

蓝牙连接模式对室内定位性能的影响^{*}李 芳¹, 徐光明², 刘 成³, 相恒永⁴, 施浒立¹, 江 娟⁵, 宁永科⁶, 钱小龙⁶

(1.中国科学院国家天文台, 北京 100012; 2.太原卫星发射中心, 山西 太原 030000;

3.北京跟踪与通信技术研究所, 北京 100094; 4.中国科学院微电子研究所, 北京 100029;

5.北京空间技术信息研究所, 北京 100094; 6.桂林电子科技大学 信息与通信学院, 广西 桂林 541004)

摘 要: 基于低功耗蓝牙(BLE)接收信号强度标识(RSSI)测量的位置指纹定位是最常见和有效的室内定位方法之一。然而, BLE 通信协议并非专门为定位而设计, 不同通信连接方式下的蓝牙设备测距性能差异较大, 显著影响着定位精度。针对这一问题, 对不同连接模式下的 BLE 设备 RSSI 测距性能进行了测试和分析; 进一步地, 利用自行搭建的室内定位环境开展实验, 验证了其对用户实际定位精度的影响。测试结果表明, 当 BLE 模块设置为“不可连接模式”时, 设备 RSSI 测距稳定性提高了约 60%、用户在线定位精度由 1.40 m 提高到了 0.58 m, 能够获得明显更优的性能, 是室内 BLE 定位系统的优选通信连接方式。

关键词: 室内定位; 低功耗蓝牙; 接收信号强度指示; 位置指纹匹配; 加权 K 邻近算法

中图分类号: TN926

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.211292

中文引用格式: 李芳, 徐光明, 刘成, 等. 蓝牙连接模式对室内定位性能的影响[J]. 电子技术应用, 2021, 47(7): 125-129.

英文引用格式: Li Fang, Xu Guangming, Liu Cheng, et al. Influence of BLE connection mode on indoor positioning performance[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(7): 125-129.

Influence of BLE connection mode on indoor positioning performance

Li Fang¹, Xu Guangming², Liu Cheng³, Xiang Hengyong⁴, Shi Huli¹, Jiang Juan⁵, Ning Yongke⁶, Qian Xiaolong⁶

(1.National Astronomical Observation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012, China;

2.Taiyuan Satellite Launch Center, Taiyuan 030000, China;

3.Beijing Institute of Tracking and Telecommunication Technology, Beijing 100094, China;

4.Institute of Microelectronics of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

5.Beijing Institute of Space Science and Technology Information, Beijing 100094, China;

6.School of Information and Communication, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: Fingerprinting location based on received signal strength indication(RSSI) of Bluetooth low energy(BLE) is one of the most popular and effective indoor positioning methods. However, the BLE communication protocol is not specifically designed for location, and the ranging performance of the Bluetooth devices under different communication connection modes varies greatly, which significantly affects the positioning accuracy. In response to this problem, the paper tests and analyzes the BLE RSSI ranging performance under different connection modes. Further, experiments based on a self-built indoor positioning environment are carried out to verify its impact on the user's actual positioning accuracy. The test results show that when the BLE module is set to "un-connectable mode", the RSSI ranging stability of the device is improved by about 60%, and the user's online positioning accuracy is improved from 1.40 m to 0.58 m, which significantly improve the positioning performance.

Key words: indoor positioning; Bluetooth low energy(BLE); received signal strength indication(RSSI); fingerprinting; weight K-nearest neighbor(WKNN)

0 引言

随着物联网和位置大数据时代的来临, 室内定位技术受到广泛研究和重点关注, 室内位置服务(Location Based Service, LBS)产业也已迅速规模化成长。据统计,

都市人群 80% 以上的时间在室内环境中度过。室内 LBS 可为消费者提供商场导购、停车场泊车/寻车、防走失、社交交友、展厅/景区自主导游等服务, 为企业提供人流监控分析、智慧仓储物流、智能制造、人员资产管理等应用, 打破线下人与物的边界, 是实现万物互联的基础。此外, 大量的位置数据得以产生和积累, 通过数据的挖掘和分析, 将促进行业效率提升与转型, 并带动新型产业

^{*} 基金项目: 国家自然科学基金(61701481); 中国科协青年人才托举工程(2019QNRC001)

生成^[1-2]。

蓝牙无线定位是当前室内定位技术中最常用的解决方案之一^[3-4],它最早由诺基亚发起和使用。2013年,苹果发布了基于蓝牙4.0低功耗(Bluetooth Low Energy, BLE)协议的iBeacon协议^[5],主要针对零售业应用,引起了市场的广泛关注。同时,由于智能手机等设备中开始普遍集成BLE模块,使得开发者们能够直接基于手机开发各种场景下的室内LBS应用,而人们通过手机APP即能享受便捷的室内LBS服务,这使得蓝牙室内定位方案更具性价比。然而,BLE设备及其协议仍是通信传输为首要设计目的,它并非专门为导航定位开发,也不具备卫星导航系统信号中的伪随机码精确测距功能^[6]。因此,只能通过测量蓝牙信号的接收信号强度指示(Received Signal Strength Indication, RSSI)估算用户至BLE热点接入设备(Access Point, AP)的几何距离,从而完成定位。

在实际应用中,发现不同通信连接方式下的BLE测距性能具有很大差异,从而会显著影响系统最终定位服务性能。针对这一关键问题,本文总结了BLE设备的连接模式,并对不同连接模式下的BLE测距性能进行了测试和比较。在此基础上,利用自行搭载的室内定位环境开展实验,验证和分析了其对于用户实际定位性能的影响。本文相关结论能够为室内BLE定位系统的开发和应用提供有益参考。

1 蓝牙Beacon定位方法

1.1 三边交会方法

三边交会是导航定位中最常见的数学模型,GPS、北斗等卫星导航系统是其最具代表性的应用。在蓝牙三边交会定位中,用户终端通过测量得到周围最少3个Beacon热点模块(对于2维定位应用而言最少为2个)的RSSI值,利用信号路径衰减模型估算自身至各个Beacon热点模块之间的传输距离^[7]。常用的路径衰减模型主要有线性模型、经典对数模型等。其中,线性衰减模型假设信号强度 $r(d)$ (单位: dBm)与传输距离 d (单位: m)之间呈线性分布关系:

$$r(d) = p + \alpha_0 + 10\alpha_1 d \quad (1)$$

式中, p 为装置发射能量(单位: dBm), α_0 、 α_1 为衰减系数。该模型已写入电气与电子工程师协会(Institute of Electrical and Electronic Engineers, IEEE)802.15a信道模型标准中,适用于短距离传输环境^[8]。

对数模型有时也称为阴影模型,它假设信号在传输过程中的信号强度与距离呈对数变化关系,适用于大部分的无线局域传输环境。对数模型接收信号强度 $r(d)$ 与其对应传输距离 d 之间的关系也由对数函数模型表达为:

$$r(d) = p + \beta_0 + 10\beta_1 \lg d \quad (2)$$

式中, $\beta_i(i=0, 1)$ 为衰减系数,通常在2~5之间取值。

通过测量终端 P 至多个Beacon热点模块之间的距离,即能利用三边交会法构造测量方程组并求解得到终

端空间坐标位置。如图1所示,设三个Beacon热点 AP_1 、 AP_2 、 AP_3 的已知坐标分别为 (x_1, y_1, z_1) 、 (x_2, y_2, z_2) 、 (x_3, y_3, z_3) ,终端 P 至节点的测量距离分别为 d_1 、 d_2 、 d_3 ,则可得到距离观测方程:

$$\begin{cases} \sqrt{(x-x_1)^2+(y-y_1)^2+(z-z_1)^2}=d_1 \\ \sqrt{(x-x_2)^2+(y-y_2)^2+(z-z_2)^2}=d_2 \\ \sqrt{(x-x_3)^2+(y-y_3)^2+(z-z_3)^2}=d_3 \end{cases} \quad (3)$$

对式(3)进行泰勒级数线性化展开后,即可利用高斯迭代求解得到用户终端 P 的坐标位置 (x, y, z) 。

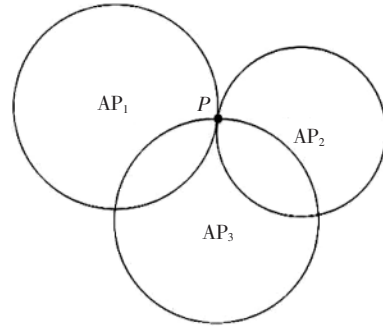


图1 三边交会原理示意图

1.2 位置指纹匹配方法

三边交会方法原理简单直观,但其最大问题在于,受复杂室内环境下信号遮挡、反射、多径等影响,利用信号传输衰减模型估算用户至AP之间的几何距离容易产生较大误差^[9];此外,采用交会方式进行定位,还必须事先测定得到各个蓝牙模块在局域坐标系下的准确坐标^[10],这在实际应用中是不易实现的。

鉴于上述原因,基于RSSI的位置指纹匹配方法(Fingerprinting)成为室内定位中更为常见与实用的方法。Fingerprinting基本原理是定位环境进行抽象和形式化描述,使用环境中各个无线传感器AP的RSSI描述位置信息,并通过采集这些RSSI测量值建立参考位置指纹数据库(Dataset)。用户在线定位时,将自身实时测量得到的RSSI测量值与位置指纹数据库中的RSSI参考值匹配,选取出与自身RSSI测量值具有最佳相似度的若干个参考点,并利用K邻近(K-Nearest Neighbor, KNN)、加权K邻近(Weight K-Nearest Neighbor, WKNN)等算法估计自身位置坐标^[11]。

RSSI Dataset的预先采集,一般需要工作人员携带装有专门软件的设备或智能手机,以一定的步长遍历室内空间,如图2所示。

2 BLE广播类型与连接模式

BLE模块布设并运行时,需为其选择设置一种广播类型。BLE共有四种广播类型,分别是:可连接非定向广播(Connectable Undirected Event Type)、可连接定向广播(Connectable Directed Event Type)、不可连接非定向广播(Non-connectable Undirected Event Type)以及可扫描非定

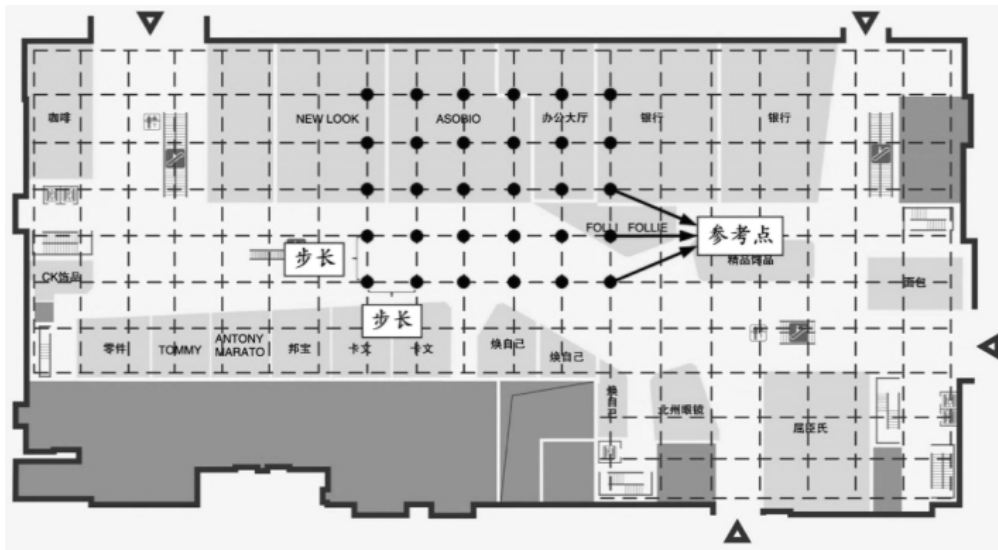


图 2 RSSI Database 的采集与建立

向广播(Scannable Undirected Event Type)^[12]。

其中,“可连接非定向广播”类型包括广播数据和扫描响应数据的功能,它表示当前设备可以接受其他任何设备的连接请求。“可连接定向广播”类型是为了尽可能快地建立连接,其广播报文中包含了广播者地址与发起者地址,发起者接收到发送给自己的定向广播报文后,可立即响应并发送连接请求。“不可连接非定向广播”类型仅发送广播数据,不接受连接请求。“可扫描非定向广播”类型不能发起连接,但允许其他设备扫描该广播设备;换言之,设备既可以发送广播数据,也可以响应扫描并发送回应数据,但不能建立连接。四种不同的广播类型对扫描请求和连接请求的不同响应情况见表1所示。

表 1 不同广播类型对扫描请求和连接请求的响应

广播类型	扫描请求	连接请求
可连接非定向广播	响应	响应
可连接定向广播	不响应	响应(仅对具有特定地址的发起者)
不可连接非定向广播	不响应	不响应
可扫描非定向广播	响应	不响应

综上,若仅需定时传输一些固定的简单数据,可使用“不可连接非定向”广播类型,此时广播者与接收者之间不进行任何额外的数据交互。如果除广播数据之外,还有一些额外数据需要传输,则可使用“可扫描非定向”广播类型;此时广播者在周期性广播的同时会监听扫描请求,接收者在收到广播数据之后可以发送扫描请求并获得更多数据。如果后续需要建立点对点的连接,则可以使用“可连接非定向”广播类型;此时广播者在周期性广播的同时会监听连接请求,接收者在收到广播数据之后可以发送请求以建立连接。进一步地,如果发起者已知广播者的地址(如通过扫描方式获得),则可通过“可连接定向”广播类型快速建立与广播者之间的连接。

3 实验与分析

如上文所述, BLE 具有四种不同广播类型, 具体又可分为“可连接”和“不可连接”两种模式。当 BLE 设备仅用内定位时, 通常设置为“不可连接”模式即可, 此时设备仅需定时发送通用唯一识别码(Universally Unique Identifier, UUID)、媒体存取控制位址(Media Access Control Address, MAC)等基本数据。然而, 当该 BLE 设备需要同时用于其他点对点的数据传输应用时, 则需要设置为“可连接模式”。本节对两种不同连接模式下的 BLE 测距性能进行测试, 进而比较和分析其对用户定位精度的影响。

3.1 测距性能

为分析不同连接模式下的测距性能,对同一个 BLE 模块分别设置为“可连接模式”与“不可连接模式”并进行数据广播(模块广播频率 100 ms、发射功率-59 dBm),并通过 APP 分别测量和采集两种模式下的无线信号 RSSI 值。其中,设备在可连接模式下的测量采集结果如图 3 所示,在不可连接模式下的测量采集结果如图 4 所示。

从图 3 和图 4 可以看出,BLE 模块在可连接模式下的 RSSI 测量值波动范围在 ± 10 dB 左右;相比之下,BLE 模块在不可连接模式下的 RSSI 测量值波动范围明显减小至 ± 4 dB 左右,减少了约 60%,有效提高了测距稳定度。

值得指出的是,对于三边交会定位而言,BLE 模块的绝对测距精度是十分重要的;但对于 Fingerprinting 定位而言,由于并不关心 BLE 模块与用户之间的真实距离,而是更加重视 RSSI Database 与用户在线 RSSI 测量值之间的匹配一致性,因此 BLE 模块的测距稳定度显得更为重要。

3.2 定位精度

为进一步考察对定位精度的影响,在北京某大型写

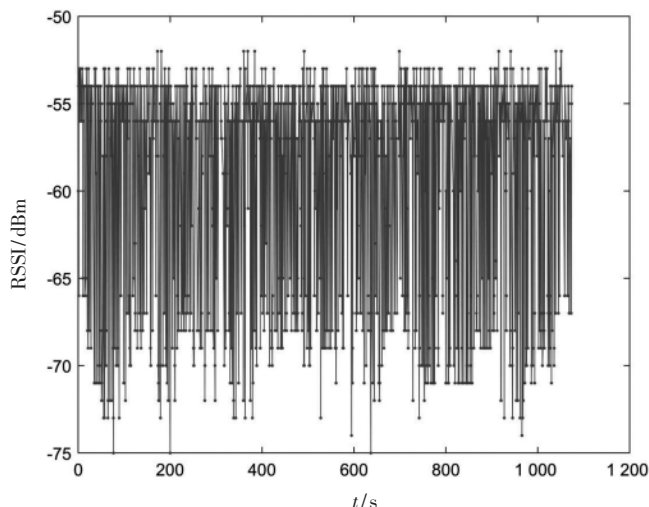


图3 BLE模块在可连接模式下的RSSI测量值

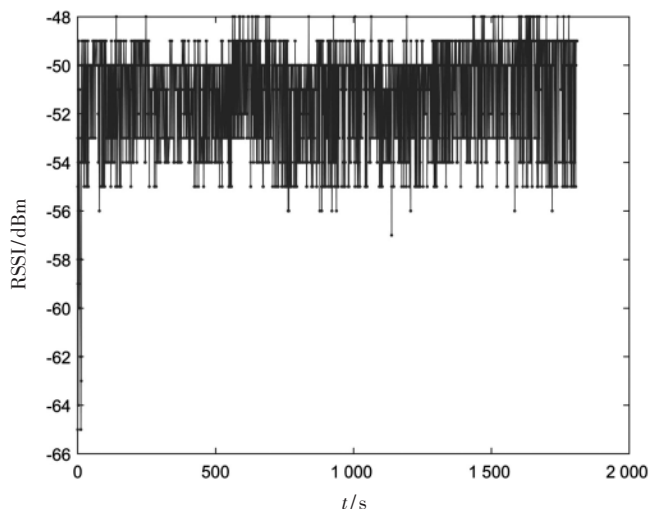


图4 BLE模块在不可连接模式下的RSSI测量值

字楼地下停车场内布置了基于BLE的室内定位环境。其中,BLE模块的安装间距约3~5 m,地面位置指纹参考点的采样步长为1 m,如图5所示。

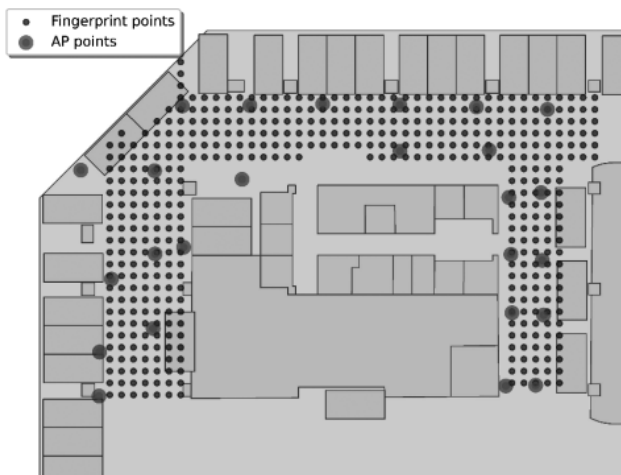


图5 某地下停车场BLE室内定位环境布设

在图5所示区域内,先后将各BLE模块分别设置为“可连接模式”和“不可连接模式”进行RSSI位置指纹数据采样,并使用装有自研APP软件智能手机,利用WKNN算法进行Fingerprinting在线定位(频率1 Hz),所得到的定位结果如图6所示。

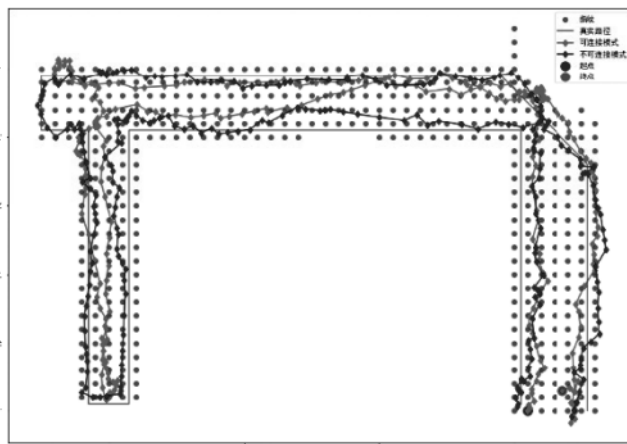


图6 不同连接模式下的定位结果

从图6中可以看出,当各BLE模块设置为“不可连接模式”进行指纹数据采集和用户在线定位时,系统能够获得明显更优的定位精度,用户运动轨迹更加接近真实轨迹。统计可知,用户在BLE“可连接模式”下的二维位置坐标均方根误差(RMS)为1.40 m,在BLE“不可连接模式”下的二维位置坐标RMS误差为0.58 m。

4 结论

基于蓝牙RSSI测量的位置指纹定位是当前室内定位技术中最常见的方法之一。本文研究发现,不同通信连接方式下的蓝牙设备测距性能具有很大差异,进而会对系统最终定位性能造成显著影响。针对这一关键问题,本文针对不同连接模式下的蓝牙BLE测距性能进行了测试和分析。在此基础上,利用自行搭建的室内定位环境开展实验,验证和分析了其对于用户实际定位精度的影响。实验结果表明,当各BLE模块设置为“不可连接模式”进行指纹数据采集和用户在线定位时,系统能够获得明显更优的定位精度,是室内蓝牙定位的优选通信连接方式。

参考文献

- [1] GOODSTEIN L. Location based service: analysis of carrier spending, subscribers, devices and applications for handset-based and telematics services[R]. New York: ABI Research, 2004.
- [2] 刘成,施浒立. 普适计算时代的定位技术[C]. 第二届中国卫星导航学术年会, 2011.
- [3] 刘成. LBS定位技术研究与发展现状[J]. 导航定位学报, 2013, 1(1): 78-83.
- [4] FARID Z, NORDIN R, ISMAIL M. Recent advances in wireless indoor localization techniques and system[J]. Journal of Computer Networks and Communications, 2013. DOI: 10.

1155/2013/185138.

- [5] Apple.(Jun.2,2014).Getting started with ibeacon.[DB/OL].[2021-01-13].http://developer.apple.com/ibeacon/Getting-Started-with-iBeacon.pdf.
- [6] KAPLAN E D.Understanding GPS principle and applications[M].London:Artech House London,1996.
- [7] WANG Y,XU Y,ZHAO Y,et al.Bluetooth positioning using RSSI and triangulation methods[C].Proceedings of IEEE Consumer Communication Networks Conference.2013:837-842.
- [8] The Working Group for WLAN Standards.IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks[DB/OL].[2021-01-13].http://www.bluetooth.com/specifications/bluetooth-core-specification.
- [9] KUMAR P,REDDY L,VARMA S.Distance measurement and error estimation scheme for RSSI based localization in wireless sensor networks[C].Proceeding of 5th International Conference on Wireless Communication and Sensor Networks (WCSN),2009.
- [10] LI H,TROCAN M,GALAYKO D.Virtual fingerprint and two-way ranging-based Bluetooth 3D indoor positioning

with RSSI difference and distance ratio[J].Journal of Electromagnetic Waves and Applications,DOI:10.1080/09205071.2019.1667268.

- [11] PAUL A S,WAN E A.RSSI-based indoor localization and tracking using sigma-point Kalman smoothers[J].IEEE Journal on Selected Topics in Signal Processing,2019,3(5):860-873.
- [12] DECUIR J.Introducing Bluetooth smart:part 1:a look at both classic and new technologies[J].IEEE Consumer Electron Magazine.2014,3:12-18.

(收稿日期:2021-01-13)

作者简介:

李芳(1989-),男,博士,助理研究员,主要研究方向:导航定位、多源传感器融合。

徐光明(1988-),男,硕士,工程师,主要研究方向:人工智能、大数据分析。

刘成(1987-),男,博士,助理研究员,主要研究方向:导航定位、导航增强技术与融合导航。



扫码下载电子文档

(上接第60页)

可得到明显改善。

4 结论

本文所设计的基于空间占有率判定的智能电梯控制系统下位机采用 STM32F103 单片机作为主控芯片,通过光敏传感器测试空间占有率,根据占有率阈值判定外部请求开门操作,解决了电梯无效开门的问题;上位机通过无线传输与下位机进行通信,上位机面板设计采用 LabVIEW 图形编程方式,用指针和曲线形象地表示了空间占有率数据实时曲线^[15]。同时,实现实时数值显示、故障报警记录等功能。经测试,系统可实现对空间占有率的检测、电梯运行数据的实时采集及显示,并可依此进行电梯智能控制。相较于传统的电梯控制系统,本系统更加节能环保,更加智能,更加便于系统化、集中化管理。

参考文献

- [1] 吴真鸣,葛卫华,郝晋渊,等.嵌入式电梯运行状态监测系统研究[J].电子测量与仪器学报,2019,33(8):187-193.
- [2] 刘桂雄,朱海兵,何若泉,等.电梯能效实时记录仪及系统研制[J].中国测试,2012,38(6):44-48.
- [3] 汪旭东,孙伟翔,许刘慧,等.直驱多桥箱电梯系统的调度控制策[J].武汉大学学报,2019(8):716-721,728.
- [4] 刘慧.楼宇智能电梯监控系统的设计[J].电气应用,2006(9):143-146.
- [5] 符林芳.基于 PLC 的电梯控制系统的开发与实现[J].自动化与仪器仪表,2019(7):116-119.
- [6] 聂茹.基于单片机的电梯自动控制系统的设计与实现[J].电子设计工程,2015,23(13):117-120.

[7] 童克波.基于乘坐舒适、节能的电梯变频调速系统设计及实现[J].自动化与仪器仪表,2014(6):200-202.

[8] 王利锋,路和.基于 LabVIEW 的磁流变液传动装置速度控制技术分析[J].机械设计与研究,2018,5(3):50-53.

[9] 张迪,刘鑫.基于 LabVIEW 软件的机器人避障控制系统设计[J].计算机测量与控制,2020,28(9):110-115.

[10] 王建邦,王飞,郭晓斌,等.基于 STM32 的电梯智能按键装置的设计与应用[J].工业仪表与自动化装置,2019(2):53-56.

[11] 周晓珏.基于 Proteus 的传感器检测与仪表实训项目设计[J].重庆电力高等专科学校学报,2020,25(4):34-37.

[12] 钟建伟,张钦惠,王智方,等.基于 AT89C51 单片机电梯控制仿真系统的设计[J].电工材料,2020(3):50-54.

[13] 王恩亮,华驰,陈洁.基于 STM32F103ZET6 的自定义通信协议电梯监控系统设计[J].中国安全生产科学技术,2016,12(12):160-165.

[14] 董庆瑞.半导体热敏电阻温度曲线的 Matlab 曲线拟合[J].教育教学论坛,2019,37(9):66-68.

[15] 谢檬,丁梦超.基于 LabVIEW 的甲醛浓度检测系统设计[J].传感器与微系统,2020,39(5):104-106.

(收稿日期:2020-10-25)

作者简介:

张安莉(1974-),通信作者,女,硕士,副教授,主要研究方向:电子技术及信号处理,E-mail:79213880@qq.com.

谢檬(1982-),女,硕士,副教授,主要研究方向:虚拟仪器及智能仪器的设计。

石卓勇(2001-),男,本科,主要研究方向:虚拟仪器及智能仪器的设计。



扫码下载电子文档

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所