

一种炮弹落点搜寻装置设计^{*}马游春^{1,2} 赵 宽^{1,2} 朱志斌^{1,2}

(1. 中北大学 电子测试技术国家重点实验室 太原 030051; 2. 中北大学 仪器科学与动态测试教育部重点实验室 太原 030051)

摘 要: 为了回收炮弹弹载记录仪,需要准确找到炮弹落点位置,并且保证当落点在遮挡环境以及无线传输环境较差时候依然能准确找到落点位置,设计一种多定位的信标机,先用最后接收到的 GPS 定位信号缩小目标位置,再依靠检测目标信号强度来寻找飞行器落点。本设计由发射端的 GPS 模块、FPGA 控制的解码模块、LoRa 远距离无线模块、接收端的数据处理显示模块、定向天线等组成。实验为定点测试实验,分别在学校的三处不同地点进行定位测试,测试结果如下, GPS 信号定位参数为东经 112.445 71、北纬 38.013 95, 3 个观测点处信号最强方向信号强度分别为 -49、-58.5 和 -65 dBm。通过最终接受的定位信息以及后期接收到的信号强度信息即可以有效找到炮弹落点位置,证明该搜寻装置的可实现性,为弹载记录仪的回收提高有效的搜寻手段。

关键词: 炮弹落点;信标机;FPGA;无线传输;复杂环境

中图分类号: TP29 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.99

Design of a searching device for shell falling point

Ma Youchun^{1,2} Zhao Kuan^{1,2} Zhu Zhibin^{1,2}

(1. National Key Laboratory for Electronic Measurement Technology, North University of China, Taiyuan 030051, China;

2. Key Laboratory of Instrument Science & Dynamic Measurement of Ministry of Education, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: In order to recover the projectile borne recorder, it is necessary to accurately find the position of the projectile impact point, and ensure that it can still accurately find the location of the impact point when the impact point is in the shielding environment and poor wireless transmission environment. A multi positioning beacon machine is designed. Firstly, the target position is reduced by using the final received GPS positioning signal, and then the projectile impact point is found by detecting the target signal strength. This design is composed of GPS module of transmitter, decoding module controlled by FPGA, LoRa remote wireless module, data processing and display module of receiver, directional antenna, etc. The experiment is a fixed-point test experiment, which is conducted in three different locations of the school. The test results are as follows: the positioning parameters of GPS signal are 112.445 71E, 38.013 95N, the signal strength of the strongest direction at the three observation points are -49, -58.5 and -65 dBm respectively. Through the final received positioning information and the signal strength information received in the later stage, the impact position of the projectile can be found effectively, which proves the feasibility of the search device and improves the effective search means for the recovery of the missile borne recorder.

Keywords: drop point of shell; beacon machine; FPGA; wireless transmission; complex environment

0 引 言

炮弹研制过程中经常要实弹试验,记录飞行过程中各种数据,炮弹落地后需要回收弹载记录仪。炮弹试验场大都是人迹罕至的沙漠,戈壁等复杂环境,使得人工搜寻成本很高,效率很低。目前的搜寻手段主要有颜色指示、光学指

示、气味指示等,或者直升机上用肉眼定位的方式来寻找落点^[1],实质上还是属于人力搜寻。无线信标机一般指能够向外界发送一定标识信号的仪器装置。用来传递目标位置的定位信息给接收方^[2-3]。这与炮弹落点搜寻的目标有较大的适配性,同时,考虑到炮弹可能落点在崎岖遮挡环境下, GPS 难以定位成功,并且飞行末端速度常常在每秒数

收稿日期:2020-12-24

^{*} 基金项目:国家重点实验室基金(6142001180412)项目资助

百米以上,以及飞行过程中 GPS 信号的丢包情况,最后接收的 GPS 定位点与实际落点常常相距较大。而复杂的地形环境让搜寻有一定困难。

针对这种实际特定的应用场景,本文采用 GPS/北斗定位与信号强度双定位搜索的方法,在炮弹处装载 GPS/北斗定位模块与无线模块,先采用 GPS/北斗与无线模块的方法,在炮弹飞行过程中一直定位并传回定位信息,当炮弹落地到达崎岖遮挡环境时,若定位失败,发射端则发送空帧信号,以便接收端收到信号强度信息。则依据最后接收到的经纬度信息找到导弹的大致位置,然后使用定向天线自动搜集 8 个方向的信号强度信息,每个方向采集 10 次,将 8 个方向信号强度比较,找到信号最强的方向,搜寻者可以依据指示方向进一步缩小目标范围,更加快速方便回收记录仪。在最终定点实验中,通过接受的定位信息以及后期接收到的信号强度信息,精确找到了目标物,证明了该方法的可行性与正确性。

1 LoRa 技术特点

LoRa 技术是 LPWAN 通信技术的一种,是由线性调频扩频技术改进而来。因为脉冲具有线性调频特质,收发装置间的频偏与时间偏移相等,所以可以在解码器中消除,LoRa 调制就可以避免多普勒效应的影响。LoRa 具有前向纠错能力,数据比特率的计算方法为:

$$T_s = \frac{2^{SF}}{BW} \quad (1)$$

$$R_b = \frac{SF}{T_s} = \frac{SF \times BW}{2^{SF}} \quad (2)$$

式中: R_b 为数据比特率; SF 为传播因子; T_s 为 LoRa 信号持续时间; BW 为带宽。由式(1)、(2)可以得出,传播因子 SF 越大,比特率 R_b 越小,LoRa 信号持续时间 T_s 越长,则传播的距离越远。LoRa 特性如表 1 所示^[4]。

表 1 LoRa 特点

LoRa 特点	
传输距离	城镇可达 2~5 km,郊区可达 15 km
传输速度	几十到几百 kbit/s,速率越低,距离越远
通信标准	IEEE 802.15.4g
工作频率	ISM 频段包括 433、868、915 MHz 等
调制方式	基于线性调频扩频调制方式

2 硬件电路设计

硬件设计分为发送端模块与接收端模块,发送端模块包括 GPS 模块、FPGA 主控模块、LoRa 无线发送模块以及电源。接收端模块包括定向天线、LoRa 无线模块、FPGA 主控、显示模块、方向指示灯、天线驱动装置以及电源,如图 1 所示。

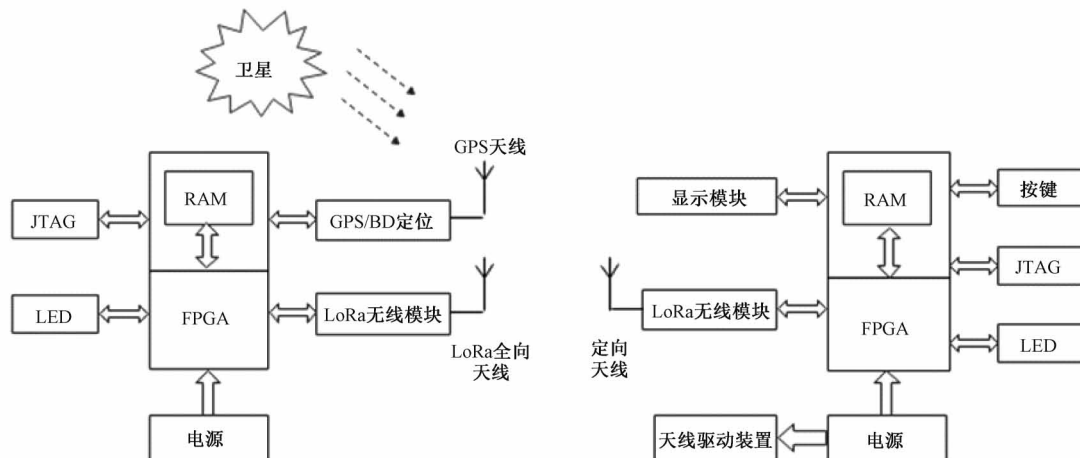


图 1 总体系统结构

其功能为 GPS 接收到卫星的定位相关信息后,将数据发送给 FPGA,由 FPGA 解码,将经纬度与时间信息提取出来后,传递给 LoRa 发送模块,开启 RSSI 功能,FPGA 控制然后定向天线接收到信息,通过 LoRa 接收模块传递给 FPGA 主控,FPGA 将定位信息与数据强度信息分开,并显示经纬度信息,点亮信号强度最大的方向上的指示灯。

2.1 GPS 模块

本文选取 GPS+北斗双定位模块 ATK1218-BD 作为本设计的 GPS 模块,具有体积小、精度高、跟踪灵敏度高、接口种类多等特点,而且,由于使用双模定位,它可以

利用两个定位系统的卫星信息,对两个系统的算法进一步改进。从而更易定位成功,定位精度更高^[5]。而且配有专门的 GPS 参数设置软件 USMART 工具,可以在上位机上直接通过软件来调整 GPS 模块的参数。使用起来非常方便。

2.2 主控部分

发送端主控部分选用 Altera 公司的 cycloneIV 系列的 FPGA,型号为 EP4CE10F17C8。该款芯片拥有 10 320 个逻辑单元、414 kbits 的嵌入式存储资源、23 个 18×18 的嵌入式乘法器、2 个通用锁相环、10 个全局时钟网络、8 个用

户 I/O BANK 和最大 179 个用户 I/O,是一款内部资源很丰富的芯片,极具功耗和性价比优势。

由于 GPS 定位信息内容较多,其中大多数不是我们需要关心的信息,而且 LoRa 模块空中速率有限,故需要通过主控解析 GPS 信息,提取我们关心的内容,这样可以大大减少无线模块的负担^[6-7]。连接关系为主控模块通过串口分别与 GPS 模块、LoRa 无线模块相连,实时将 GPS 定位信息解析,提取有用信息,然后通过 LoRa 无线模块发送出来。

接收端主控同样选择 EP4CE10F17C8 的 FPGA,它的功能是接收无线模块过来的数据,将其中经纬度以及时间信息显示出来,并且提取数据帧后的信号强度字节,比较多方向的信号强度,最终点亮相应方向指示灯。

2.3 LoRa 无线模块

本文采用 SX1268 射频芯片的 LoRa 远距离传输模块 E22-400T22S,采用全新一代 LoRa 扩频技术,与 Zig_bee、UWB、NFC 等无线传输方式相比,传输距离更远速度更快,体积更小,抗干扰能力强,功耗更低^[8-9]。模块采用 TTL 电平输出,I/O 口电压兼容 3.3 与 5 V 的。并且 LoRa 无线模块工作参数如空中速率、信道等参数可根据实际情况进行设置,满足不同环境下的需求。而且 E22-400T22S 内置功放模块,发射功率高达一瓦^[10]。接收端搭载八木天线,传输距离能达到 5 km,能满足一般的炮弹落点寻找要求。此外,此模块还支持中继组网功能,可以在需要情况下进一步增加传输距离。

2.4 定向天线

由于要采集各个方向的信号强度信息,所以需要在接收端安装一个定向天线,因为八木天线增益高、性能优越^[11-12],又考虑到需要方便携带,所以本文采用小型八木天线作为接受端定向天线,其频率为 430~440 MHz,增益为 8 dBi,驻波比小于 1.4,带宽为 10 MHz。此天线配合辅助装置,可以转动到 8 个方向采集信号。

3 系统软件设计

3.1 发送端软件设计

发送端工作流程如图 2 所示,上电后,先进行系统初始化,开始等待 GPS 模块定位成功,当定位成功后,接收 GPS 模块传递过来的完整数据定位帧,然后根据 GPS 数据格式开始解析数据,提取出所关心的经度、纬度和时间信息^[13],然后重新编帧,加上帧头帧尾,其中,帧尾充当标识字,以便接收端搜寻提取关键字后外加的数据强度字节。然后检测无线模块之间是否能正常通信,如果正常就发送帧数据,否则在此等待检测^[14]。最后等待数据发送完毕。这样一次发送就完毕了。当检测到 GPS 不能定位成功,此时意味着炮弹已经到达落点,环境有遮挡或者炮弹落地损坏了 GPS 正常功能,此时主控发送空帧给 LoRa 模块,空帧只有帧头、帧尾。接收端 LoRa 开启 RSSI 功能,接

收端可以凭借最后接收到的有效定位信息以及空帧的信号强度信息来确定落点^[15-16]。

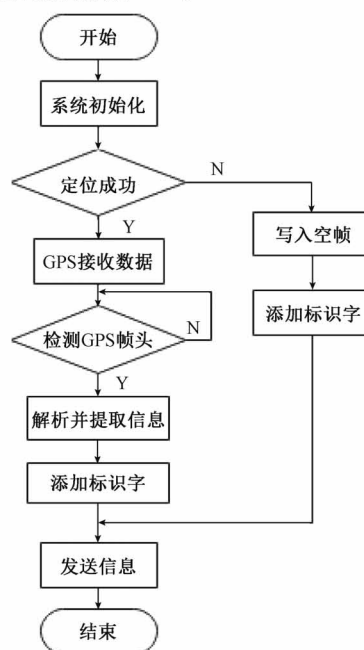


图2 发送端软件流程

3.2 接收端软件设计

接收端工作流程如图 3 所示,上电初始化(初始化其中包括开启 LoRa 模块数据强度功能,开启后,LoRa 模块会在每次发送完一次数据后加一个强度字节),检测定向天线到达指定方向的信号,然后开始接收数据,接收 10 次数据后,检测每次数据的帧头帧尾,将每次数据的经纬度、

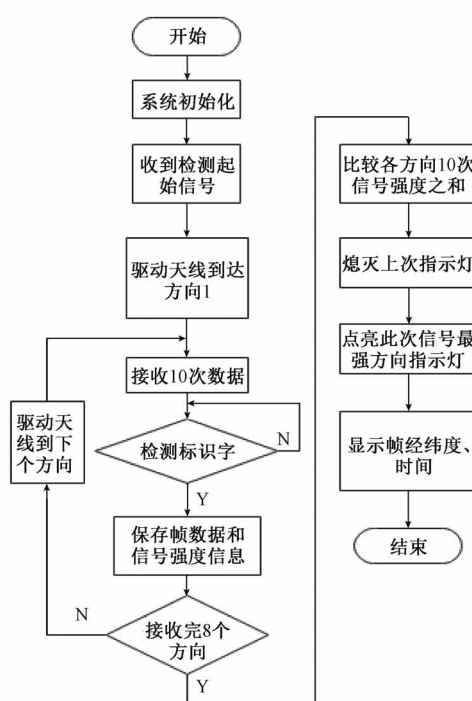


图3 接收端软件流程

时间信息以及帧尾后的数据强度字节保存下来,然后判断是否以及收集到了 8 个方向的数据,如果没有,就控制电机使得定向天线到达下一个方向,再次接受处理数据,如果 8 个方向已经接收完毕,然比较每个方向的 10 组数据之和,从而找到信号强度最大的方向,然后熄灭上次方向指示灯,点亮此次方向指示灯,并显示经纬度与时间信息。

4 系统仿真与测试

4.1 系统仿真

使用 ModelSim 仿真数据处理功能,具体为输入进来数据帧以及信号强度字节,然后提取比较各方向信号强

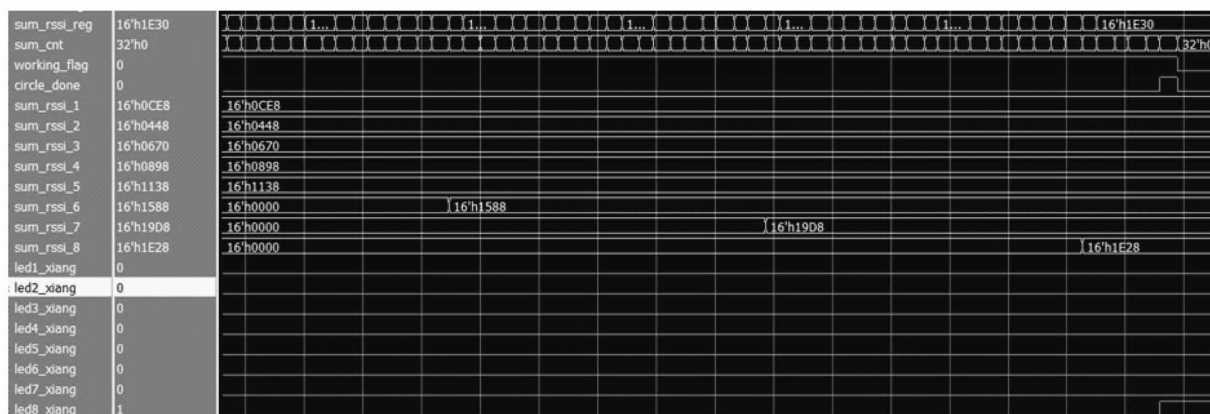


图 4 仿真结果

4.2 系统测试

由于实验条件所限,没有进行实弹测试,选择了在校内进行定点定位测试系统功能。实验结果如图 5 所示,16 进制表示为帧头 BEBEBE,帧尾 FFFFFFFF。第 1 个方框

度。如图 4 所示,展示了接收 8 个方向信号,每个方向接收 10 次,可以看到,在 1 方向接收到 10 次数据帧后,sum_rssi_1 从 0 变为了 10 次数据强度字节之和,与此相似,sum_rssi_2~sum_rssi_8 在各自方向采集到的足够次数的信号后,都由 0 变为 10 次数据强度字节之和,最后比较这 8 个方向数据强度字节之和,由于 3 方向数据强度字节最小,此 LoRa 模块信号接收端功率与强度字节 RSSI 之间转换公式为 $\text{dBm} = -\text{RSSI}/2$,意味该方向数据强度更大,故 led3_xiang 信号被拉高,代表点亮了 3 方向指示灯。一次测试周期结束。等沿该方向行进一定距离如果没发现目标可以开启第 2 次信号强度采集。

是经度,转换为 ASCII 为 112.445 71 E,第 2 个方框内容是纬度,转换为 ASCII 为 38.013 95 N,第 3 个和第 4 个方框为时间与日期,最后方框的字节是信号强度字节,每个方向收集 10 次。

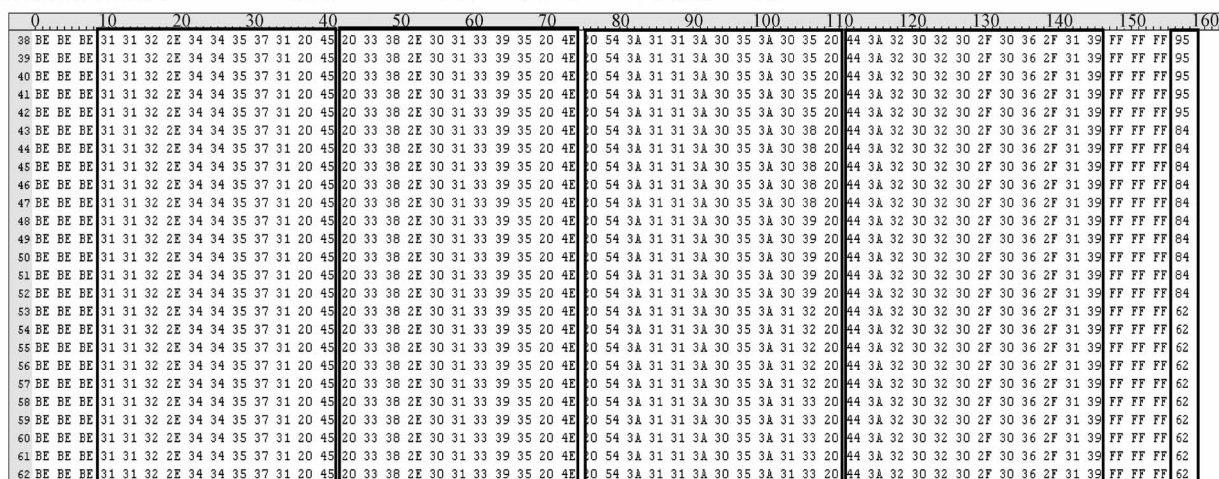


图 5 实验结果

实验结果转化成数据如表 2 所示。分别在 3 处不同地点测试,得到的信号强度字节如表 3 所示。信号强度字节 RSSI 与接收端功率转换公式为 $\text{dBm} = -\text{RSSI}/2$,可以看到第 1 个地点测量信号强度最大方向为方向 6,其信号强度字节为 0x62,对应信号强度为 -49 dBm。第 2 个地点测

量信号强度最大方向为方向 5,其信号强度字节为 0x75,对应信号强度为 -58.5 dBm。第 3 个地点测量信号强度最大方向为方向 6,其信号强度字节为 0x82,对应信号强度为 -65 dBm。得到信号强度最大的方向就可以得到炮弹落点的方向。

表2 实验结果数据

测量点	经度	纬度	时间	日期	信号强度字节
方向1	112.44571 E	38.01395 N	11:05:05	2020-06-19	0x95
方向2	112.44571 E	38.01395 N	11:05:08	2020-06-19	0x84
方向3	112.44571 E	38.01395 N	11:05:12	2020-06-19	0x62

表3 LoRa 信号强度字节

测量点	方向1	方向2	方向3	方向4	方向5	方向6	方向7	方向8
1	0xB2	0xA7	0xA3	0x95	0x84	0x62	0x7B	0xAD
2	0xCF	0xC5	0xA2	0x8F	0x75	0x8A	0x98	0xB1
3	0xB6	0xBF	0xB1	0x9F	0x82	0x98	0xA7	0xB7

最后将接收端收到的经纬度信息导入地图,可以再次验证定位信息结果,如图6所示。



图6 地图显示

实验结果表明,该系统可以得到定位信息与8个方向最大的信号强度,通过最终接受的定位信息以及后期接收到的信号强度信息即可以有效找到炮弹落点位置,证明该搜寻装置的可实现性,为弹载记录仪的回收提高有效的搜寻手段。

5 结 论

针对炮弹及弹载记录仪回收问题,设计了一种炮弹落点搜寻信标机。使得炮弹不仅在飞行过程中能够得到定位信息,而且当炮弹落在有遮挡等复杂环境下GPS无法定位,且无线模块丢包率较高的情况下,依然能通过最终接受的定位信息以及后期接收到的信号强度信息来方便有效找到炮弹落点位置,顺利回收弹载记录仪。节省了大量的人力物力,提高了工作效率与落点搜寻准确度,具有一定实际应用价值。

参考文献

[1] 孔雁凯,关咏梅,郭涛,等.基于无线传感器网络的炮弹

落点定位技术的研究[J].传感技术学报,2015(8):1201-1206.

[2] 何方城,甄国涌,单彦虎.基于北斗通信的小型无线信标机设计[J].电子器件,2020,43(1):15-19.

[3] 田宏图.基于北斗定位导航系统的区域CORS系统精度与性能分析[J].国外电子测量技术,2020,39(6):128-131.

[4] 杨国华,徐志明,吕文伟,等.基于GPS和LoRa的低功耗露天矿电缆定位方法[J].电子设计工程,2020,28(19):157-160,165.

[5] 于皓博,单彦虎,任勇峰,等.基于GPS和北斗的高可靠性信标机系统设计[J].电子技术应用,2018,44(7):94-97.

[6] 刘春,卫吉祥,李维华,等.改进的自适应卡尔曼滤波在北斗伪距单点定位中的研究[J].电子测量与仪器学报,2020,34(10):142-148.

[7] 裘森强,郭鹏程,王灿,等.基于FPGA的电力设备故

- 障信号采集与处理系统设计[J]. 电子设计工程, 2020, 28(10):136-140.
- [8] 江莺, 俞旭, 俞铭津, 等. 基于 LoRa 的远程低功耗水压采集系统的设计[J]. 现代电子技术, 2020, 43(8):105-108, 112.
- [9] 薛光辉, 赵贺, 孙宗正. 基于 LoRa 技术的矿用无线复合传感器设计与实现[J]. 煤炭工程, 2020, 52(4):166-170.
- [10] 赵翠兰. 提高机组环保传输设备通信信号强度的研究[J]. 通信电源技术, 2019, 36(11):285-286.
- [11] 刘栓. 无线网中基于接收信号强度的位置校验系统研究[J]. 控制工程, 2018, 25(11):2109-2114.
- [12] 王威雄, 董绍武, 武文俊, 等. 基于软件接收机和间接链路的卫星双向时间比对性能分析[J]. 仪器仪表学报, 2019, 40(10):152-160.
- [13] RATHNAPALA J D C C, JAYATHILAKE M U B, RATHNAYAKE R M U K H M K, et al. Sensor-less terrain estimation and torque control of a wheeled mobile robot[J]. Instrumentation, 2019, 6(2):41-48.
- [14] 王利斌, 杜文略, 张会新, 等. 基于 MSP430 单片机的无线信标机设计[J]. 电子器件, 2018, 41(4):1061-1065.
- [15] 刘文洲, 胡治辉. 微电网智能负荷计量控制装置研究与设计[J]. 国外电子测量技术, 2020, 39(10):72-77.
- [16] 杨菊花, 李文元, 陈光武, 等. 引入滑模观测器的 GPS/INS 组合导航滤波方法[J]. 仪器仪表学报, 2019, 40(9):78-86.

作者简介

马游春, 博士, 副教授, 主要研究方向为光纤光栅传感系统、电子测试仪器与系统研究。

E-mail:1061054164@qq.com

赵宽, 硕士研究生, 主要研究方向为无线通信和数据采集与存储。

E-mail:1003210170@qq.com

朱志斌, 硕士研究生, 主要研究方向为数据采集与存储。

E-mail:1913551076@qq.com