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

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2014-01班 学生姓名 杨 玉 川 学 号 2014112252

发题日期：2017年12月5日 完成日期：2018年6月 3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。

基于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

Abstract

目 录

[第1章 绪 论 1](#_Toc514665890)

[1.1背景与意义 1](#_Toc514665891)

[1.2国内外发展应用现状 1](#_Toc514665892)

[1.3论文主要研究内容 3](#_Toc514665893)

[1.4论文章节安排 4](#_Toc514665894)

[第2章 室内无线定位技术 5](#_Toc514665895)

[2.1 室内定位技术概述 5](#_Toc514665896)

[2.1.1 惯性传感器定位技术 5](#_Toc514665897)

[2.1.2 WiFi定位技术 6](#_Toc514665898)

[2.1.3 Zigbee定位技术 7](#_Toc514665899)

[2.1.4 超声波定位技术 7](#_Toc514665900)

[2.1.5 室内GPS定位技术 8](#_Toc514665901)

[2.1.6 RFID定位技术 8](#_Toc514665902)

[2.1.6 LED定位技术 8](#_Toc514665903)

[2.1.7 UWB定位技术 8](#_Toc514665904)

[2.1.8 磁场定位技术 9](#_Toc514665905)

[2.1.9 蓝牙定位技术 9](#_Toc514665906)

[2.2典型室内定位算法介绍 10](#_Toc514665907)

[2.2.1 基于测距的定位算法原理 10](#_Toc514665908)

[2.2.2 基于测距的定位算法 11](#_Toc514665909)

[2.3 低功耗蓝牙(BLE) 13](#_Toc514665910)

[2.3.1 低功耗蓝牙协议栈 13](#_Toc514665911)

[2.3.2 低功耗蓝牙与传统蓝牙区别 15](#_Toc514665912)

[2.3.3 BrightBeacon的室内定位解决方案 15](#_Toc514665913)

[2.4 本章总结 15](#_Toc514665914)

[第3章 基于Beacon的室内定位技术分析 16](#_Toc514665915)

[3.1 蓝牙Beacon设计 16](#_Toc514665916)

[3.1.1 蓝牙Beacon简介 16](#_Toc514665917)

[3.1.2 蓝牙Beacon拓扑设计 16](#_Toc514665918)

[3.2 室内传播模型分析 17](#_Toc514665919)

[3.2.1 室内无线信道特点 17](#_Toc514665920)

[3.2.2 对数路径损耗模型 18](#_Toc514665921)

[3.2.3 Ericsson多重断点模型 19](#_Toc514665922)

[3.2.4 衰减因子模型 19](#_Toc514665923)

[3.3 基于RSSI的室内定位测距模型 20](#_Toc514665924)

[3.3.1 测距模型基准测试 20](#_Toc514665925)

[3.3.2 对测量的RSSI值进行滤波 21](#_Toc514665926)

[3.3 基于位置指纹的定位算法设计 24](#_Toc514665927)

[3.4 基于PDR的定位算法设计 24](#_Toc514665928)

[3.2 信号强度室内分布特征分析 24](#_Toc514665929)

[3.2.1距离对接收信号强度的影响 24](#_Toc514665930)

[3.2.2路径对接收信号强度的影响 25](#_Toc514665931)

[3.2.3测试设备对接收信号强度的影响 25](#_Toc514665932)

[3.4手机App软件设计 25](#_Toc514665933)

[3.4.1 Android系统简介 25](#_Toc514665934)

[基于KNN发现的定位设计与研究 25](#_Toc514665935)

[3.4.1 KNN算法说明 25](#_Toc514665936)

[3.4.2 KNN算法实现 25](#_Toc514665937)

[3.5 基于PDR的算法实现分析 25](#_Toc514665938)

[3.6基于指纹的算法实现与分析 25](#_Toc514665939)

[3.7本章总结 25](#_Toc514665940)

[第3章 系统需求分析与总体设计 26](#_Toc514665941)

[3.1室内定位技术概述 26](#_Toc514665942)

[3.2需求分析 26](#_Toc514665943)

[3.3系统总体架构设计 26](#_Toc514665944)

[2.4基于RSSI的定位技术 26](#_Toc514665945)

[2.4.1基于传播模型的定位方法 26](#_Toc514665946)

[2.4.2基于位置指纹的定KNN位方法 26](#_Toc514665947)

[2.4.3基于PDR的定位方法 26](#_Toc514665948)

[2.5本章小结 26](#_Toc514665949)

[第4章 系统实现 27](#_Toc514665950)

[第5章 系统测试与运行 28](#_Toc514665951)

[5.1系统测试环境及测试数据 28](#_Toc514665952)

[5.2系统测试与运行结果 28](#_Toc514665953)

[5.3本章小结 28](#_Toc514665954)

[结 论 29](#_Toc514665955)

[致 谢 30](#_Toc514665956)

[参考文献 31](#_Toc514665957)

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、红外线定位技术、ZigBee技术、超声波技术、超宽带技术等，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

伴随着科技的发展与计算机软硬件技术的逐步成熟，目前国内外已经开发出了多种室内定位系统的雏形，其解决方案各异，倚重的定位技术也不同，下面对这些定位系统的发展作一个简单的介绍。

在上世纪九十年代初，AT&T剑桥实验室研发了第一代室内定位系统：基于红外线感应的Active Badge系统。该系统功耗极低且可以做到很小的体积，但由于定位过程复杂，延迟时问较长，传感器网络间需采用有线方式连接，因而适用性不高。微软公司于1998年提出了利用位置指纹技术来定位的方案，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(Wireless Local Area Networks，WLAN)中，由无线接入点(Access Point，AP)采集信号强度值，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。其后，华盛顿大学的Jiun．Hung Chen教授改进了RADAR系统中的定位算法，采用鲁棒性更佳的模块匹配与向量匹配方式对目标进行定位。1999年，在Active Badge系统的基础上，剑桥大学推出了改进的Active Bat系统。它利用了RFID与超声波技术，由系统控制器发出射频信号，接收器识别信号后负责发送超声波脉冲并接收测试目标反射的回波，根据发送接收的时间差测得目标距离，继而根据三角定位法等算法确定被测目标的位置。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超声波传感器，定位成本过高，因此难以实现推广普及。

二十一世纪初期，各高校的研究实验室在室内定位领域的苦心经营使得改良普适的定位系统层出不穷。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 Bat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(Wireless Sensor Networks，WSN)引入至室内定位服务中，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。随后的2002年加利福尼亚大学设计了将到达时问(Time ofArrival，TOA)与RSSI技术融合于WSN的Calamari系统，并优化了系统搭建时间、设备数量与功耗、节点尺寸及成本。罗格斯大学研究室在无线网络的位置估计巾引入分层贝叶斯立体模型，从大量实验数据捕获信号特性作为约束条件，根据马尔科夫链的蒙特卡洛法估计坐标的概率分布，以较高的计算复杂度为代价换取系统的定位精度。

国内在室内定位领域的研究起步比较晚，主要研究机构集巾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。实验环境下的定位结果为：准确区分房问的概率约为90％，隔问级的平均误差在1．3m左右。

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iBeacon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最小二乘的离散位置估计和结合速度估计的粒子滤波连续跟踪定位。

(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。

第三章为蓝牙室内定位的硬件架构。由蓝牙技术综述引出当前最新的BLE 4．0技术以及本文设计方案具体采用的iBeacon技术。结合蓝牙信号查询特性验证了基于蓝牙的方案的可行性。最后针对蓝牙模块标识码的特点进行了信标节点的ID规划。

第四章着重研究了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。

第五章从BLE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三方面设计了蓝牙室内定位系统的方案。

第六章详细分析了蓝牙室内定位的结果，从离散位置估计与连续跟踪定位两方面展开。针对仿真定位结果，研究了定位精度的影响因素。根据实测数据验证了定位系统的可行性。

第七章对本文的工作进行了总结，同时阐述了有待进一步研究的内容与方向。

这些由节点发出的参数主要包括节点Minor值、节点Major值、节点UUID值、节点信号强度、节点广播内容，相关约束条件为节点相对位置、1m处节点的RSSI值及约束的其他量。

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、UWB、RFID、计算机视觉、超声波、LED、磁场等，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 WiFi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 WiFi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。

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 超声波定位技术

超声波定位技术采用信号往返时间测距，与雷达定位技术类似，即向待测物体方向发射超声波，当超声波到达待测物体后便产生回波，系统通过计算接收到的回波与发射波之间的时间差来计算与待测物体之间的距离。超声波定位系统结构简单，定位精度较高，但构建系统需要大量的硬件设施，成本较高。Bat 系统与 Cricket 系统是具有广泛的知名度的超声波定位系统，其中 Bat 系统定位误差在 9 厘米之内的概率高达 95%。该定位技术为基于测距的定位技术，因此需要视距条件，故受室内多路径影响明显。另外，由于波长类似，超声波之间干扰较大，因此在多节点定位中需要控制标签发射时间，导致定位存在延迟。此外，人类活动过程中也会产生超声波，会对该技术应用造成影响。

2.1.5 室内GPS定位技术

作为目前应用最广泛的定位技术，GPS接收机工作于室内时，由于信号穿过建筑物产生衰减，路径损耗很大，与此同时，建筑的内在结构使得信号反射、折射、绕射和散射，形成多径现象，接收信号的幅度、相位及到达时问均发生变化，造成定位难度大或定位精度降低，提取出导航数据以及时间信息几乎不可能。为提高信号灵敏度，辅助GPS(Assisted GPS，A．GPS)技术应运而生，由多路并行相关器搜索信号，通过复杂的运算可从中提取较为精确的信号。GPS定位技术的优势是卫星有效覆盖范围大，全天候工作，而且导航信号免费。劣势是定位信号到达地面时已较微弱，难以穿透建筑物且定位终端的建设成本较高。

2.1.6 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。

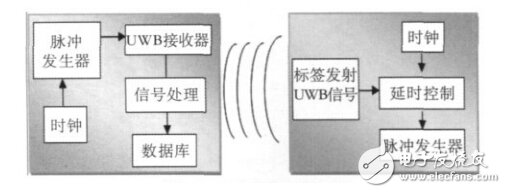
2.1.6 LED定位技术

该技术首先需要让 LED 灯具发出一定规律和频率的光，再利用智能手机的摄像头或光敏传感器接收该 LED 光信号，进而进行检测、计算位置信息，LED 可见光定位系统的定位精度可达米级，可充分利用建筑及巷道内的照明设备，但需要指出的是，旧设备需要改造，且该技术需要依赖既有的通信设施进行位置信息的传递。国外 Bytelight 系统是该技术的代表，国内华策光通信的 UBeacon 定位系统具有一定的影响力。

2.1.7 UWB定位技术

超宽带技术是近年来新兴的一项无线技术，目前，包括美国，日本，加拿大等在内的国家都在研究这项技术，在无线室内定位领域具有良好的前景。UWB技术是一种传输速率高（最高可达1000Mbps以上），发射功率较低，穿透能力较强并且是基于极窄脉冲的无线技术，无载波。正是这些优点，使它在室内定位领域得到了较为精确的结果。

超宽带室内定位技术常采用TDOA演示测距定位算法，就是通过信号到达的时间差，通过双曲线交叉来定位的超宽带系统包括产生、发射、接收、处理极窄脉冲信号的无线电系统。而超宽带室内定位系统（如图1所示）则包括UWB接收器、UWB参考标签和主动UWB标签。定位过程中由UWB接收器接收标签发射的UWB信号，通过过滤电磁波传输过程中夹杂的各种噪声干扰，得到含有效信息的信号，再通过中央处理单元进行测距定位计算分析。



2.1.8 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。

2.1.9 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。

通过上面的介绍，我们得出各个室内定位技术的优缺点，对比结果如表2-1所示：

表2-1 室内定位技术对比

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 定位技术 | 优点 | 缺点 |
| 红外线技术 |  |  |
| 超声波技术 |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

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. 三边测量定位算法

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。这里使用基于2D平面的推导，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(x1，y1)，(x2，y2)，(x3，y3)，目标节点与它们的距离分别为d1，d2，d3，如图2-1所示：



图2-1 三边测量定位算法

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、三角测量法

已知A、B、C三个已知节点的坐标分别为(x1,y1)，(x2,y2)，(x3，y3)，未知节点相对于A、B、C的角度分别为：∠ADB，∠ADC，∠BDC，现假设未知节点D的坐标为(x,y)，三角测量法刚的示意图如图2.2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O1(xo1,yo1),半径为r1，可得α=∠AOC=(2π-2∠ADC)

3、极大似然估计法

极大似然估计法(Maximum Likelihood Estimate，MLE)的定位原理【321为：假设区 域内有n个已知节点与一个未知节点，当已知节点的坐标到未知节点的估测距离已知时， 可推得未知节点与已知节点之问的距离方程。 假设已知节点的坐标Pb(x1，Y1)，@2，Y2)，…，(Xn，％)，它们到未知节点的距离分别 为d1，d2，…，dn，如图2—3所示：

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2-1所示：



图2-1 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（profiles）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（Attribute Protocol）协议，ATT 协议把 Service, Characteristic遗迹对应的数据保存在一个查找表中，次查找表使用 16 bit 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个意见领袖，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（但是还是会接受），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（为保证网络不互相干扰而划分）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

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

3.1.1 蓝牙Beacon简介

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。

3.1.2 蓝牙Beacon拓扑设计

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) (b) (c)所示：



3-1a 正方形 3-1b 菱形 3-1c 直线型

1. 正方形拓扑

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. 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。

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：

为路径数，i=1,2,3,4…n

为经过第i条路径接收的信号振幅

第i条路径的传输时延

R(t)相对于、、的变化要缓慢很多，为缓变化随机过程，

设，，得：

其中：

R(t)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[PL]模型表示为：

其中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；d表示传播距离，d0­表示参考距离，取1m；是一个标准差为σ的正态随机变量，为高斯白噪声。有：

R表示RSSi值，Pt是发射功率，公式可简化为：

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d0=1m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所示：



图 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：



为同层信号衰减因子

FAF为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-65dB，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3-1所示：

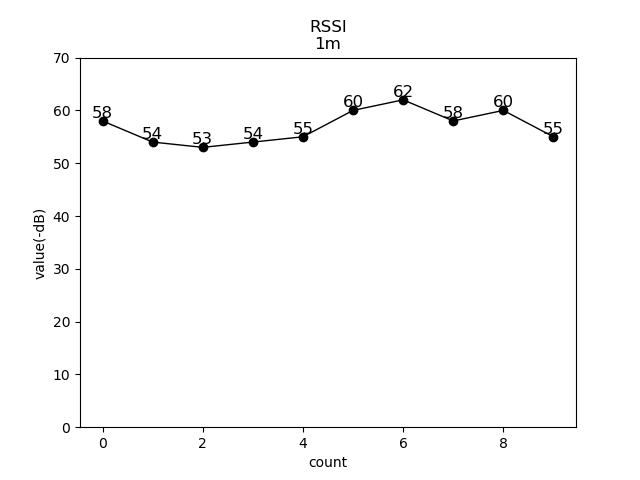


图3-1 1m处RSSI值

可以看出数据在一定范围内波动，但是都是在设定值60dB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：

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：

n为衰减因子，一般取值为2-4；d为测量点到发射器的距离；A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值与距离的关系为：

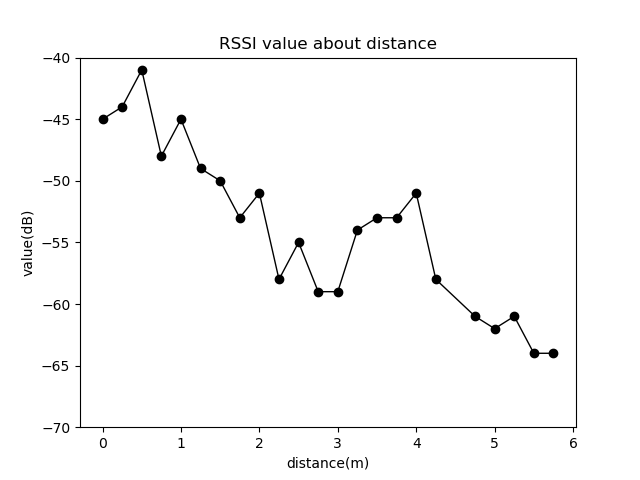


图3-2 RSSI值随距离变化

根据图3-2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：



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：



其中：





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：



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. 后验概率分布 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：



观测方程：



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：





时间更新方程为：



测量更新方程为：



其中，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。

在

3.3 基于位置指纹的定位算法设计

3.4 基于PDR的定位算法设计

3.2 信号强度室内分布特征分析

3.2.1距离对接收信号强度的影响

距离是决定低功耗蓝牙信号接收强度大小的主要因素之一。节2.3.1 中采用信号传播模型表示距离和接收信号强度的关系。如简化公式(2-6)，如公式(3-1)所示：

D

为距离d 到参考距离0 d 的信号强度衰减值， K 为一个常数，理想环境下信号强度的损耗应与距离呈对数关系。实验测试选择的地点是在西安电子科技大学新科技楼7 层的走廊里，平面分布图如图3.3 所示。

3.2.2路径对接收信号强度的影响

3.2.3测试设备对接收信号强度的影响

3.4手机App软件设计

3.4.1 Android系统简介

基于KNN发现的定位设计与研究

3.4.1 KNN算法说明

3.4.2 KNN算法实现

3.5 基于PDR的算法实现分析

3.6基于指纹的算法实现与分析

3.7本章总结

第3章 系统需求分析与总体设计

3.1室内定位技术概述

1.室内环境及信号传播影响因素

2.典型的室内定位技术

3.2需求分析

3.3系统总体架构设计

2.4基于RSSI的定位技术

2.4.1基于传播模型的定位方法

2.4.2基于位置指纹的定KNN位方法

2.4.3基于PDR的定位方法

2.5本章小结

第4章 系统实现

第5章 系统测试与运行

5.1系统测试环境及测试数据

本系统测试时服务器端在台式计算机上运行，操作系统为Ubuntu Kylin 16.04 LTS，数据分析分析环境为BlinkDB alpha-0.1.0，Web服务器为Tomcat7.0。客户端在台式计算机上的浏览器上运行，浏览器为Google Chrome。

系统

5.2系统测试与运行结果

1. 用户登录功能测试与运行结果

用户在登录表单中输入用户名和密码，点击登录以实现用户登录。如果用户登录成功

5.3本章小结

本章从系统测试环境及测试数据、系统测试与运行结果两个方面，介绍了BlinkDB数据分析系统的系统测试与运行，给出系统测试与运行结果的截图并进行分析。从系统测

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.