



测绘科学
Science of Surveying and Mapping
ISSN 1009-2307, CN 11-4415/P

《测绘科学》网络首发论文

题目: 一种基于蓝牙的室内定位导航技术
作者: 杨保, 张鹏飞, 李军杰, 路朋
收稿日期: 2019-02-28
网络首发日期: 2019-04-11
引用格式: 杨保, 张鹏飞, 李军杰, 路朋. 一种基于蓝牙的室内定位导航技术[J/OL]. 测绘科学. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4415.P.20190409.1940.061.html>



网络首发: 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认: 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

一种基于蓝牙的室内定位导航技术

杨保^{1,2}, 张鹏飞^{1,2}, 李军杰^{1,2}, 路朋^{1,2}

(1.北京四维远见信息技术有限公司, 北京 100070;

2.河南四维远见信息技术有限公司, 郑州 450000)

摘要 为解决 GNSS 定位技术的“最后一公里”问题, 室内定位近年来成为定位领域的研究热点。为了满足室内定位和导航服务的需要, 该文采用 iBeacon 信标节点, 设计了一种蓝牙技术为基础的室内定位系统。利用不同 AP 对位置的影响差异, 实现空间分割以自动构建指纹数据库, 结合用户的运动状态实现室内定位。研究表明: 该文的定位方案在 500 m² 的室内环境下, 定位精度优于 2 m, 完全可以满足日常定位导航功能。

关键词 室内定位; 蓝牙; 空间分割; 信号强度

中图分类号 TN96 文献标志码 A

An indoor positioning and navigation technology based on bluetooth

YANG Bao^{1,2}, ZHANG Pengfei^{1,2}, LI Junjie^{1,2}, LU Peng^{1,2}

(1. Beijing Geo-Vision Tech. Co., Ltd, Beijing 100070, China;

2. Henan Geo-Vision Tech. Co., Ltd, Zhengzhou 450000, China)

Abstract To solve the last kilometer problem of global navigation satellite system (GNSS) positioning technology, indoor positioning has been the focus of localization file in recent years. To meet the needs of indoor positioning and navigation services, an indoor positioning system based on Bluetooth was designed using iBeacon beacon nodes in this paper. Using the difference of the influence of different access point(AP) on the location, the spatial segmentation was realized to automatically construct the fingerprint database, and the user's movement status was combined to realize the indoor positioning. The results showed that the positioning scheme of this paper was better than 2 m in the indoor environment of 500 m², and could satisfy the function of daily navigation.

Key words indoor positioning; bluetooth; spatial segmentation; signal strength

0 引言

室外复杂道路的导航问题可以由全球导航定位系统(global navigation satellite system, GNSS)定位技术轻易解决, 然而对于“最后一公里”的室内定位的问题上, GNSS 却显得无计可施^[1]。为了应对越来越高的建筑物, 为用户提供更准确的位置信息, 国内外学者开始研究室内定位技术。

相对于室外定位技术来说, 室内定位技术发展起来的时间还很短暂, 目前室外定位技术已经非常成熟, 而室内定位技术一直是近年来全世界的研究热点。上世纪 90 年代出现了红外定位技术是第一个基于无线室内定位技术, 英国剑桥大学的 Olivetti 实验室基于红外定位技术开发了 Active Badge 系统^[2]。基于雷达(radio detection and ranging, RADAR)的室内定位技术解决方案于 1998 年由微软提出^[3]。该技术主要基于信号强度值构建指纹数据库然后利用射频信号的强度值进行测距和基于测距模型进行定位。该解决方案可以实现高精度。但是构建指纹库需要收集大量数据作为支撑, 并且环境对

基金项目: 2019-02-28

作者简介: 杨保(1986—), 男, 河南新乡人, 工程师, 硕士, 主要研究方向为航空摄影测量、室内定位。E-mail: 403996805@qq.com

网络首发时间: 2019-04-11 15:57:57 网络首发地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4415.P.20190409.1940.061.html>

收集到的数据影响也比较大,环境变化数据也要进行更新,需要大量的人力物力来进行数据维护^[4]。

到了二十一世纪,物联网技术逐渐进入到人们的视野,并且迅速地发展,各种硬件技术也随之有了快速地发展,为室内定位技术的发展营造了良好的环境,首先进入室内定位技术研究的是各个高校实验室^[5]。比如2000年的Cricket定位系统,由麻省理工学院主导开发,它基于超声波定位和射频定位技术,能够自动适应环境和用户需求变化^[6]。2001年,出现了一种基于到达时间差(time difference of arrival, TDOA)定位原理的混合定位系统 AHLOS(Ad-Hoc localization system)系统,该系统使用迭代方法来获得目标位置。但是由于数据计算量大,所以并没有一个良好的实时性能^[7]。接着到2002年,加利福尼亚大学的学者提出了基于传感器网络的Calamari定位系统,此系统结合了到达时间与RSSI定位技术^[8]。同时,还优化了节点容易出故障的问题,提高了可靠性^[9]。苹果公司在2013年9月发布了iBeacon技术,利用iBeacon技术可以实现高效的室内定位,这种系统部署容易,功耗低、成本低,但是信号范围较小^[10]。

二十一世纪之前,国内的室内定位技术并没有太大的发展^[11],新世纪到来之后,越来越多的人开始进入高科技行列,室内定位的发展势头也是非常迅猛,随着国内的许多大学以及企业研究机构的加入,国内的室内定位技术在短短几年内取得了一定的成果^[12]。比如国内一些企业云里物里, April Brothers, 智石说科技公司和真趣科技等,首先嗅到了商机,根据苹果所发布的iBeacon数据协议,开发了大量基于室内定位相关的iBeacon产品。

目前的室内定位系统并没有一套完整的解决方案,各个企业都在投入大量的人力物力进行研究,主流的定位方案是基于蓝牙信号强度测距进行定位,但是由于蓝牙信号不稳定造成定位算法过于复杂或精度较低,蓝牙的广播信号受到复杂环境的影响较大,所以仍难以满足人们的基本要求。面对如此紧迫的形式,如何在对室内定位服务日益增长的需求的背景下,寻求到一款高精度、易部署、低成本的室内定位系统方案是当前人们所迫切期望的。通过对以上现状分析,鉴于低功耗蓝牙技术的优点,本文以低功耗蓝牙技术作为室内定位技术的基础,开发一套集多种定位算法及传感器融合定位的室内定位导航系统。

1 蓝牙室内定位系统

蓝牙定位系统整体架构分为3部分:服务器端、数据采集终端和定位终端,如图1所示。

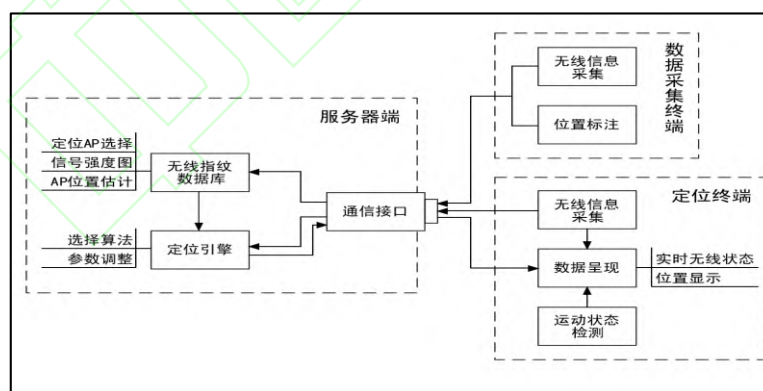


图1 系统结构图

Fig.1 System Structure Diagram

在系统实施测试和维护阶段,数据采集终端在定位位置采集各蓝牙信标 AP(access point)信号强度和电池电量,并在地图上对位置标注或纠正更新。

服务器端存储室内地图及蓝牙信标位置、通过数据采集终端获取的无线指纹数据库;通过无线指纹数据库,服务器展现各蓝牙信标 AP 信号强度图、并可以对定位 AP 进行合理选择,同样也对 AP 位置进行估计来核实蓝牙信标 AP 的正确性。通过定位引擎选择高效的定位算法,并对定位精度进行

有效的参数调整。

定位终端通过微信公众号为入口利用手机实时接收各蓝牙信标的无线信号强度，通过通信接口调用定位引擎，实时在室内地图上呈现定位位置。将手机中的多种传感器例如加速机和陀螺仪等传感器与惯性导航算法相结合，从而获取用户当前的运动状态为用户提供实时的定位导航服务。

1.1 蓝牙信标节点

E5 定位型 iBeacon 是一种用于定位和营销的低功耗蓝牙产品。该产品采用塑料外壳，圆形外观、手感细腻；使用旋扣方式组装，易于更换电池；可采用螺丝和贴胶两种方式固定。技术参数如表 1 所示。

表1 iBeacon技术参数
Tab.1 Technical Parameters of iBeacon

功能	参数
通讯方式	BLE 4.0
广播功率	-30~+4 dBm，默认 0 dBm
广播频率	100 ms~10 s，默认 500 ms
传输距离	空旷极限传输距离 90 m
安全性	支持密码连接及不可连接模式，防恶意连接功能
支持设备	ios7.0及以上，Android4.3 及以上

2 基于 RSSI 传播模型的定位算法

目前主流的室内定位的算法分为基于测距和非测距两种类型。其中基于无线测距的主要有到达时间 (time of arrive, TOA)、到达角度 (angle of arrive, AOA)、TDOA 等方法。另一种就是利用接收的信号强度指示(received signal strength indicator, RSSI)的非测距类的定位算法。然而，室内环境复杂多变易造成信号多径传播以及不准确参考时钟，最终所得出的距离会有很大的误差。基于测距类的方法 TOA、TDOA 等方法在室内定位的研究中逐渐被人们所放弃。人们的目光逐渐聚焦在将成本低，功耗低的 RSSI 测距于非测距算法有效结合的方式上，所以现在的主流室内定位技术都是基于 RSSI 所展开的研究^[13]。

2.1 基于 RSSI 测距的原理

基于 RSSI 测距是利用信号传输过程中的接收信号强度值和距离关系公式解算公式中的参数，并将采集的 RSSI 值纳入公式得到相应的距离。在此方法中影响测距精度的主要因素之一是参数的选择，因为公式中的参数受到一定环境因素的影响，在不同环境下是不同的。RSSI 测距模型常用的是常用的是阴影效应 (Shadowing) 模型。Shadowing 模型中信号衰减与距离之间的关系如下：

$$P = P_0 - 10n\lg(d/d_0) + \varepsilon \tag{1}$$

式中： d 表示蓝牙接收端与蓝牙信标的距离； P 表示蓝牙接收端距离蓝牙信标为 d 时接收到的 RSSI 值，即信号强度值； P_0 表示蓝牙接收端距离蓝牙信标为 d_0 时手机接收的信号强度； d_0 为参考距离； n 表示的是空间损耗因子， n 的值需要结合具体环境而定，信号路径损失越小则 n 越小。 ε 即对数正态阴影衰落代表随机噪声的信号强度，服从均值为 0，方差为 σ 的高斯分布。

实际上，通常使用传播模型的简化版本。利用 iBeacon 技术进行室内定位， d_0 一般设为 1 m。因此可以化简式 (1) 为：

$$RSSI = A - 10n\lg(d) \tag{2}$$

式中： A 是蓝牙接收终端在距离 iBeacon 1 m 时信号强度值。式 (2) 是信号强度测距的模型。从上述公式中可以清晰的看到 iBeacon 信号强度与距离 d 之间的关系。根据移动终端收集的信号强度值，可以获得移动终端与 iBeacon 模块之间的距离。 A 和 n 都需要根据实际的室内环境来确定^[14]。

2.2 定位算法

在定位系统中，iBeacon 用作定位节点，手机接收用于定位的 iBeacon 信号强度。对于仅检测一个定位 AP 节点的设备，以该节点的位置作为定位坐标；对于探测到多个定位 AP 节点，将信号强度转换为设备到节点间的距离（对于不同类型的手机和不同的环境，其距离的估计有很大差距），再根据设备与节点间的几何关系确定设备位置。如果在室内场所遍布足够多的 AP，那么整个室内区域就可以形成一个能够进行室内精准定位的网络。其中用到的算法主要有以下几种。

1) 三边定位算法。以 d_1, d_2, d_3 为半径作 3 个圆，依据毕达哥拉斯定理，可列出求未知点的位置方程组：

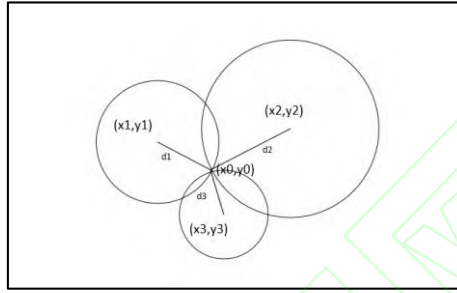


图 2 三边定位算法
Fig.2 Trilateral Positioning Algorithm

$$(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 = d_1^2 \quad (3)$$

$$(x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 = d_2^2 \quad (4)$$

$$(x_3 - x_0)^2 + (y_3 - y_0)^2 = d_3^2 \quad (5)$$

设未知点的位置为 (x, y) ， P_1 的球坐标为 $(0, 0)$ ， P_2 球心的坐标为 $(d, 0)$ ， P_3 球心的坐标为 (i, j) ，设 r_1, r_2, r_3 为 3 个球半径， z 是 3 个球面交点和水平面的高度。则有：

$$r_1^2 = x^2 + y^2 + z^2 \quad (6)$$

$$r_2^2 = (x - d)^2 + y^2 + z^2 \quad (7)$$

$$r_3^2 = (x - i)^2 + (y - j)^2 + z^2 \quad (8)$$

当 $z = 0$ 时，可以看作 3 个圆在水平面上相交为一点，则可以解出 x ：

$$x = \frac{r_1^2 - r_2^2 + d^2}{2d} \quad (9)$$

将式 (7) 变形，将式 (6) 的 z^2 代入式 (7)，再代入式 (8) 得到 y 的计算公式：

$$y = \frac{r_1^2 - r_3^2 - x^2 + (x - i)^2 + j^2}{2j} \quad (10)$$

2) 惯性导航算法。惯性导航可以实现在无全球定位系统 (global positioning system, GPS) 及其它无线网络环境下室内定位，具有自主性强、环境适应性好、易于实现三维定位等优点。通过步行航位推测与捷联惯性导航这两种方式可以做惯性测量的室内定位。惯性导航模块非常适合没有基础设施的室内定位。它拥有体积小，成本低，功耗低等优点，最大的缺点是会累积误差，并且随位移非线性增加累积误差。使用“零速度”更新 (zero velocity update, ZUPT) 卡尔曼滤波算法^[14]可以将累积误差限制在线性增长范围内。同时借助陀螺仪，电子罗盘和磁力计的测量值辅助卡尔曼滤波算法，可以消除惯性导航方向的累积误差^[15]。

3) 地图引擎与导航算法。利用蜂鸟地图的地图引擎和导航算法，支持对信息的定制化显示，业内领先的导航算法可以快速精准地找出最优路径和最近设施。

4) 加权三边定位算法。由无线信号强度渐变模型可以发现，当定位终端离基站距离越远时，接收到的 RSSI 值变化会越来越小，这就会导致距离越远，基站与定位终端的距离误差越大，相应的造成定位误差变大，由此，可以采取加权的思想，将距离小的（精确度高）赋予较大的权值，距离大的（精确度低）的赋予较小的权值。

首先将基站分组。对收集到的所有基站，经由 id 分为组 n 后，求组合数 $C(n, 3)$ ，并对每组分别进行三边定位；接着根据距离越大定位误差越大的原则，赋以权值(为每个基站到定位终端测得的距离)。最后，由每个组合得到的结果加权得到最终的定位结果。

2.3 K 近邻算法

K 近邻 (K -nearest neighbors, KNN) 算法是最简单的分类方法之一。所谓的 K 最近邻意味着每个样本的类别可以用最近的 K 个邻居来表示^[16]。假设所有选定的邻居都已被正确分类，则可以将特征空间中的样本分配给大多数 K 个最近邻居。同时，样本将具有此类别的特征。因为 KNN 算法主要依赖于有限数量的相邻样本，而不是类域之间的区别，所以它更适合于重叠类域中的样本集。

如图 3 所示，有这样两种不同的样本数据，这里可以分别用正方形和三角形表示，待分类的数据用圆表示。也就是说，不知道中间属于哪种数据（方块或三角形）。首先进行对圆分类：

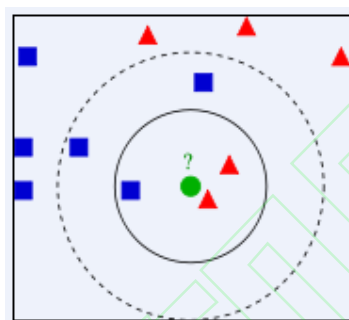


图 3 分类图
Fig.3 Classification Map

结合图片可以看出，在 $K = 3$ 的时候，圆的最近 3 个邻居是 2 个三角形和 1 个正方形。基于统计方法，则需要进行分类的圆属于三角类。

如果 $K = 5$ ，则圆的最近的 5 个邻居是 3 个正方形和 2 个三角形。基于统计方法，则需要进行分类的圆属于方块类。

由此可以看出，当无法确定当前要分类的类别属于哪个类别时，可以根据统计理论查看其位置特征，测量其邻居的权重，并将其分类为（或分配）到重量较大的类别。

2.4 RSSI 滤波处理

由于蓝牙设备的无线信号具有非线性时变特性，因此在同一位置获得的多个信号的强度值非常随机，并且不可能确定哪个值更准确。在此实验中，在某一点连续收集随机选择 iBeacon 设备的蓝牙信号强度 30 次，如图 4 所示。

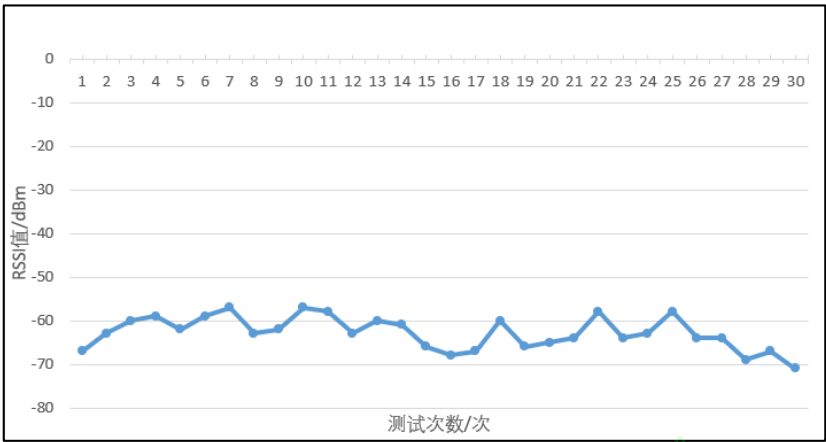


图 4 连续采集 30 次信号值
Fig. 4 Continuous Acquisition of 30 Signal Values

由于蓝牙信号的不稳定性，即使在同一位置测量蓝牙信号强度值，时间不同收集的数据也是完全不同的，但信号值始终稳定在一定的范围内。所收集信号随机性较大，所以不能直接用于后续计算。可以先将数据通过均值滤波法和高斯滤波法进行预处理。高斯滤波模型是去小值取大值，即小概率事件中所收集的数据进行去除处理，将高概率事件中的数据取平均值作为最终信号强度值。均值滤波法是在一定时间内收集一组 RSSI 值，对于偏差过大的信号值进行去除，将处理过后的数据求平均值。与均值滤波模型相比，虽然高斯滤波模型可以有效的控制数据的波动，并且所需数据较少，但缺点是算法更复杂。本文所采用的是均值滤波算法进行数据预处理，以此增强稳定性，即采集同一点的多次信号，对于采集的数据进行均值处理^[17]。

3 定位系统实施与实现

此系统在郑州某一办公楼内进行部署，如图 5 所示是室内空间分布图。图 6 是蓝牙信标部署空间分布，图 7 为定位系统的微信端的导航模块实现。图 8 为手机端的系统检测平台。

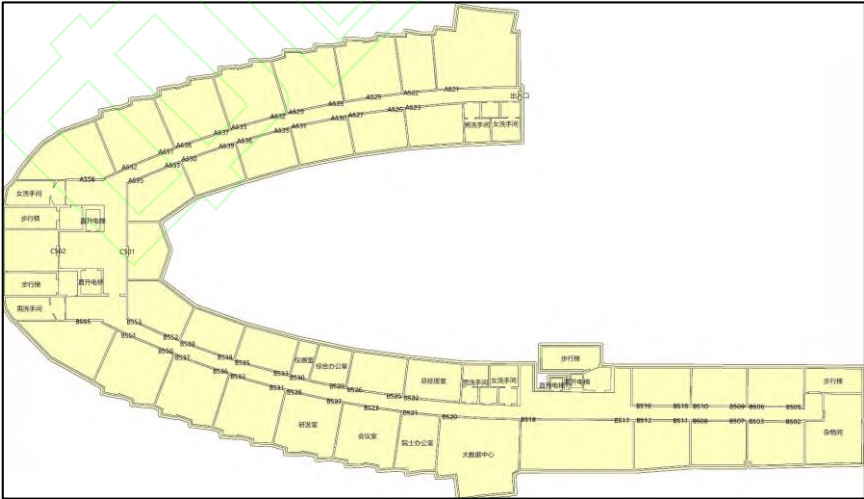


图 5 室内空间平面图
Fig.5 Indoor Space layout

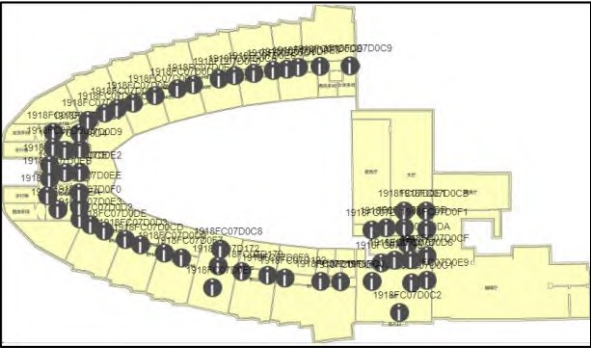
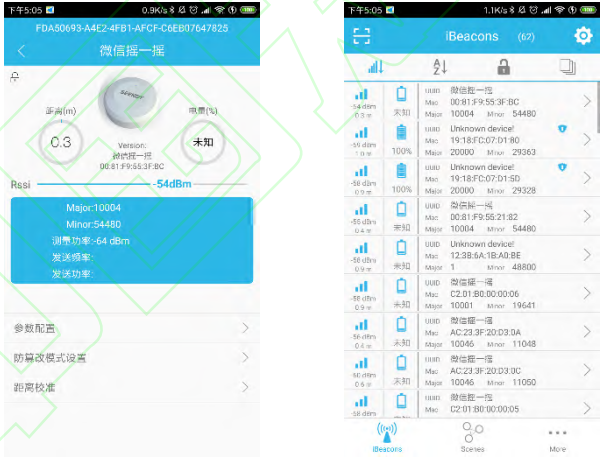


图 6 蓝牙信标部署空间分布
Fig.6 Bluetooth Beacon Deployment of Spatial Distribution



图 7 定位系统展示
Fig. 7 Display of Positioning System



(a)单个 iBeacon 监测界面 (b) iBeacon 列表监测

图 8 系统监测平台
Fig.8 System Monitoring Platform

4 系统测试

4.1 测距实验数据采集

在智能手机（测试用机：iPhone6s）上安装配置工具 App，监测蓝牙信标的信号值，如图 8(a)所示。

在一个 8 m×20 m 的室内大厅，利用智能手机与 3 个蓝牙信标进行数据收集工作。结果如表 2 所示。图 9 为 RSSI 值与距离的关系（原始数据）。

表2 实验数据采集结果
Tab.2 The Results of Experiment Data Acquisition

距离/m	平均信号值/dBm	蓝牙信标 1/dBm	蓝牙信标 2/dBm	蓝牙信标 3/dBm
0.5	—47.40350877	—47.00000000	—48.26315789	—46.94736842
1.0	—54.96031746	—54.85714286	—55.59523810	—54.42857143
1.5	—55.72020202	—56.35555556	—56.57777778	—54.22727273
2.0	—60.13492063	—61.00000000	—59.88095238	—59.52380952
2.5	—60.06349206	—58.78571429	—61.19047619	—60.21428571
3.0	—62.42063492	—63.35714286	—62.21428571	—61.69047619
3.5	—65.19434766	—65.57142857	—65.52380952	—64.48780488
4.0	—64.88095238	—65.85714286	—64.00000000	—64.78571429
4.5	—67.26984127	—66.50000000	—67.33333333	—67.97619048
5.0	—69.44889663	—70.16666667	—67.61904762	—70.56097561
5.5	—71.14285714	—70.69047619	—71.11904762	—71.61904762
6.0	—73.36856369	—72.54761905	—74.11904762	—73.43902439
6.5	—71.76190476	—71.78571429	—72.16666667	—71.33333333
7.0	—67.34262485	—70.26190476	—63.59523810	—68.17073171
7.5	—72.80158730	—72.40476190	—72.66666667	—73.33333333
8.0	—74.82539683	—76.50000000	—72.52380952	—75.45238095
8.5	—70.06523422	—71.21951220	—69.40476190	—69.57142857
9.0	—72.61111111	—74.50000000	—72.16666667	—71.16666667
9.5	—74.20833333	—72.70000000	—77.27500000	—72.65000000
10.0	—71.59166667	—71.17500000	—74.87500000	—68.72500000
10.5	—70.06666667	—71.35000000	—70.70000000	—68.15000000
11.0	—71.32341270	—70.61904762	—72.37500000	—70.97619048
11.5	—78.07751938	—79.46511628	—77.32558140	—77.44186047
12.0	—74.35772358	—75.21951220	—72.29268293	—75.56097561

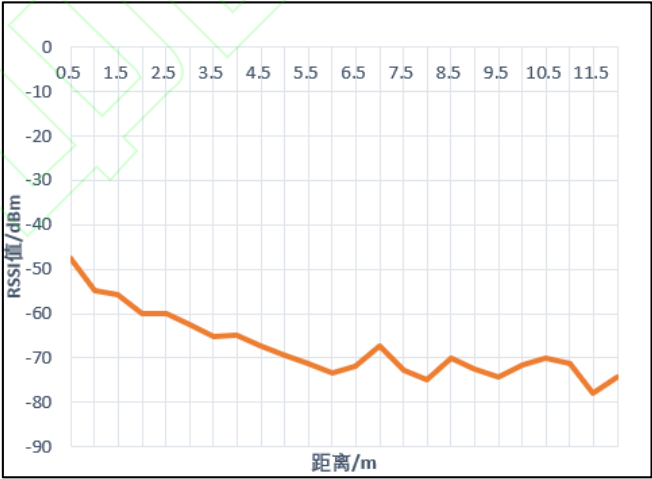


图 9 RSSI 值与距离的关系（原始数据）
Fig.9 The Relationship Between RSSI Values and Distances (Raw Data)

4.2 数据分析

在 8 m×20 m 的室内大厅以距离 iBeacon 基站 0.5，1.0，1.5，…;12 m 为测试点进行数据采集，一共有 24 个测试点；每个测试点采集 40 组数据，对数据先进行均值滤波处理，然后再进行利用 Matlab

工具，将处理完成的数据导入 Matlab,通过 cftool 函数进行曲线拟合，结果如图 10 所示。

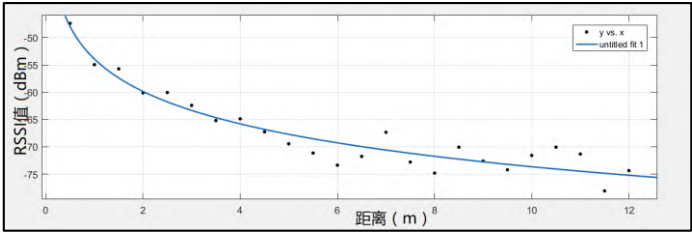


图 10 拟合后的关系数据
Fig.10 After Fitting the Data Relationship

采用 Matlab 工具对原始数据进行对数 $RSSI=A-10\lg(d)$ 曲线拟合，得到拟合曲线函数如式(11)。

$$RSSI=-54-24\lg(d) \tag{11}$$

经过三边定位算法结合惯性导航计算得到的坐标精度，在无障碍物遮挡的大厅情况下可以达到 1 m 左右的精度。考虑到室内的复杂情况，经过多次测试，在办公室楼道及办公室内达到 1~2 m 的精度。

4.3 定位实验

室内蓝牙节点的部署需要平衡成本和性能。太多的蓝牙节点会增加成本，节点之间会有干扰。太少的节点将留下盲区位置。根据蓝牙的特点和实验现场的情况，部署的蓝牙节点数量为 4 个。

定位实验地点选在一个 10 m × 9 m 的矩形办公室，天花板栅格大小为 0.6 m。经过预测量蓝牙定位基站间隔 6 m 为最佳定位距离，1 号、2 号、3 号、4 号为办公室所布设的 iBeacon 设备的位置，分布在场地四周，距离墙壁分别留有 1 m 的距离，防止距离墙壁过近造成干扰，围成 6 m × 6 m 格局。蓝牙信标放置距离地面垂直高度为 2 m 的天花板上，实验场地布局如图 11 所示。

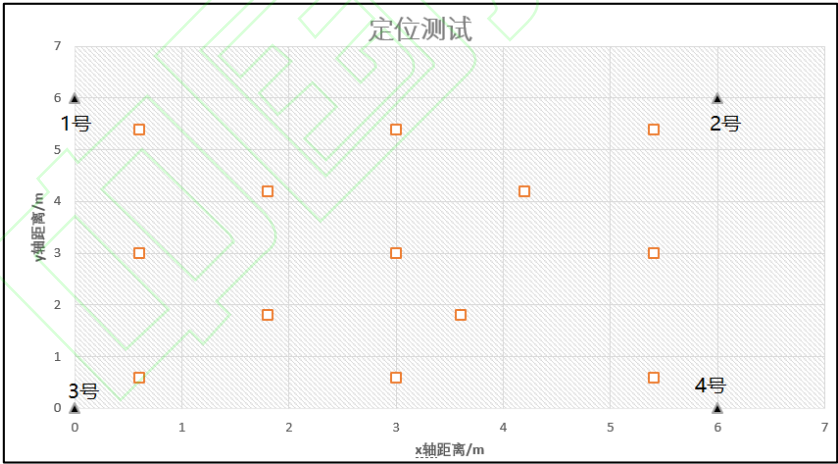


图 11 实验场地布局
Fig.11 Experimental Site Layout

在信标节点分布均匀且能覆盖较多的位置，随机选择测试的信标节点和测试节点。如图 11 所示，正方形为信号采集点，一共 13 个。

对各个测试节点经过多次测量，将异常点位预处理然后进行均值滤波处理，为了能够清晰地反映出定位结果，现将定位结果的计算位置与实际位置同时室内地图进行显示，最终结果如图 12 所示。其中，菱形点为蓝牙接收终端的估算位置，正方形为蓝牙接收终端实际位置。

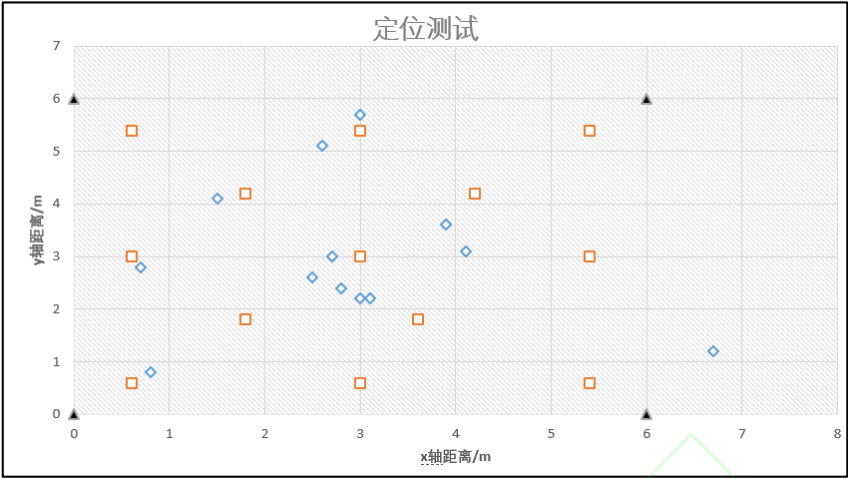


图 12 理论点与实际点的比较
Fig.12 Comparison of Theoretical and Actual Points

通过实验数据结算可以得到理论位置与实际位置的误差，结果如图 13 所示。横坐标为对应的 13 个测试点，纵坐标为误差距离，通过图示可以清晰看出误差范围稳定在 0.2~1.9m 在之间，总体精度达到 2 m 以内，基本可以认为符合定位需求。

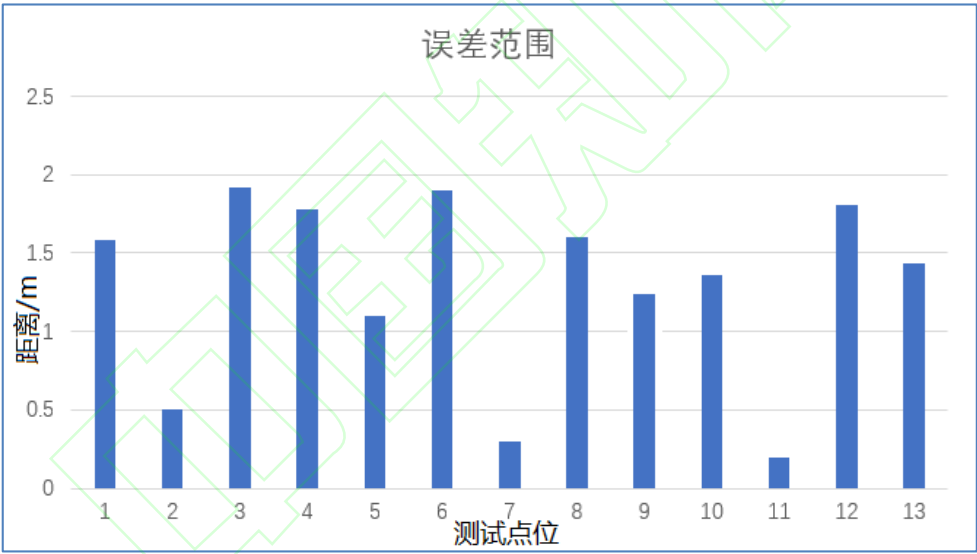


图 13 定位误差
Fig.13 Positioning Error

5 结束语

本文以解决 GNSS 定位技术的“最后一公里”问题为出发点，提出了一种基于低功耗蓝牙技术结合多个传感器的室内定位导航系统。首先，通过对蓝牙协议分析，将收集的 iBeacon 的 UUID / RSSI 等信息进行处理。使用三边定位算法将收集到的信息计算位置坐标。本文通过比较和比较 RSSI 值与距离之间的关系，利用 MATLAB 进行曲线拟合，得到 RSSI 值与 d 的关系^[18]。在测试中，相对于普通的定位算法，结合手机内置传感器进行定位对精度有较高的提升，此方法可以有效的提高室内定位系统的可用性。

最后，通过以上大量实验数据证明，本文提出的利用 iBeacon 进行室内定位，经过多重优化后坐标和实际位置坐标误差控制在 2 m 以内，基本满足室内定位的需求。该系统在商场或地下停车场具有

很高的市场价值和实用价值, 拥有低成本, 低功耗, 高精度等特点。



参考文献

- [1] 陈祥. 基于 WIFI 与移动智能终端的室内定位技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2017.
(CHEN Xiang. Research on indoor positioning technology based on WIFI and mobile intelligent terminal[D]. Harbin: Harbin University of Science and Technology, 2017.)
- [2] 王益键. 蓝牙室内定位关键技术的研究与实现[D]. 南京: 东南大学, 2015.
(WANG Yijian. Research and implementation of key technologies of bluetooth indoor positioning[D]. Nanjing: Southeast University, 2015.)
- [3] CHEN Y C, CHIANG J R, CHU H H, et al. Sensor-assisted wi-fi indoor location system for adapting to environmental dynamics[C]//Proceedings of the 8th ACM International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems. New York: ACM, 2005: 118-125.
- [4] 卞合善. 基于蓝牙 4.0 低功耗室内定位研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2015.
(BIAN Heshan. Research of indoor location technology based on bluetooth low energy 4.0[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2015.)
- [5] BAI Rulong, YAN Tao. Research on TDOA estimation algorithm based on phase correction[J]. Radio Communications Technology, 2013, 39(2): 69-71.
- [6] OPSAHL T, AGNEESSENS F, SKVORETZ J. Node centrality in weighted networks: generalizing degree and shortest paths[J]. Social Networks, 2010, 32(3): 245-251.
- [7] SEIDEL S Y, RAPPAPORT T S. 914 MHz path loss prediction models for indoor wireless communications in multifloored buildings[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1992, 40(2): 207-217.
- [8] LIM H, KUNG L C, HOU J C, et al. Zero-configuration indoor localization over IEEE 802.11 wireless infrastructure[J]. Wireless Networks, 2010, 16(2): 405-420.
- [9] BRUNATO M, BATTITI R. Statistical learning theory for location fingerprinting in wireless LANs[J]. Computer Networks: the International Journal of Computer and Telecommunications Networking, 2005, 47(6): 825-845.
- [10] 黄叶超. 基于蓝牙技术的室内定位算法研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2017.
(HUANG Yechao. The Research of indoor positioning algorithm based on Bluetooth technology[D]. Xi'an: Xi'an University of Electronic Science and Technology, 2017.)
- [11] JIN M, YU C, LAI H, et al. Zigbee positioning system for smart home application[C]// Frontiers of High Performance Computing and Networking ISPA 2007 Workshops. Berlin: Springer, 2007: 183-192.
- [12] JUNGLAS I A, WATSON R T. Location-based services[J]. Communications of the ACM, 2008, 51(51): 65-69.
- [13] 韩旭海, 夏文龙, 周渊平. 基于线性加权的蓝牙室内定位算法[J]. 计算机系统应用, 2015, 24(1): 119-122.
(HAN Xuhai, Xia Wenlong, Zhou Yuanping. Bluetooth indoor positioning algorithm based on linear weighted[J]. Computer Systems & Application, 2015, 24(1): 119-122.)
- [14] 王琦. 基于 RSSI 测距的室内定位技术[J]. 电子科技, 2012, 25(6): 64-66, 78.
(WANG Qi. Research on an indoor positioning technology based on RSSI ranging[J]. Electronic Science & Technology, 2012, 25(6): 64-66, 78.)
- [15] JIMENEZ A R, SECO F, PRIETO J C, et al. Indoor pedestrian navigation using an INS/EKF framework for yaw drift reduction and a foot-mounted IMU[C]//2010 IEEE Workshop on Positioning, Navigation and Communication. Dresden, Germany: IEEE, 2010.
- [16] COVER T, HART P. Nearest neighbor pattern classification[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1967, 13(1): 21-27.
- [17] 卢燕, 栗勇军. 基于低功耗蓝牙的室内定位技术研究[J]. 测控技术, 2018(4): 55-57, 63.
(LU Yan, Li Yongjun. Research on indoor positioning technology based on low power bluetooth[J]. Measurement and Control Technology, 2018(4): 55-57, 63.)
- [18] 车龙, 胡达科, 林立峰. 一种基于 iBeacon 技术在室内定位上的应用[J]. 信息通信, 2017(6): 9-10.
(CHE Long, HU Dake, LIN Lifeng. Application of iBeacon technology in indoor positioning[J]. Information and Communications, 2017(6): 9-10.)