产生一定的衰减，这种衰减可以用一个简单的模型来进行刻画：

 (3-7)

公式3-7中：

 同层信号衰减因子

 不同路径附加衰减因子

3.3 基于RSSI的室内定位测距模型

在上节分析室内无线信道特征的基础上，该节给出一个适应于环境的基于RSSI的测距模型，用于采集室内Beacon信号的数据。

3.3.1 测距模型基准测试

在进行信号的RSSI数据收集之前，需要对Beacon信号的发射参数以及在固定位置接收到的RSSI值进行标定，此处选取1m处的测量功率(RSSI值)为-60dBm，发射时间间隔为800ms，发射功率为0dBm(80m)，1s测试一次，一共得到10组数据如图3-3所示：

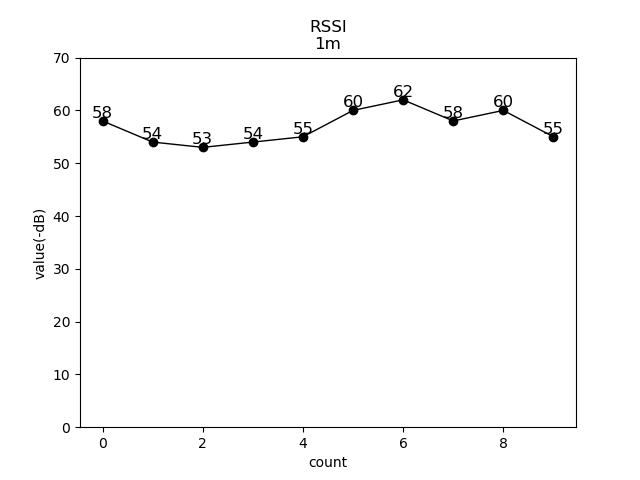


图3-3 1m处RSSI值

可以看出数据在一定范围内波动，但是都是在设定值60dBm线上下，满足误差要求。在满足条件后，通常选用对数路径损耗模型来进行信号强度随距离的变化，基于该原理，根据IEEE802.15.4标准给出的简化衰减模型为：

 (3-8)

同时根据现场的环境、成本、定位精度等要求，实际的测量模型可以简化为：

 (3-9)

公式3-9中为衰减因子，一般取值为2-4；为测量点到发射器的距离；为1m处测量的RSSI的值。

3.3.2 对测量的RSSI值进行滤波

在实际的测量环境中，由于环境中的影响因素很不稳定，对RSSI值的测量会产生很大的误差，波动性较大，在室内测量的RSSI值与距离的关系如图3-4所示：

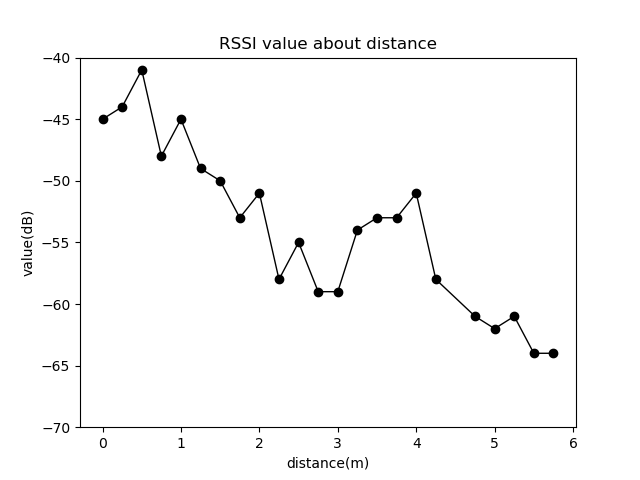


图3-4 RSSI值随距离变化

根据图3-4可以看出，RSSI的值随距离还是整体向下的变化趋势，较为符合对数函数衰落的形式，但是不是严格平滑的，RSSI值上还是有一定的抖动，这种抖动就是室内定位产生误差的来源之一。因此在利用RSSI进行测距的时候，需要尽量避免出现这种抖动，确保测量出的RSSI值能精准的反映出距离的变化，这时需要设计对于采集数据的滤波器来进行平滑处理。

对于RSSI的滤波算法现在主要有均值滤波、迪克逊检验滤波、高斯滤波、卡尔曼滤波等。

进行均值滤波时，使用的是采集的信号强度的算数平均值作为估计值：

 (3-10)

这种方法算法实现上特别简单，但是一些小概率离群点一样会被引入到里面，这样受到的干扰较大，会降低精度。

对于迪克逊检验滤波，是通过数据与极差的比例来去除异常数据点，主要是检测最大数据与最小数据是否为异常数据，根据设定的检出因子，判定已经排序的数据最大最小值是否异常，具体步骤如下：

1. 将对于同一个节点采集到的RSSI值按从小到大的顺序排序，设定采集数据量为10，检出因子为α=0.05。
2. 根据迪克逊检验公式，有：

当n=3~7时，

检验的最大异常值为：



检验的最小异常值为：



当n=8~10时，

检验的最大异常值为：



检验的最小异常值为：



1. 利用检出因子α，根据迪克逊检验临界值表，可以查出对应的α值和n的临界值
2. 利用上面计算出的 、 ，与n的临界值进行大小判定。如果>，这个RSSI值为异常值；如果>，且>，RSSI(1)为异常值；否则没有出现异常值
3. 发现异常值后，将异常值去掉，对于剩下的样本数据执行步骤（1）~（4），直到不再检测出异常值为止。最后滤波输出的值为最后剩下的数据的算数平均值。

该算法能够较为准确的去除数据样本中的异常值，得到准确的结果，但是需要使用迪克逊检验临界值表，对存储空间有一定的浪费，同时该算法复杂度较高，不易于实现。

高斯滤波算法，在数据采集中，数据落入的区域一般情况服从高斯分布，处于极端的数据样本都较小，属于小概率事件，通过高斯滤波选取大概率区域数据样本作为有效值，再计算其算数平均值，这种方法能够有效减小异常数据影响，较大的提高数据的准确性。

假设RSSI的数据样本服从的高斯分布，那么概率密度函数为：

 (3-11)

公式3-11中：





数据落在一倍σ区域的概率通过查表可得为P(μ-σ≤RSSI(i)< μ+σ)=0.6826，该区域为高概率区，这个区间中的RSSI值选取为有效的RSSI值，再做算数平均，得到的值就是滤波优化的RSSI值：

 (3-12)

卡尔曼滤波算法，该算法的核心思想就是，通过前一次的估计值和当前时刻的观测值来求出当前时刻的估计值，采用的是信号与噪声状态空间模型，限定是得到的估计值满足最小均方误差的估计。

其基本假设为:

(1) 验概率分布 为高斯分布；

(2) 整个动态系统是线性的：



1. 系统的噪声和测量噪声都是服从高斯分布的，协方差矩阵分别为和。

采样过程的状态方程和观测方程分别为：

状态方程：

 (3-13)

观测方程：

 (3-14)

其中xk为k时刻的RSSI估计值，yk为k时刻的观测值。

联立状态方程和观测方程，可以得到：

 (3-15)

 (3-16)

时间更新方程为：





测量更新方程为：

 (3-17)

公式3-17中，Kk为滤波增益矩阵， 为上一步预测均方误差矩阵。

卡尔曼滤波使得到的RSSI值稳定性更好，有很强的跟随性，但其算法实现很复杂，循环迭代会造成内存空间的浪费。

以上对RSSI值得滤波算法，总的来说，为了得到更加精准的RSSI值与距离的关系，提高定位的精度，需要对滤波算法进行改进。

3.3 基于位置指纹的定位算法设计

位置指纹定位算法，是室内定位系统中最常用的算法之一，在进行室内定位之前，先收集Beacon部署范围内的指纹数据，相当于对算法，对定位识别进行训练，然后在定位阶段，利用获取到的RSSI及其他相关数据来匹配之前收集的数据，得出定位点的坐标。位置的估计也有相关的算法作为支撑，主要有最近邻算法、K近邻算法、加权K近邻算法、贝叶斯估计算法。

3.3.1 最近邻算法（NN）

利用之前收集的定位区域数据去匹配现在采集到的数据，然后找到最接近的位置作为测量点的位置，这就是最基本的最近邻算法，它使用的是欧式距离来进行估计，利用指纹数据库来计算待测点到每一个参考点的欧式距离，这里的距离不是实际中的距离，而是使用RSSI测量值的差值距离，因此这里的欧式距离采用的是RSSI的值来进行刻画。假设待测量的点的RSSI为，总共的参考节数为n，总Beacon数为m，在指纹数据库中参考点i对于Beacon节点j的RSSI值为，求得待测量点的与指纹数据库中数据的欧式距离为：

 (3-18)

在得到每一个后，对距离进行排序，选取最小距离作为待测点的估计值：



3.3.2 K最近邻算法(KNN)

KNN算法是对最近邻算法的一种改进，最近邻算法选取距离最小的一个坐标作为待测量点的最终坐标，而KNN则是先在指纹数据库中选择出个坐标点作为结果的参考坐标点，然后将这几个参考坐标点计算算数平均值，得到最终坐标点的估计值，计算如公式3-19所示：

 (3-19)

由公式3-18得到，然后排序得到最小的k个参考点坐标，再对这k个坐标求平均值，得到最终的参考坐标,这种采用k个点求平均值的方式，在一定程度上减小了只用一个点代表的误差，但是由于是求得平均值，各个参考点之间相互影响，就一定会存在误差。

3.3.3 加权KNN算法

加权KNN算法是对KNN算法的一种改进，KNN算法是对选择出的k个参考点取算数平均值，而加权KNN算法是对选择出的k个参考点取加权算数平均值，最终得到的是权重与参考坐标的乘积来估计待测点的位置。

WKNN算法的计算公式如3-20所示：

 (3-20)

由公式3-18得到，这里的的倒数表示的就是权重。该算法在这几个最近邻算法中是误差最小的，是一种较好的匹配算法。

3.3.4 贝叶斯估计算法

贝叶斯估计算法是一种利用概率来估计当前位置的一种算法，使用的是待测点出现在每一个参考点的后验概率分布来求得位置坐标。假设在区域内有N个参考节点，参考节点的坐标为{A1,A2,A3,…,AN}，待测点的RSSI值为s，则后验概率分布为：

 (3-21)

其中为待测点相对参考点的后验概率，该公式计算得到了待测点相对于所有参考点的后验概率值，然后使用加权平均公式3-22可求得待测点的估计坐标：

 (3-22)

贝叶斯估计误差在这几种算法当中是最小的，是匹配算法中较为优秀的，在室内定位算法中有大量的应用。

3.4 基于PDR的定位算法设计

在现在的终端手机上都集成有加速度传感器和方向传感器，对于Android手机的自然坐标系如图3-5所示，X轴是水平指向右的，Y轴是垂直向上的，Z轴是指向屏幕正面之外的，即屏幕背面是Z的负值。

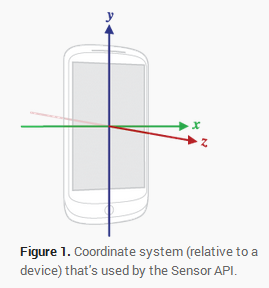


图3-5 Android手机自然坐标系

结合方向传感器和加速度传感器，可以得到终端手机在自然坐标系上的加速度和方向，可以利用这些数据来实现手机上的PDR算法。

1. 步数检测

通过智能手机内置的加速度传感器，可以采集到行人行走时手机的加速度波形，如图3-6所示。图中每一个波形周期代表人前进了一步，过滤掉高频分量并限幅后的波形如图3-7所示，根据图3-7的波形再利用过零检测法就可以计算出人的行走步数。

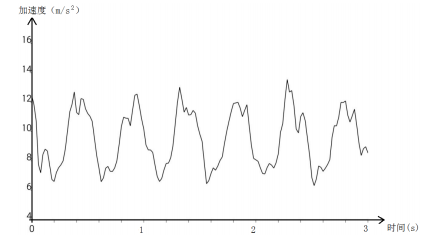


图3-6 行走时采集的加速度波形

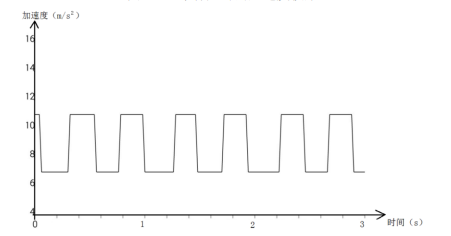


图3-7 限幅滤波后的加速度波形

1. 步长估计

文献[40]提出一种步长计算公式：

 (3-23)

公式3-23中，K是常数，随着人的性别、身高体重变化而变化，通常取值范围为0.2~0.5，amax，amin表示一步内通过传感器得到的竖直方向上加速的最大值和最小值。利用手机内置的传感器，并假设人手持手机进行定位。根据本文的实际情况，本文在公式(3-23)的基础上进行修改，提出一种新的步长计算公式如下：

 (3-24)

实际测试实验表明该公式更符合实际手持手机的步长估计的情况。

得到了步数、步长，再根据方向传感器返回的角度值，就可以利用公式(3-25)运行PDR 算法进行定位。

 (3-25)

PDR 算法的定位精度，取决于三个关键因素：初始位置、方向、前进步长。在 PDR 算法中利用行走时手机的加速度变化来估计前进步长，步长估计误差较大，而且 PDR 算法无法自主消除累积误差，随着行走距离的增加，PDR 的累积误差将越来越大。

3.5 本章总结

本章对蓝牙Beacon的位置选定进行了阐述，

第4章 基于Beacon的室内定位系统实现

4.1 低功耗蓝牙Beacon设置

本论文需要实现的室内定位是基于低功耗蓝牙Beacon的，在室内需要定位的区域部署一定量的Beacon节点，对Beacon节点参数进行相关设置，这样之后采集的数据才能有所参考和价值。

1. Beacon节点个数选择

之前相关研究已经对与Beacon节点个数与定位误差之间的关系进行了研究，当接入个数小于4个的时候，对定位误差有很大的影响，当Beacon个数超过四个的时候，平均误差趋于一个稳定值，如图4-1所示。在此基础上，Beacon数量选择4个即可，更多的Beacon数量并不能显著提高定位精度。

图4-1 Beacon数与平均误差之间的关系

所以低功耗蓝牙Beacon的设置为4个，保证了定位精度的同时，也在一定程度上降低了部署成本。

2) Beacon节点部署拓扑设定

在布置Beacon的时候，采用的是矩形法则进行部署，将需要定位的区域进行九宫格划分，把Beacon固定在九宫格划分的四个交叉点上，实现对需要定位区域的完全覆盖，部署拓扑如图4-2所示：



图4-2 Beacon节点部署拓扑图

4.2 Android App室内定位分析与实现

现在每人一个手机已经是普遍现象，因此开发基于手机端的室内定位App能极大的方便人们的使用。在大型商场，人们可以通过手机获取到当前所处位置，进一步可以导航去想去的区域，方便用户购物，精简逛商场的时间，同时商场方面可以根据用户定位的位置，为用户推荐相关的商品，从而促进双方的交易往来。

本次使用的信号发射源为低功耗蓝牙Beacon，将Beacon设备部署到相应的位置，实现室内定位，用户只需要下载App就能够享受系统提供的室内位置服务。要提供精准的室内位置服务，需要对各个方法进行研究比对，得到较好的定位方法。本文研究了基于RSSI的定位方法、指纹定位方法、PDR定位方法，并对比其定位准确度，得到较好的室内定位实现方式。

4.2.2 Android App开发技术栈介绍

Android系统是基于Linux内核设计的开源手机系统，目前全球将近一半的手机都搭载了Android系统。同时，Android将代码开源托管至Github上，对于我们学习Android系统有极大的帮助。Android系统从架构上来说分为4层：应用程序层、应用程序框架层、系统运行库层、Linux内核层，分别介绍如下：

应用程序层，Android系统自身包含了许多用Java开发的APP，例如电子邮件客户端、地图、图片浏览器、web浏览器等，这些APP并不是固定的，Android系统自身允许其他APP替换它们。

应用程序框架层，它向我们提供了大量的通用组件，这些组件组成了Android SDK，其中包含了大量的快速开发的接口。在Android系统中，大部分核心应用程序也是通过Android SDK来实现的。

系统运行库层，包括系统库和Android runtime两部分组成，其中，系统库起到框架支撑的作用，它里面包含了SQlite、MediaFraIIIework、webkit等常用的功能组件，Android runtime保证了Android程序运行所需的环境。

Linux内核层，Android是基于Linux内核实现的，它的主要作用是连接手机的软件和硬件为进程管理、内存管理、驱动管理等上层应用提供底层支持。

4.2.1 室内定位App总体结构



图4-3 测试App模块图

App实现对几个算法的分别实现，主要是为系统整体测试做准备。整个App设计展示界面简单明了，测试的时候方便快捷。

4.2.2 界面显示模块

为了方便用户的操作，我们设计体验良好的简洁的交互界面。使用Google推荐的Fragment进行页面布局的显示

4.3 RSSI定位实现

根据3.3节对RSSI测距模型的分析，使用RSSI直接进行定位时有需要使用的模型为：

 (4-1)

4.3.1 RSSI定位模型的参数确定

公式4-1中，有两个参数和，这两个参数值，决定了信号强度与距离之间的关系，参数对定位精度有很大的影响，因此精确测定这两个参数非常重要。

我们采用物理实验中用到的控制法进行分析，先让n不变(n=2.2)，A变化，可以绘制出如图4-4的误差散点图：

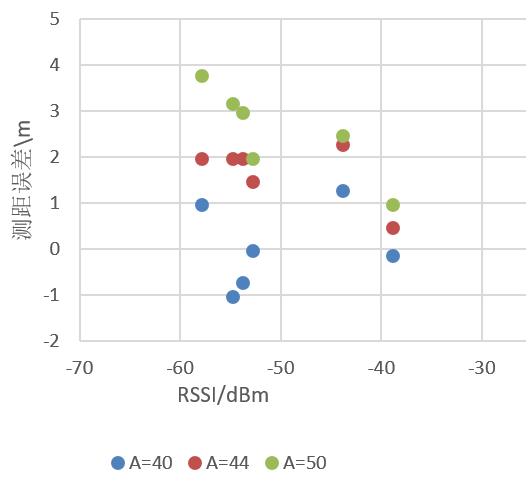


图4-4 A值与测距误差散点图

可以看出A的取值对测距误差影响还是很大的，当A=40的时候，误差范围在2m以内，当A=44和A=50的时候，测距误差大多都在2m以上。因此选定A=40，对不同的n进行测定，得到测距误差与RSSI的关系如图4-5所示：

图4-5 n值与测距误差散点图

可以看出当n=2.2时，测距误差较为稳定的保持在2m范围内，当n=1.8和n=2.8的时候，测距误差较大，对于室内定位精度而言不能满足要求。为了保证定位精度的要求，需要对A和n的值进行优化，得到与环境匹配的参数值。这里使用线性回归来估计A和n的值，假设，di为距离，在di处测量的RSSI值为RSSIi，i=1,2,3,…,m，m为在距离di处测量的次数，可得：

 (4-2)

 (4-3)

使用代表回归系数，则：

 (4-4)

标准差为：

 (4-5)

该线性回归算法流程图为：



图4-6 线性回归流程图

在实验室测量为例，测得50组数据，带入公式x，y可以得出，A=41，n=2.3，利用优化后的参数能很好的拟合当前环境模型曲线，如图4-7所示：

图4-7 实测试值与模型值对比

同样在同一个位置测量的RSSI值，由于环境影响存在波动，因此需要进行滤波，根据第3章的分析，这里采取高斯滤波的方式进行数据的处理，取概率区间大于0.6的范围，算法流程图如图4-8所示：



图4-8 高斯滤波流程图

在进行了高斯滤波过后，得到的数据更加平滑，计算出来的距离误差更小。

数据处理完毕后，将结果带入模型即可得到位置点信息，整个区域为5m\*3m，选取左下角为正交坐标原点，4个Beacon均匀分布在其中，A(1.67,2.2)、B(3.34,2.2)、C(1.67,1.1)、D(3.34,1.1)，如图4-9所示：



图4-9 Beacon节点分布图

然后确定一个待测点并将准确坐标测出为(1.65,1.8)，然后在待测点E进行数据采集，得到50组数据，进行高斯滤波处理，然后以参数A=60和n=2.3将滤波后的RSSI值带入公式4-6：

 (4-6)

得到待测点E到A、B、C、D四个参考点的距离，以距离di绘制圆形，得到待测点的坐标值，如图4-10所示：



图4-10 参考点确定待测点

定位误差计算为：

 (4-7)

测量50次，取误差的均值作为待测点的估计误差。

4.4 指纹定位实现

室内定位位置指纹方式的实现步骤如图4-11，



图4-11 指纹定位方式步骤流程图

对于定位区域的划分使用平均距离划分原则，理论上使用非均匀划分会得到更好的结果，但是为了减少工作量，这里使用均匀划分，对于在点位上采集的RSSI信息值还是采用高斯滤波算法进行滤波以得到更加精准的参考值，使指纹数据库的建立更加有意义。

4.4.1 指纹数据库建立

在进行区域划分后，得到了许多的交叉点，对交叉点进行编号，并对RSSI值进行测量，数据库中数据表中各个字段如表4-1所示：

表4-1 采集数据的数据库字段

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **字段** | **类型** | **大小** | **说明** |
| id | int | 11 | 编号id |
| major\_id | int | 11 | Beacon的major id |
| minor\_id | int | 11 | Beacon的minor id |
| uuid | string | 50 | 唯一标识Beacon的字段 |
| rssi\_A | float | 6 | 对于A点的RSSI值 |
| rssi\_B | float | 6 | 对于B点的RSSI值 |
| rssi\_C | float | 6 | 对于C点的RSSI值 |
| rssi\_D | float | 6 | 对于D点的RSSI值 |

在每一个划分的交叉点让手机App采集50次的数据，然后对采集到的数据使用高斯滤波进行滤波，将滤波得到的值存储到数据库中，在采集完每一交叉点后就构成了该定位区域的指纹数据，待测点的位置估计就是基于这个指纹数据库的。

4.4.2 基于KNN室内位置估计

在指纹数据库建立的基础上就能够进行室内定位了，为了达到较高的精度，每次进行定位的时候快速采集30次这个点的RSSI值，对这些值进行高斯滤波后，然后在指纹数据库中进行交叉对比，为了更好的得到待测点坐标，这里采用K=3的KNN算法，K=3时能较快的进行比对划分，更快速的得到结果，K值越大执行算法需要用的时间越长，降低了用户体验，K值较小不能得到有效的值，KNN算法步骤如图4-12所示：



图4-12 KNN算法步骤图

4.5 PDR定位实现

4.5.1 行人运动状态判定

要使用行人航位推测（PDR）的方法，首先要对行人的运动状态进行判定，这里使用手机上的加速度传感器对行人是否处于运动状态进行判断，在行走的时候，手机里集成的三轴加速度传感器会对数据进行采集，如图4-13所示：

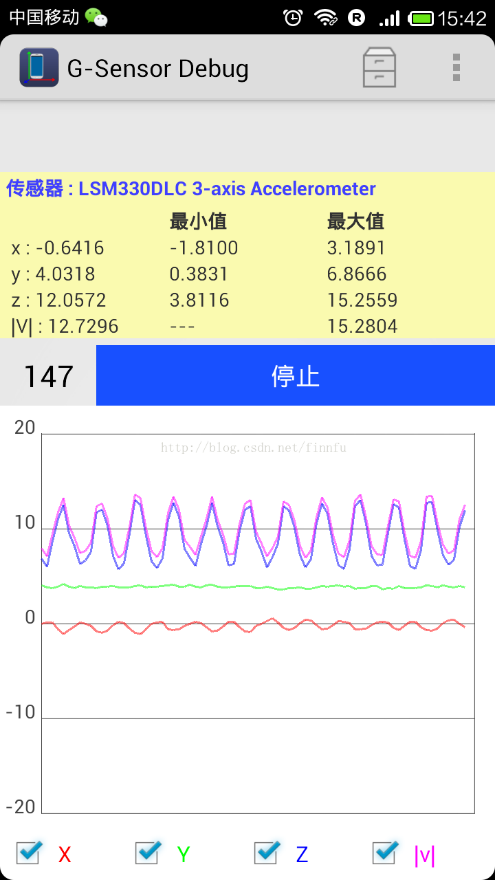


图4-13 三轴加速度计计步图

这里采用对波峰值、波谷值、传感器值、阈值等进行统计，通过算法对步数进行统计，得到恰当的步数信息，再通过训练得到用户每一步的大小，就能够得到当前行走距离， 并进一步推测用户在室内的位置信息，主要步骤如下图4-14所示：



图4-14 运动趋势判定

假设运动状态是由运动状态向静止状态过渡，那么采集处理后的数据必须满足的条件有：（1）加速度由高到低变化。（2）在一定范围内不能有高于这个加速度的值。采集的数据和进行处理后的效果如图4-15所示：

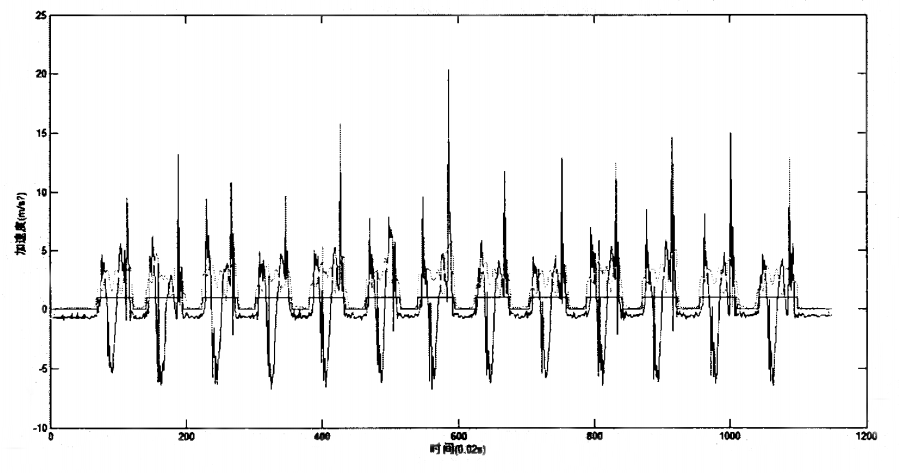


图4-15 原始数据与滤波数据对比图

4.5.3 航向确定

用户在室内不是一直走直线，会有转弯等行走路径，这时对位置的推测还需要借助于手机中的方向传感器，或者指南针，判定用户目前走的方向，通过三角函数等数学形式得到用户相对于定位区域坐标原点的位置信息，即可以实现用户的室内定位。

4.6 室内定位的改进

要实现更为精准的定位需要将之前的方法进行结合，这里使用位置指纹+RSSI+Kalman滤波+航向判断的方法进行分析及测定，由于使用了指纹技术所以需要先收集每一个锚点的RSSI信息，并通过使用Kalman滤波，对数据进行处理，Kalman滤波算法流程图如图4-16：



图4-16 Kalman滤波算法流程图

使用指纹定位技术对PDR的误差进行修正，在用户在定位区域进行行走的时候，融合指南针的方位估计，结合采集的进行Kalman滤波后的RSSI的值，就能很好的得到用户在定位区域内的位置信息。

4.6.1 系统功能模块分析



图4-17 App功能模块图

PDR估算模块主要有三个功能：（1）估计用户位置坐标；（2）步长估计利用步长估计模型进行用户步长估计；（3）采用波峰检测法进行步频检测。

节点管理模块主要功能就是在进行指纹数据采集之前，需要确定采集哪些点的数据，节点管理模块就能够在地图上对锚节点进行添加、删除，在训练的时候，就按照标记的节点进行训练，在定位的时候通过KNN筛选后的估计点也是参考的这些节点。

定位训练模块，主要是为了采集每一个锚节点的指纹信息，并存储到手机的SQLite数据库中，在训练的时候需要对东、南、西、北四个方向进行定位训练，训练将结果以柱状图的形式显示。

信标管理模块，就是在地图上对参考的Beacon节点进行标记，主要功能：（1）设定信标的基础信息，uuid、majorid、minorid等；（2）对Beacon节点进行添加、删除。

4.6.2 定位系统流程

手机App端整个定位系统的执行流程如下：

第一步：生成地图并显示，使用地图解析库对生成地图；

第二步：管理信标，在地图上，添加Beacon参考信标节点并保存；

第三步：管理节点，在地图上，添加锚节点信息，作为需要收集指纹的节点并保存；

第四步：定位训练，进行定位训练步骤如图4-18所示：



图4-18 定位训练流程图

第五步：开始定位，在训练完所有锚点后，用户就可以开始得到室内定位服务了，逻辑结构图如图4-19所示：



图4-19 定位逻辑结构图

在进行定位的时候，需要用到的相关模块的设计与实现如下：

(1) Beacon扫描模块：在Android的SDK中，包含有对低功耗蓝牙进行调用的API函数，在开发的时候，不仅仅需要在AndroidManifest.xml添加蓝牙操作权限 android.permission.BLUETOOTH、android.permission.BLUETOOTH\_ADMIN，同时也需要在运行的时候动态获取到蓝牙的操作权限。

启动App后，首先检测是否有蓝牙权限，如果没有就调用ActivityCompat.requestPermissions(activity, permissions)，进行蓝牙权限的获取，然后调用verifyBluetooth()检测蓝牙模块是否打开，如果没有开启的话，则使用系统组件调用进行蓝牙启动，然后在地图显示出来后，蓝牙就开始在后台一直运行着，扫描周围的Beacon节点，得到RSSI信息，得到的RSSI信息被存入一个List中，然后将整个List的值进行Kalman滤波，扫描Beacon程序流程图为：



图4-20 Beacon模块流程图

(2) PDR位置估计

1) 方向估计

在手机中已经集成有方向传感器，直接在应用程序就能够调用底层的方向传感器，并获取数据，调用Android的系统函数getSystemService(Context.SENSOR\_SERVICE)，获取方向传感器的系统服务，在获取到方向传感器的服务后在onResume()中对服务进行注册mSensorManager.registerListener(this, aSensor, SensorManager.SENSOR

\_DELAY\_GAME)，之后重写onSensorChanged(SensorEvent event)函数，获取方向传感器改变的值，并更新当前用户所面向的方向，方向估计流程图如图4-21所示：



图4-21 方向估计流程图

2) 步频检测

步频检测采用波峰检测算法，使用手机内置加速度传感器，以20Hz进行采样，并对采样数据进行高斯平滑滤波，在内存中的数据以数组形式存储，大小为10，并随着采集的数据不断更新，最后检测数组最后一个元素是否超过阈值，如果超过则表示检测到用户走了一步，步频检测流程图如图4-22所示：



图4-22 步频检测流程图

3) 步长估计

如果2)的步频检测检出一步的话，就调用步长估计函数，并从数组中找到最大值和最小值，计算出时间间隔T，然后根据步长估计公式4-8，计算用户的步长。

 (4-8)

4.7 本章总结

第5章 系统测试与运行

5.1系统测试环境

在定位区域3.3m\*5m区域部署低功耗蓝牙Beacon总共四个，设置其uuid统一为E2C56DB5-DFFB-48D2-B060-D0F5A71096E0，major\_id为1000表示为同一系列蓝牙Beacon，minor\_id为1001、1002、1003、1004用来区别四个不同位置蓝牙Beacon，设置1m处的RSSI值为-60dBm，发射功率为0dBm(80m)，信号发射间隔为800ms，在区域内均匀分布。

手机App使用华为P9真机测试环境，基于Android 8.0系统，配别蓝牙4.0、加速度传感器、方向传感器，使用Android自带的SQLite数据库存储数据。

5.2系统测试与运行结果

1. 地图展示模块运行与测试结果

用户启动App后，就能够看到室内定位地图的显示，整个区域是一个长方形区域，用户可以在区域内实现定位。图5-1为地图展示页面，同时可以对地图进行管理图5-2：

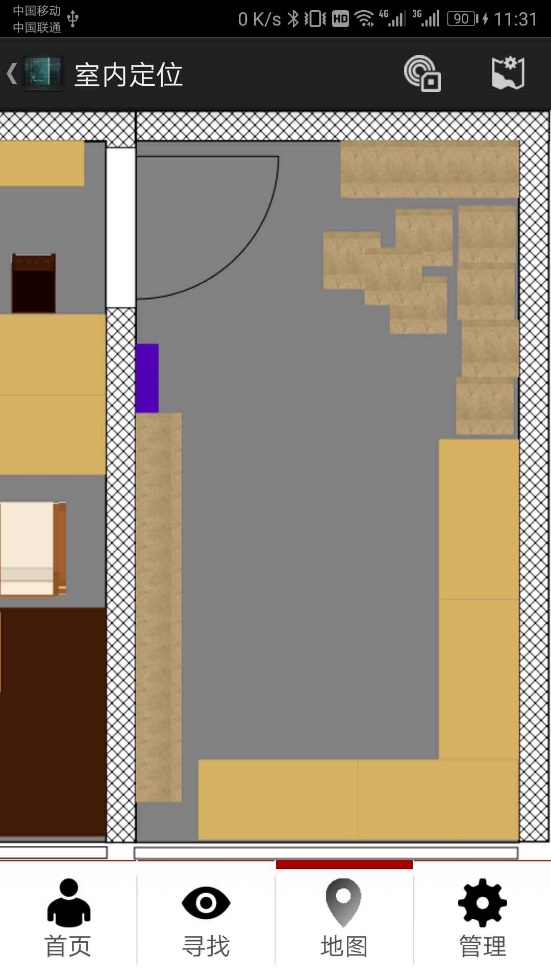
 

图5-1 地图显示页面 图5-2 地图管理

2. 信标管理模块测试与运行结果

在地图建立完成后，需要在地图上对信标点进行标记，添加信标节点图5-3，四个Beacon节点均匀分布在需要定位的区域中图5-4。

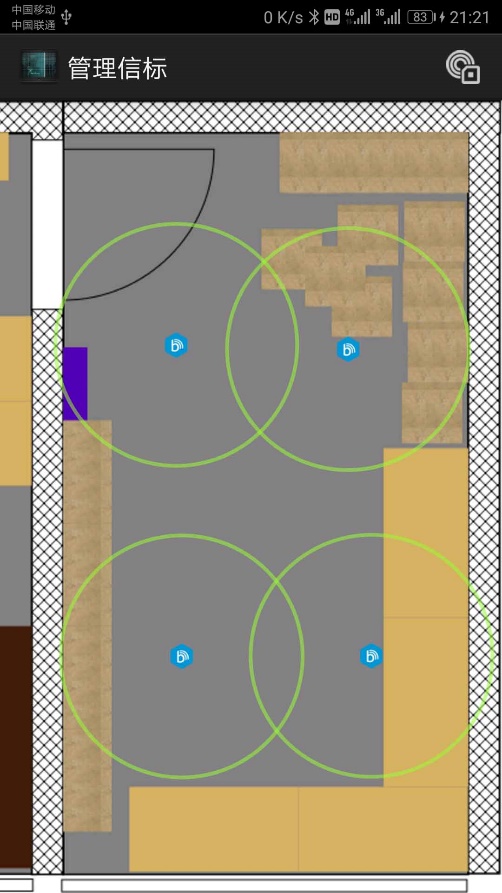
 

图5-3 管理信标点 图5-4 显示信标点

2. 节点管理模块测试与运行结果

信标节点标记完成后，需要进行指纹信息采集，就需要先标记锚节点，对节点进行添加、删除图5-5，在需要定位的区域分布一定量的节点图5-6。

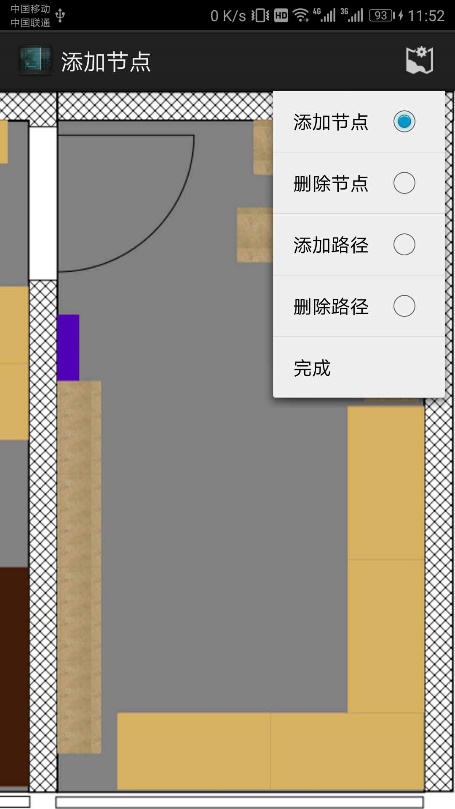
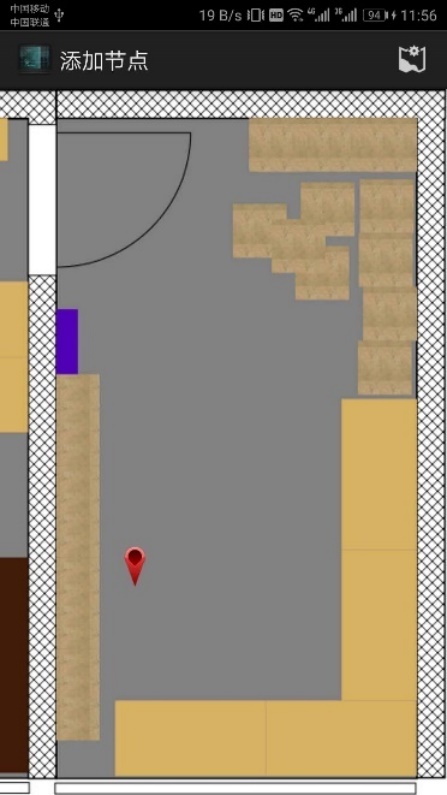
 

图5-5 管理锚节点 图5-6 显示锚节点

一共添加了12个锚节点在室内定位区域，如图5-7所示。

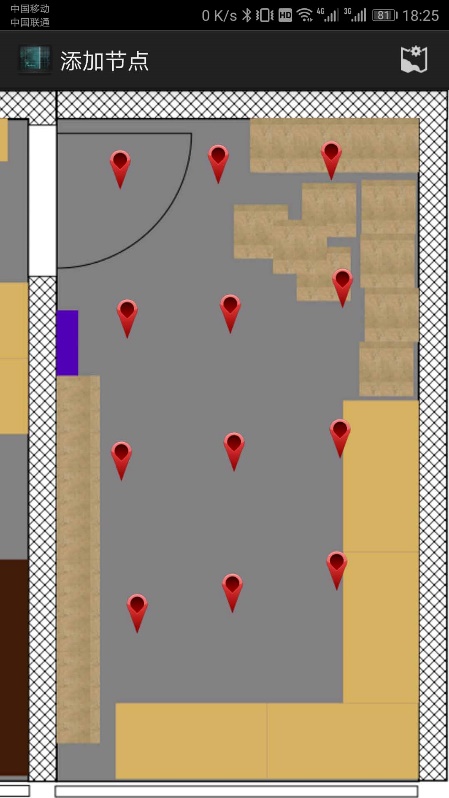


图5-7 标记的全部锚节点

4. 指纹信息采集测试与运行结果

在地图上将12个锚节点标记完成后，需要对每一个锚节点进行训练，定位训练如图5-8所示：



图5-8对节点进行定位训练

红色的表示还没有经过训练的节点，绿色的表示已经训练完成的节点，如图5-9所示：

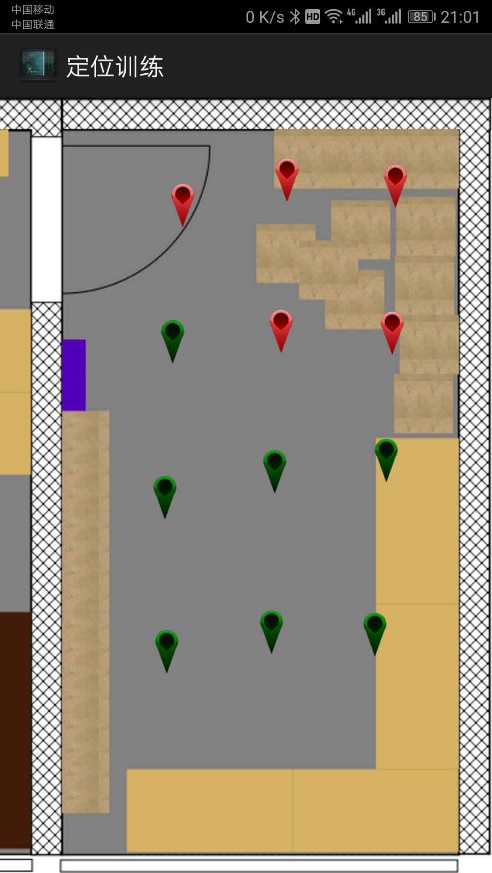


图5-9 已训练节点与未训练节点

定位训练设定时间为20秒，然后需要对每一个方向都进行训练，这样在PDR进行匹配的时候就可以结合方向值进行判断，结合指南针对四个方位进行训练，如图5-10所示：



图5-10 结合指南针进行训练

训练结果如图5-11，图5-12所示：

图5-11 南方向训练结果 图5-12 西方向训练结果

5. 室内定位测试与运行结果

进行定位结果测试，将手机放置在室内的两个位置中，启动运行App，App在地图上就准确的显示当前定位点，图5-13，图5-14。

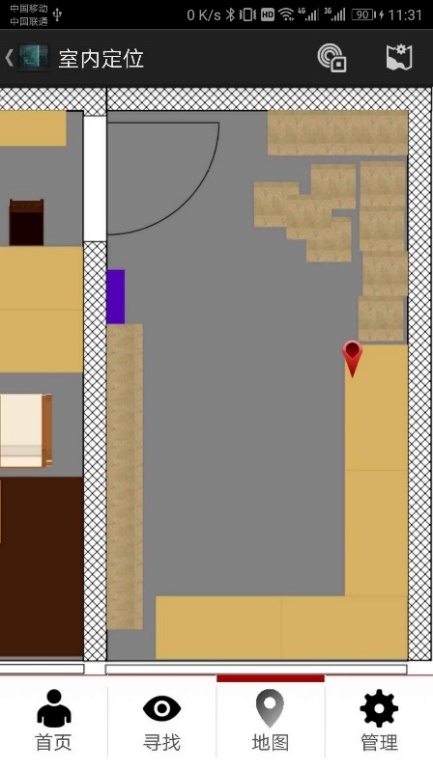
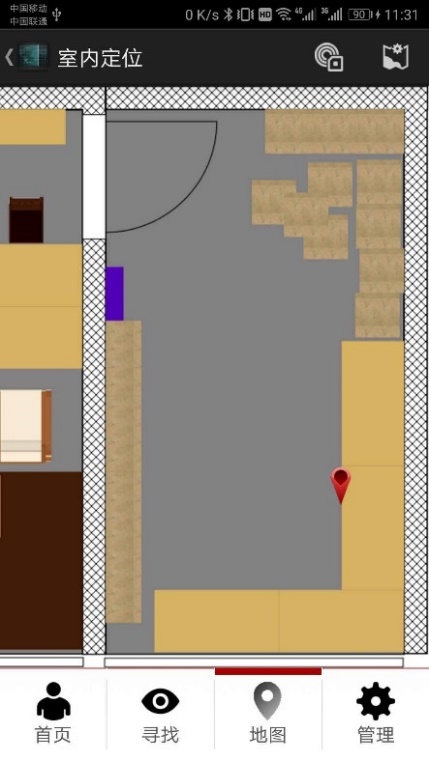
 

图5-13 定位点显示 图5-14定位点显示

5.3本章小结

结 论

随着网络信息化时代的到来，数据规模呈爆炸式上涨趋势，昭示着海量数据时代。在海量数据时代，越来越多的场合

致 谢

时光匆匆流去，我的大学本科生活也即将结束。从大一刚入校时的好奇与迷茫，到大四毕业时的自信与期望。这四年中，自己在不断成长，不断进步。尤其是毕业设

参考文献

1. 徐保民, 倪旭光. 云计算发展态势与关键技术进展[J]. 中国科学院院刊, 2015, 30(2): 170-180.
2. 王成红, 陈伟能, 张军, 宋苏, 鲁仁全. 大数据技术与应用中的挑战性科学问题[J]. 中国科学基金, 2014, (2): 92-98.