

基于蓝牙技术的城市轨道交通室内定位导航及应用

张立东¹ 孙 煜¹ 万明俊²

(1. 上海申通地铁集团有限公司技术中心, 201103, 上海;

2. 上海询诺通信科技发展有限公司, 200063, 上海//第一作者, 高级工程师)

摘 要 结合城市轨道交通的空间环境以及所面向的用户群体, 从定位精度、经济性、工程量等方面进行室内定位技术方案比选后确定, 选用蓝牙定位技术搭建城市轨道交通室内导航系统。阐述了基于蓝牙的室内定位技术的原理, 以及在城市轨道交通车站部署蓝牙设备的实施方法。以某城市轨道交通车站为试点, 在站厅、站台、电梯处部署蓝牙设备, 建设城市轨道交通室内定位系统。结果表明: 该方法实现了复杂室内环境下的精准定位和路径导航, 为乘客目的地指引提供了便利, 满足室内定位导航的需求。

关键词 城市轨道交通; 室内定位导航; 蓝牙

中图分类号 TN967.3; U231.4

DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.05.036

Indoor Location and Navigation of Bluetooth and the Application in Urban Rail Transit

ZHANG Lidong, SUN Yu, WAN Mingjun

Abstract Combined with the space environment and the user group of urban rail transit, the positioning accuracy, economical efficiency and engineering qualities are analyzed, on this basis, the Bluetooth positioning technology is selected to build the indoor location and navigation system of urban rail transit. In this paper, the principle of Bluetooth indoor positioning and the deployment of Bluetooth equipment inside urban rail transit station are described, with the installation of Bluetooth equipment in places like station hall, platform and elevator based on a practical rail transit station, the indoor positioning system is built. The results indicate that the implementation of Bluetooth equipment could meet the needs of precise positioning and path navigation in the complex indoor environment, facilitate destination guidance for passengers, and satisfying the demands of indoor positioning navigation.

Key words urban rail transit; indoor localization and navigation; Bluetooth

First-author's address Technical Center of Shanghai Shentong Metro Group Co., Ltd., 201103, Shanghai, China

求日益增长。然而, 地下空间环境复杂, 传统的室外定位技术如 GPS (全球定位系统)、北斗定位、GPRS/CDMA (通用分组无线服务/码分多址通信) 定位等在地下车站难以适用, 导致地下空间的定位导航成为城市定位导航服务的盲区。

为推动上海城市公共交通现代化进程, 满足人们对城市轨道交通地下空间的定位导航服务, 本文以信息技术为支撑, 借助物联网, 选择室内环境复杂的城市轨道交通车站作为试点, 部署蓝牙设备, 建设基于物联网的城市轨道交通室内定位系统^[1], 从而为乘客出行提供便利的乘坐体验, 提升运营服务质量。

1 城市轨道交通室内定位方案

1.1 室内定位技术

目前, 成熟的室内定位导航技术有 Wi-Fi 定位、蓝牙定位、地磁定位和超宽带定位等。本文从定位精度、使用场景、工程量等方面对这四种定位技术予以分析。

(1) Wi-Fi 定位技术的覆盖范围较大, 但对于城市轨道交通环境而言, Wi-Fi 定位的每一个 AP (无线接入点) 都需要独立供电, 工程量较大, 且在类似车站的狭小空间里定位精度不够理想。

(2) 蓝牙定位技术目前较为广泛地应用于移动终端, 采用无源的低功耗蓝牙信标, 部署成本较低, 效率高, 适用于各类地下环境。其在商用领域较为成熟, 应用于大型商场、停车场等室内场景^[2]。

(3) 地磁定位技术是一种新兴技术, 通过捕捉“室内地磁场”的规律来实现定位。通过手机端普遍集成的地磁传感器收集室内的磁场数据, 辨认室内环境里不同位置的磁场信号强度差异, 从而匹配自己在空间中的相对位置。然而, 该技术仅适用于相对电磁环境固定的室内环境。对于城市轨道交通车站, 列车的不断进出会造成室内地磁场数据的

目前, 城市轨道交通乘客对地下空间的导航需

变化。

(4) 超宽带定位系统包括 UWB(超宽带)接收器、参考 UWB 标签及主动 UWB 标签。定位过程中,由 UWB 接收器接收标签发射的 UWB 信号,然后过滤电磁波传输过程中的各种噪声干扰,得到有效信息的信号,再通过中央处理单元进行测距定位计算分析。该技术需要极其精确的定位需求,因此应用于工业环境居多。

结合城市轨道交通的空间环境以及所面向的用户群体,从定位精度的需求、经济性、工程量等方面分析,采用低功耗蓝牙定位的技术更符合城市轨道交通室内定位导航应用的目标。四种定位技术的比选如表 1 所示。

表 1 四种定位技术比选				
项目	Wi-Fi	蓝牙	地磁	超宽带
终端	个人移动终端	个人移动终端	个人移动终端	定位标签(Tag)
定位精度	3~10 m	3~5 m	1~2 m	<1 m
经济性	★★☆☆☆	★★☆☆☆	★★★★☆	★★★★☆
工程量	★★★★☆	★★☆☆☆	★★☆☆☆	★★★★☆

1.2 基于蓝牙的室内定位

基于蓝牙的室内定位原理是:应用 RSSI(接收的信号强度指示)的室内定位技术计算当前所在位置,再通过卡尔曼滤波过滤,利用三点定位计算获取当前精确位置,在导航过程中通过惯性导航技术确保导航顺畅。

1.2.1 基于接近度分类的 RSSI 指纹定位

基于接近度分类的 RSSI 指纹定位技术^[3]是一种应用范围广泛的室内定位方法,是非参数化的。非参数化定位的原理是为环境生成坐标信息。因此,基于 RSSI 的室内定位技术的定位精度相对较高。

基于 RSSI 的室内定位技术操作流程一般分为:① 将室内环境划分为 $X \times Y$ 的网格状;② 测量节点的信号强度,并做记录;③ 以接近度作为指纹库分类特征(如图 1 所示),分为接近(1 m 以内)、附近(1~5 m)、远(超过 5 m)。

1.2.2 基于蓝牙的三点定位算法

由于蓝牙的低功耗特性,蓝牙 iBeacon 的理想定位工作距离一般在 8 m 以内。根据基于蓝牙的三点定位算法原理,当目标位置被 3 个以上 iBeacon 覆盖,可以达到最好的定位效果。所以,基本的原

则就是利用 iBeacon 将空间按适当距离分割成小空间,如图 2 所示。

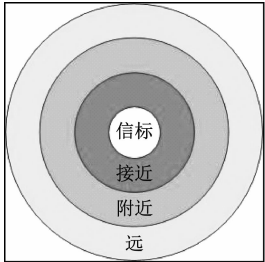
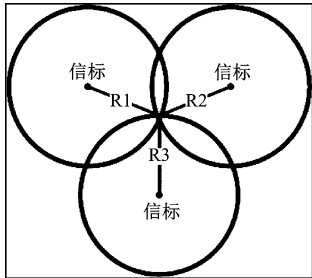
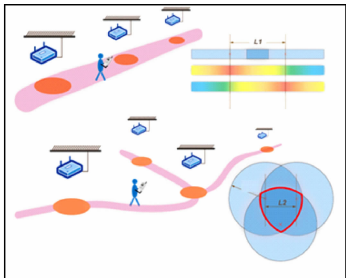


图 1 RSSI 指纹定位技术的接近度分类



a) 三点定位原理



b) 室内定位场景示意

图 2 基于蓝牙的三点定位技术

1.2.3 卡尔曼滤波

在导航过程中,需要实时变动表示当前位置的标识符,如果根据人员行动后获取新的位置信息进行导航界面调整,则会因为时刻都在计算当前位置而给系统带来大量计算压力,显示中也会有卡顿、不流畅的感觉。为了避免这种问题,在导航过程中,确认精准的位置信息后,采用卡尔曼滤波处理,在导航界面中匀速移动表示当前位置的标识符^[4]。

在定位导航系统中,获取位置信息的时间间隔为 1 s。卡尔曼滤波通过这 1 s 的位置信息和上 1 s 的预测位置信息,以及这两个位置的信息偏差,计算最有可能的误差,预测下 1 s 的位置信息;在此刻之后的 1 s 内,导航系统将在当前位置和下 1 s 的预测位置之间匀速移动表示当前位置的标识符。

1.2.4 惯性导航

惯性导航系统(见图 3)是利用智能终端里的陀

螺仪、三轴加速度传感器及电子罗盘(磁力计)等获取行进过程中的各类信息,然后根据获取的运动轨迹和速度,配合陀螺仪和三轴加速度传感器测量移动的角度和加速度,计算下一刻的位置,并通过电子地图显示。

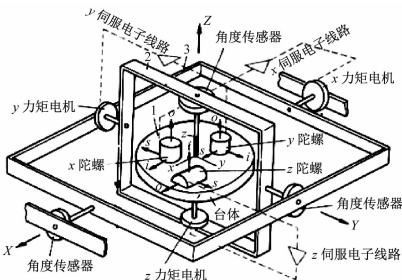
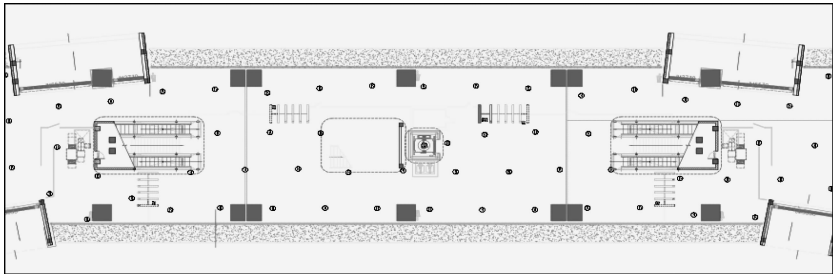


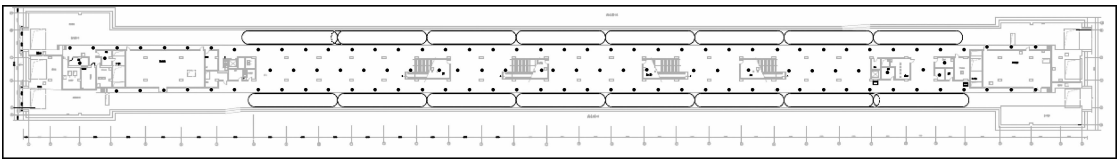
图3 惯性导航系统

惯性导航在定位导航移动应用的过程中起到辅助作用,避免了在信标的盲区或者信号干扰强的地方出现的获取当前位置延迟或者位置出现偏差的情况^[5]。



注：●为蓝牙部署位置

图4 一般车站站厅区域蓝牙部署



注：●为蓝牙部署位置

图5 一般车站站台区域蓝牙部署

1.3.3 电梯处蓝牙部署

对于单个电梯,在其轿厢门外靠一侧1~2 m 远处安装一个蓝牙设备,在电梯内部安装一个蓝牙,有助于识别楼层切换的状态;对于自动扶梯、楼梯等设施,需要在扶梯口、楼梯口旁安装至少一个蓝牙设备(如图6所示)。

2 实施方法和结果分析

2.1 设备选型

选择的蓝牙设备的参数如表2所示。

1.3 基于蓝牙的定位系统

一般室内环境下,iBeacon 间距控制在5~8 m,对整个空间进行网格状分割实现全覆盖;特殊空旷地区,选择按照边沿施工图向内覆盖。由于城市轨道交通地下车站站内布局相对复杂,立柱较多,需根据实际情况对每一个车站的站厅、站台及管理区域等进行踏勘,并对特殊区域予以部署。

1.3.1 站厅层蓝牙部署

站厅层的蓝牙一般遵循基本规则在空旷区域实施部署。对于重要节点,如进出站闸机处,可在闸机外及闸机内一侧2~3 m 处分别部署一个蓝牙设备,用于站内站外的精确定位。一般车站站厅层的蓝牙部署如图4所示。

1.3.2 站台层蓝牙部署

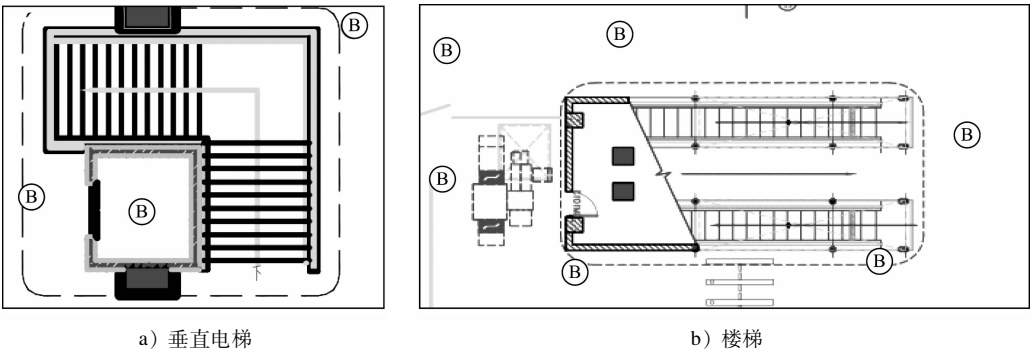
站台层同站厅层相比结构更加简单,可将两侧候车区视为走廊区域,楼梯之间的休息区视为空旷区域,其蓝牙的部署遵照基本规则即可。一般车站站台层的蓝牙部署如图5所示。

2.2 图纸核对

定位导航功能的呈现需要精准的地图进行支撑,而制作精准的地图则需要准确、完善的现场资料。因此,在部署定位设备之前需要勘探现场。勘探现场时,应详细考察平面结构图纸与现场情况有无差异,同时需对层高、遮蔽、吊顶及行进方向等情况进行调研记录,以形成一套完善的制图资料。

2.3 蓝牙点位布局

在已经制作好的地图上,参考勘探现场拍摄的照片或施工图纸,按照常规蓝牙部署实施原则,进



a) 垂直电梯
注:Ⓑ为蓝牙部署位置

b) 楼梯

图6 垂直电梯与楼梯蓝牙部署

表2 试验蓝牙设备参数

参数	参数值
通信方式	BLE 4.0
广播功率	-30 ~ +4 dB(m), 默认 0 dB(m)
广播频率	100 ms ~ 10 s, 默认 500 ms
传输距离	空旷极限传输距离 200 m(半径)
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	iOS 7.0 及以上, Android 4.3 及以上

行蓝牙点位布局设计,并对设计好的硬件点位进行编号。

因图纸视角的局限性,无法完整获取现场布局及装修信息,故设计图纸仅作为实施参考,在正式实施的过程中,可能因特殊情况进行点位的调整。

2.4 实施环境

根据蓝牙信标的特点以及现场情况,可在地面或立柱或吊顶上安装蓝牙信标。

(1) 安装在地面时,蓝牙信号有干扰,需在地面打孔,安装完毕后需对地面进行修缮,且后续维护保养较为麻烦。

(2) 安装在立柱上时,蓝牙信标暴露在外,可能会导致乘客误拿,影响导航准确性。

(3) 部署在吊顶上时,蓝牙信号正常覆盖,部署过程难度一般,运维难度一般,且由于在隐蔽角落,不影响现有装饰。

因此,较为可行的方案是将蓝牙信标安装在吊顶上。但城市轨道交通各车站布局不尽相同,部分车站情况复杂,存在特殊情况(如吊顶过高、封闭吊顶、栅格吊顶等),所以蓝牙信标的安装点可能会进行调整。

2.4.1 吊顶过高

上海轨道交通人民广场站站厅层为典型的吊

顶过高情况,其站厅层三角区域周边存在挑高层,层高在 8 m 左右(见图 7)。而蓝牙覆盖最佳距离推荐在 8 m 以内,因此,将蓝牙信标部署在吊顶显然不合适,施工难度也较大。对于此类局部出现大面积吊顶较高的情况,可根据现场实际情况,将蓝牙信标固定在承重柱或周边墙面高 5 m 处。



图7 人民广场大三角换乘区域

2.4.2 封闭吊顶

在蓝牙信标部署过程中,部分车站存在封闭吊顶装修风格。对于此类环境,可在吊顶下方通过 3M 强力胶加螺丝固定蓝牙信标(见图 8),以保证设备的安全性及可靠性。

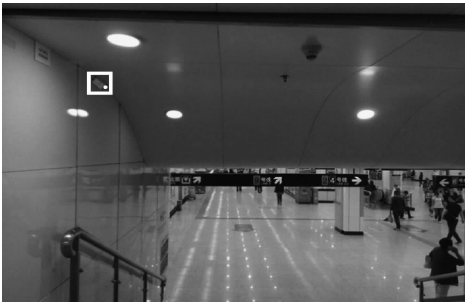


图8 封闭吊顶部署

2.4.3 栅格吊顶

在一般的城市轨道交通车站中,有大量区域是栅格型吊顶,存在间隙。对于此类吊顶环境,可在

栅格底部通过 3M 强力胶加塑料扎带固定蓝牙信标,如图 9 所示。

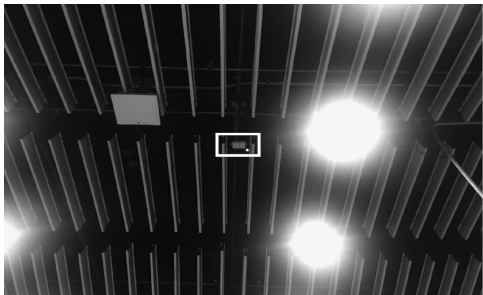


图 9 栅格吊顶部署

2.5 实施过程中遇到的问题及解决方案

2.5.1 点位漂移

在现场测试中发现,当手持移动终端静止不动时,系统显示的当前位置图标却在地图上跳动,即通常所说的信号漂移现象。由于蓝牙信标的信号强度是周期性变化的,因此计算获取的位置信息是有变化的,这导致了点位漂移。为此,在定位算法中增加了惯导优化定位算法,并对当前位置进行多次计算,判断目标是否移动,解决了终端设备静止而系统当前位置标识漂移的现象。

2.5.2 安卓机型适配

在实地测试过程中发现,不同的安卓机型在导航中效果有差异。经过分析,发现这种差异是因各安卓机型的陀螺仪传感器等相关设备的参数不同而引起的。为此,对市场上主流的安卓机型做兼容性适配,以最大程度缓解该问题。

2.5.3 蓝牙部署位置调整

在实地测试中发现,部分位置定位会出现诸如漂移、实时反应慢,以及在乘坐自动扶梯或走楼梯换层后地图切换不及时等问题。这是由于蓝牙信号被立柱等障碍物干扰而引起的。通过调整部分在立柱等障碍物附近的蓝牙设备的部署位置,并在楼梯、电梯及自动扶梯附近增加蓝牙设备,此问题即可解决。

2.5.4 精度调优

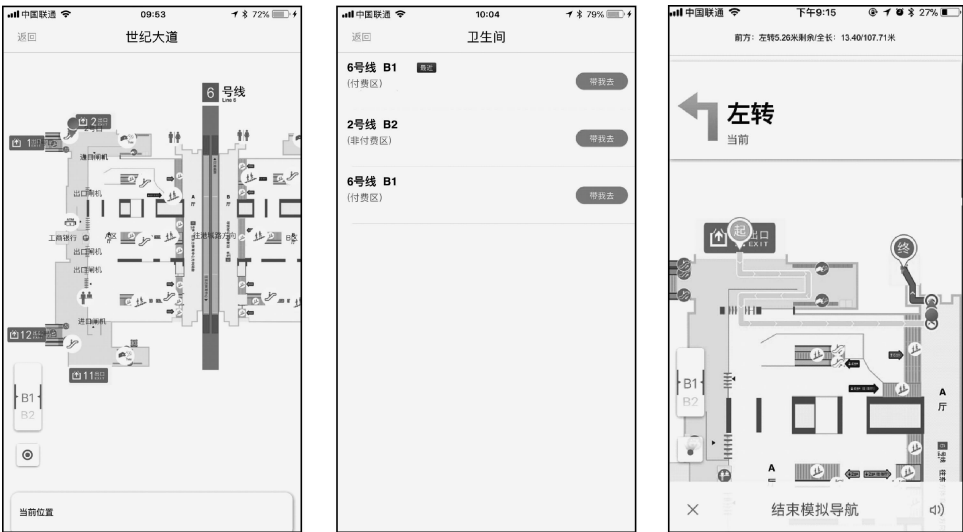
在实地测试过程中发现,定位精度比理论值要差。在真实环境中,手持移动终端移动时,会出现定位偏差严重的情况。通过研究,在定位算法中加入了卡尔曼滤波等优化算法,排除了无效点位的干扰,提高了定位精度。

2.5.5 穿墙

在现场测试导航过程中,故意贴墙(或隔离带)行走,行进一段时间后脱离规划路线,移动轨迹穿过障碍物,这时设备上标识当前位置的点位会出现在墙(隔离带)的另一侧,即穿墙现象。通过在系统中增加路径吸附功能,解决了穿墙问题。

2.6 实施效果

根据本文的研究方案,结合现场试点进行应用开发。图 10 所示为上海轨道交通世纪大道站室内导航效果图。乘客进入车站区域后,打开应用,即可打开车站地图,并显示当前位置;选择目的地(卫生间)进行导航(模拟在 2 号口进入车站后);根据系统提示选择,进行导航模拟,查找目的地(卫生间)。



a) 车站地图显示界面

b) 目的地搜索界面

c) 导航界面

图 10 上海轨道交通世纪大道站室内导航应用(进入车站、选择目的地及开始导航等功能)

程序,准确地检测故障,同时有效减少虚警。

(2) 故障预测:对装备实际状态进行预测,包括设备的确定使用寿命和剩余寿命。

(3) 健康管理:在诊断预测信息基础上,对设备状态做出正确的评估,并匹配适当的修程修制对设备进行合理的管理。

(4) 运维决策:根据设备的健康状态,做出合理的维修决策建议,保障设备运行的安全性。

3.3 PHM 系统结构优势

轨道交通装备 PHM 系统应采用开放式体系结构,可“即插即用”,可不断更新或加入新模型,并可增强与其他系统进行信息交互和集成的能力。其主要优势包含以下几点:

(1) 分布式、跨平台构架能够保证各个子系统独立完成相应的功能,并能实现不同平台之间的互操作,保证系统的可重用性。

(2) 采用层次化结构设计,减小了复杂模型的耦合程度,可显著降低系统开发的复杂度。

(3) 开放性、标准化的实现方法使层次之间、模块之间都能够按照标准进行数据交换和信息共享,并能集成来自不同供应商的软硬件。

(4) 通过对潜在故障的实时诊断和定位,以及进一步对部件剩余寿命的评估,能够大大增强列车运行的安全性。

(5) 车载 PHM 系统能够自动对部件及设备健康状态进行诊断并做出相应的决策建议;可在列车

入库前自动完成大多数测试诊断工作,缩短地面诊断时间;可减少故障误报率;提高维修效率的同时,可降低对外部维保人员及备件的需求,实现设备资源保障和经济效益提升。

4 结语

本文主要从部件、子系统、系统 3 个层次对轨道交通装备 PHM 技术体系进行了总结分析;论述了大型轨道交通装备 PHM 系统的体系架构,分析了其主要技术难点和优势,对我国轨道交通行业的 PHM 技术体系发展具备一定的参考价值。但本文也存在一定的不足,例如对先进的预测诊断算法的实现以及在经济成本的投入上欠缺考虑。这也是本文作者下一步的研究方向。

参考文献

- [1] HESS A, FILA L. The Joint Strike Fighter (JSF) PHM concept: Potential impact on aging aircraft problems[C]// Aerospace Conference. Big Sky, Montana:IEEE, 2003.
- [2] 张亮, 张凤鸣, 李俊涛. 机载预测与健康管理系统(PHM)的体系结构[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2008, 9(2):6.
- [3] 王锬, 王洁, 冯刚, 等. 复杂装备故障预测与健康管理体系结构研究[J]. 计算机测量与控制, 2012, 20(7):1740.
- [4] 黄璞. 基于 PHM 的无人驾驶车载 ATC 维护系统研究[C]// 第十一届中国智能交通年会. 重庆:中国智能交通协会, 2016.

(收稿日期:2019-01-20)

(上接第 170 页)

3 结语

室内定位导航技术的出现完善了导航精准化。随着蓝牙技术日益成熟,一些大型企业推出了各自基于蓝牙设备的室内定位解决方案。本文针对复杂的多线路车站室内导航需求,进行蓝牙定位导航系统建设。经实际使用,该系统可实现精准定位、导航,满足为乘客提供目的地指引的室内定位导航需求。

参考文献

- [1] 方诗虹,陈浩. 基于蓝牙 4.0 的室内定位及信息服务应用模型

研究[J]. 西南民族大学学报(自然科学版), 2015, 41(6):727.

- [2] 石志京,徐铁峰,刘太君,等. 基于 iBeacon 基站的室内定位技术研究[J]. 移动通信, 2015, 39(7):88.
- [3] 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, 34(6):66.
- [4] 赵永翔,周怀北,陈森,等. 卡尔曼滤波在室内定位系统实时跟踪中的应用[J]. 武汉大学学报(理学版), 2009, 55(6):696.
- [5] 王郑合. 基于智能手机的惯性导航轨迹生成算法[J]. 工矿自动化, 2015, 41(5):87.

(收稿日期:2018-10-15)