

# 使用智能终端控制激光异物清除设备

杨波, 刘传利, 吴英迪, 蔡亚芬

(中国信息通信研究院 泰尔系统实验室, 北京 100045)

**摘要:** 对于架空高压输电线上的异物, 利用激光清除已成为一种主流的手段。分析了异物清除作业的过程及其对控制系统的需求, 提出了一种将执行机构控制和运算分离, 使用与执行设备无线连接的便携智能完成控制计算的系统设计, 并详述了这一控制系统的硬件实现和软件流程。相较传统一体化控制系统, 这样的设计成本低, 使用灵活, 维护简便且易于功能扩展。实验表明, 此系统能够准确可靠地控制激光异物清除设备完成清除操作。

**关键词:** 激光异物清除; 智能终端设备; 无线控制; 模块化

中图分类号: TN929.5; TP273

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.200441

中文引用格式: 杨波, 刘传利, 吴英迪, 等. 使用智能终端控制激光异物清除设备[J]. 电子技术应用, 2021, 47(3): 51-54, 60.

英文引用格式: Yang Bo, Liu Chuanli, Wu Yingdi, et al. Controlling the laser foreign matter remover device by smart terminals[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(3): 51-54, 60.

## Controlling the laser foreign matter remover device by smart terminals

Yang Bo, Liu Chuanli, Wu Yingdi, Cai Yafen

(CTTL-Systems, China Academy of Information and Communications Technology, Beijing 100045, China)

**Abstract:** Using laser to remove foreign matters on overhead high-voltage transmission lines has already become a mainstream method in recent years. In this paper, by analyzing the procedures of the removing operation as well as its demand on the control system of the remover device, a novel design of control system is proposed, in which the calculation are mainly performed in a generic smart terminal device connecting wirelessly to the actuator-driving part. The complete hardware design and software flow are also introduced. Comparing to the conventional integrated control system, this design is more flexible, easier to maintain and upgrade, and is of lower cost. Experiments show that, remover device controlled by this system can perform the removing operation accurately and reliably.

**Key words:** laser foreign matter remover; smart terminal device; wireless control; modularization

### 0 引言

高压电线上缠绕的异物是高压输电网络线路故障的主要原因之一, 其带来的短路事故占到外力破坏引致事故的一半以上<sup>[1]</sup>。因此, 对输电线上异物的及时清除是电力行业非常重视的问题。传统使用辅助工具进行人工清除的做法<sup>[2-3]</sup>效率较低; 而使用无人机<sup>[4-5]</sup>、挂线机器人<sup>[6-8]</sup>等进行清除的方法操控难度较大, 自损率高, 且容易带来次生危害。近年来, 使用二氧化碳激光从地面远距离清除电线上异物的方法<sup>[9]</sup>凭借便于运输、操作方便、清除迅速、对输电线缆的安全性<sup>[10]</sup>等优点逐渐成为一种主流的清理方式。

在激光异物清除装置中, 对激光指向、焦点、功率等的控制决定了工作的精准度和效率, 因此其控制部分的硬件和算法至关重要。针对清除任务中涉及的算法, 例如视频识别<sup>[11]</sup>、聚焦<sup>[12]</sup>、清除方式<sup>[13]</sup>等, 很多研究者已进行过深入研究。但从已发表的研究成果来看, 大多数的研究基于集驱动、控制、运算、操作界面于一体专用平台

(工控机等)进行, 大部分的设备也使用专用的工控机作为控制系统硬件的核心。然而, 在实际激光异物清除的任务中, 绝大部分控制并不涉及复杂计算的大数据量的通信, 无需高性能的计算平台来完成; 同时, 便携智能电子设备(如智能手机、平板电脑等)在今天已经非常普及, 这些设备不仅能够提供异物清除任务所需要的显示反馈和人机接口, 其算力也能够胜任较为复杂的计算任务。如果使用通用便携终端实时控制激光异物清除装置, 相比现有的一体化控制系统而言, 能提供如下便利:

(1) 使用模块化结构, 将操控/显示和机械/电子控制分离, 便于硬件系统的维护;

(2) 使用通用设备实现系统的操控和显示, 提高系统适应性, 降低了系统的成本;

(3) 将计算压力转移到通用设备中, 大幅降低了机械/电子部分的硬件需求, 降低了前端的成本;

(4) 利用智能终端的网络功能, 可进一步将复杂计算转移到云/边缘进行, 大幅提高了系统的灵活性;

(5)控制方法/算法相关的改动仅需要进行软件升级,且可以在线进行。

基于这样的想法,本文提出并实现了一种利用便携智能终端控制的激光异物清除系统的设计方案,并详述了各部分的设计细节。

## 1 原理

### 1.1 激光异物清除原理、设备和流程

激光异物清除装置主要用于清除高压电线上缠绕的风筝、遮阳网、塑料大棚等异物。清除设备置于地面,将大功率的激光聚焦在目标物上,使其燃烧/熔化并脱落。清除任务中,目标物通常距离清除设备百米以上。在此距离上使用激光烧灼异物,需要对激光的指向和焦点进行准确控制。为此,除激光器外,清除设备需要具备可水平/垂直旋转的云台以及用于调节调焦镜头所用的高精度滑台。为了操控方便,定位准确,需要选用清晰程度较高的相机,并具备长距离的光学变焦功能,以实现目标物体的视觉捕获。

异物清除的主要流程为:首先依据相机图像的反馈,通过控制接口控制云台水平和垂直角度,使得激光器输出的激光正对目标;以低功率输出激光,并通过异物上焦点的大小反馈,调整对焦镜头的位置,使激光能够聚焦在异物上,提高功率密度;之后,选择合理的清除方式(如点烧、扫描等),确定清除作业时云台的动作轨迹及激光器的输出功率。开始作业后,控制系统将依据之前选定的清除方式和坐标位置自动控制云台的旋转及激光器的输出,从而实现对异物的清除。

### 1.2 对控制系统的需求

从以上任务及流程描述可以看出,设备的控制系统需要准确控制二维云台的指向、透镜的位置、激光器的开关以及功率的能力,并控制相机参数(焦距、曝光等),显示反馈的图像/视频,并提供相应操作界面。

在实际使用中,目标的寻找、激光焦点的调整等均属于一次性工作;而清除方式一旦确定,云台的控制轨迹和激光器的功率控制也是完全确定的。完整作业流程中,对数据链路的流量和计算的需求主要针对视频的编解码和可能的处理工作上。由于大部分相机支持直接通过有线或无线接口和便携智能终端(手机、平板等)交换视频和控制数据,可以将这一部分分离出来,剩余对于执行机构的控制工作即可以在很低成本和功耗下,在较小的体积内实现。这样的设计相当于将传统一体化控制系统拆成了两个部分:用于控制和驱动设备的低成本模块和一块以便携智能终端为核心的控制器。前者控制各执行机构的运动,后者负责图像显示、参数运算并提供人机交互接口。二者通过无线网络交换数据。图1为设备整体形态的示意图。

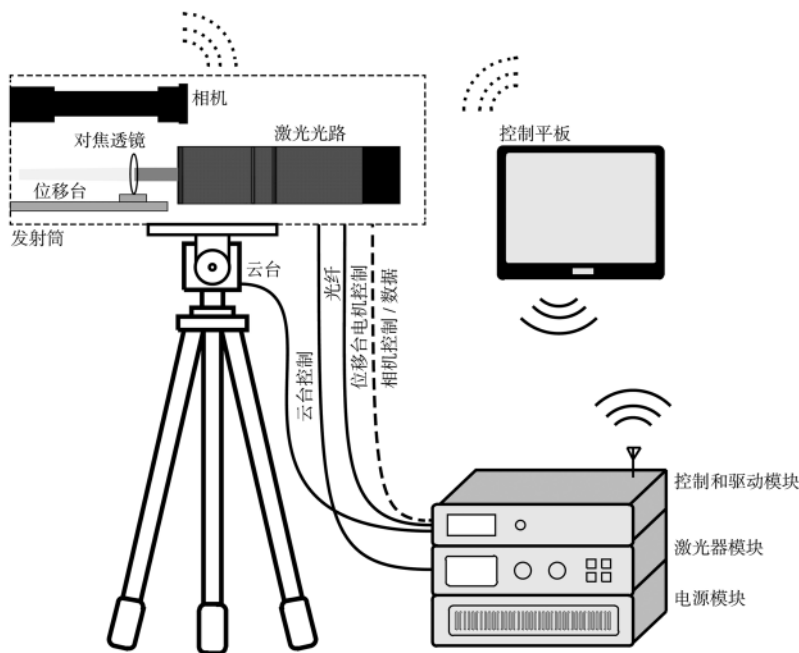


图1 激光异物清除系统的构成

## 2 方法

### 2.1 硬件设计

图1所示结构中控制与驱动部分的硬件主要包括两个功能:针对执行机构(云台、对焦滑台、激光器)的控制,以及与控制终端的无线通信。为通用性及维护方便之考虑,将其作为两个独立模块分别进行了开发。

针对执行机构的控制中,调整云台角度以及透镜的位置均可以归结为对步进电机的控制,对控制电路的要求为方向和步进脉冲的输出。激光器的开关通过开关量信号实现,其功率的调节通过模拟电压信号输出。为实现这一应用包含的多路开关量、脉冲信号以及模拟电压输出的需求,使用了一块带有多路PWM信号输出和DAC的低成本通用单片机STM32F103ZET6作为执行机构控制板的主要处理器。

为了顾及显示和人机接口的通用性,选用了所有便携式智能终端均支持的WLAN作为控制系统的主要无线通信方式。尽管部分高端的单片机/ARM芯片能够直接或配合Ethernet PHY芯片和LwIP等协议栈实现IP网络功能<sup>[14]</sup>,考虑到网络通信占用单独线程可能对控制任务带来时间上不利的影晌,本文使用了另一块独立的低成本处理器树莓派计算模块(Raspberry Pi Compute Module,下称Rpi-CM)进行对设备控制电路的命令下发,并通过其USB接口,利用USB-WLAN无线网卡,或者利用USB-ETH PHY加上无线路由器实现设备本身与外界的无线IP通信。Rpi-CM是树莓派基金会发布的一块带有CPU、内存和片上存储器的DDR2内存条尺寸的工业级模块<sup>[15]</sup>,其完整的操作系统Raspbian提供了对IP网络协议的完全支持。Rpi-CM并不能独立使用,需

要为其开发扩展板,引出各个接口用于与其他设备的连接。在控制系统的设计中,选用了 SPI 和若干 GPIO 作为通信板与执行机构控制板之间数据交换的接口,以保证通信的速率和实时性。控制系统的结构和通信方式设计如图 2 所示。

## 2.2 软件流程

系统设计中,对执行机构的控制与控制软件的解耦,使得在设备内部的两块 CPU 基本没有运算压力。通信板仅需要“转译”控制终端发来的命令给设备控制板,并按照特定的需求查询设备的各项状态,反馈给控制终端;执行机构控制板则仅需要根据通信板通过 SPI 传输过来的命令执行相应的驱动动作。只要在设计时保证各项控制指令和动作能够涵盖对各执行设备的所有操作,这两部分的功能是完全确定的,几乎不需要维护和升级。

另一方面,控制整体流程的软件在控制终端上编写和运行。在具备 Windows/Linux/Android/iOS 操作系统的高性能智能终端中编写程序,获取相机的图像数据进行计算并输出相应控制动作,相较在嵌入式系统中进行相应开发而言技术门槛更低,更加易于移植和维护。结合前述流程,3 个处理器的主要软件流程及相互协同如图 3 所示。设备正常上电后,通信板将启动一个 TCP 服务器,等待控制用的便携式智能终端(下称控制终端)连接。控制终端中的 APP 启动

时,将会主动连接这一服务器,并进行身份校验等工作。

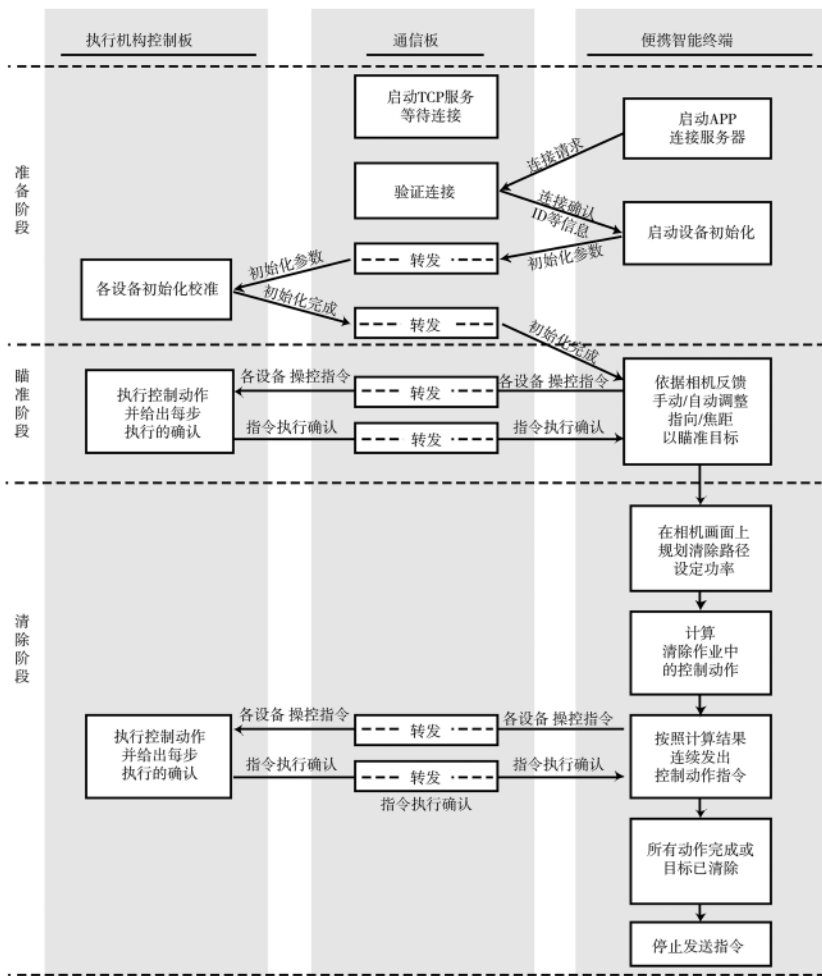


图 3 控制系统软件流程

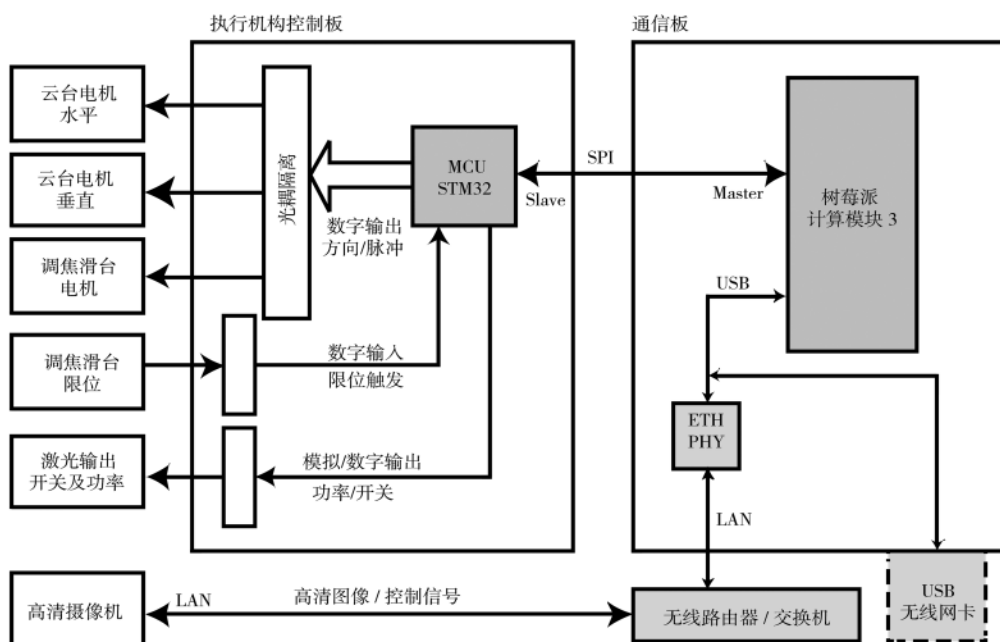


图 2 控制模块的结构和通信方式



连接成功后,控制终端将发起对整个系统的初始化,并在后续继续向通信板中的服务器传递参数,通过其控制各个设备协同动作。

可以看到,所有流程中的计算几乎完全发生在控制终端上。在瞄准、清除的阶段,可以手动识别和处理,也可以依托控制终端的图像处理能力,部署相应算法进行调整。对于对算力要求高的任务,在控制终端本身算力不足的情况下,亦可以利用其本身的网络连接能力(如4G、5G等)将图像和视频信号传输到云端/边缘的计算服务器,并依托在其上部署的算法进行运算。

传统的激光异物清除系统中,部分步骤(例如用相机的长焦锁定目标、激光聚焦调整等功能)手动操作耗时费力。以锁定目标功能为例,相机在广角状态下,依据图像进行位置控制的精度不足;而在长焦状态下视野很窄,难以在视野中捕获目标物,实际操作中常常需要反复切换。在文中所述系统中,利用在控制终端中部署的图像识别等算法,在广角状态下选取目标物后,可以在调整焦段的过程中同步调整云台,保证目标物始终处在视野的中心,从而提高控制的效率。

### 3 讨论

相比于一体化的系统或有线传输的系统,通过无线通信实现控制反馈可能会带来一定额外的时延。在目标捕获、对焦等精细调整的过程中,可能需要适当降低执行机构动作速率、增加步进时间或加入预测性控制算法,以降低时延带来的影响。由于该设备大部分应用场景在电磁干扰较小的户外/野外,当前这一问题带来的影响并不显著。随着通信技术的演进,5G、Wi-Fi6等技术的普及和应用将进一步降低控制系统的时延,从而改进控制系统的性能。在文中所述的模块化控制系统设计中,完全可以在不重新设计/生产任何硬件情况下完成此类通信方式和控制终端的升级和更换。

### 4 实际设计和实验结果

根据以上想法,使用STM32F103ZET6单片机和树莓派计算模块开发了一套完整控制系统,并在一套激光异物清除的设备中得到应用。控制系统成品如图4所示。

在测试用系统中,控制终端使用了通用的Windows平板,使用触摸屏幕直接控制。软件手动方式下可以通

过各按钮控制执行机构的运作,并可以在摄像机捕捉的图像上直接进行选点瞄准等操作。测试系统的控制软件的界面如图5所示。



图5 测试用控制软件界面

在已经进行的测试实验中,控制系统能够在便携式智能终端的控制下准确控制设备清除一百米之内模拟电线的目标物上缠挂的异物。实际实验结果如图6所示。图中从左到右分别为对线缆上地膜、树枝、尼龙绳线的清除实验。针对地膜和风筝,使用的是线性扫描模式,即激光焦点在两个工作点附近往复切割;针对树枝使用的是点烧模式,即将激光焦点集中在固定位置,直至目标清除。实验表明,该控制系统的控制速度和精度能够满足实际应用的需求。

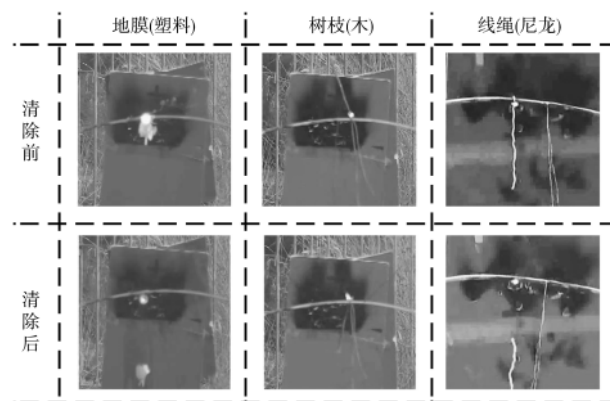


图6 实际清除作业

### 5 结论

以上的原理分析和实验结果证明,将激光异物清除设备的控制界面和计算任务分离出来转移到便携智能终端上,并利用无线连接对设备进行操控的方法,能够在实现功能的前提下降低控制系统的体积/成本,并提高使用的灵活性。使用本文所设计的低成本控制系统,辅以无线连接的通用便携式智能终端,可以完整、精确地实现控制激光异物清除设备清除高压线缆上异物的功能。

(下转第60页)

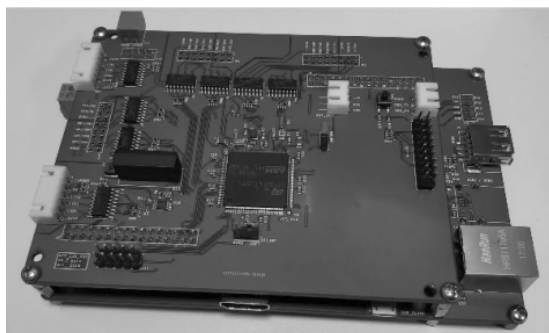


图4 执行机构控制板和通信板

同时,对现今主流的区块链系统进行筛选,选定 Hyperledger Fabric 联盟区块链平台构建食品溯源系统并进行实际搭建;搭建完成后对食品溯源系统中的相关功能进行了模拟测试,并对整个系统进行了简单的性能测试。

根据测得的结果,本文提出的基于 Hyperledger Fabric 区块链的食品溯源系统基本满足当前消费者对食品溯源系统的需求,解决了传统食品溯源系统中存在的数据量缺乏、存储信息中心化等问题,保证了食品溯源数据的完整性、有效性与不可篡改性。

#### 参考文献

- [1] 孙志国.区块链、物联网与智慧农业[J].农业展望,2017,13(12):72-74.
- [2] 赵嫻,陈佳豪.基于区块链技术的农产品供应链信息优化研究[J].供应链管理,2020,1(3):25-34.
- [3] 孙明.基于物联网的食品溯源系统设计及实现[D].北京:中国科学院大学,2015.
- [4] 周雄,郑芳.基于区块链技术的农产品质量安全溯源体系构建探究[J].中共福建省委党校学报,2019(3):113-117.
- [5] 王元地,李粒,胡谋.区块链研究综述[J].中国矿业大学学报(社会科学版),2018,20(3):74-86.
- [6] 李超,戴炳荣,王泓机,等.基于区块链的数字版权保护与交易系统[J].现代计算机(中旬刊),2018(10):80-84.
- [7] 徐春波,闫龙.区块链技术在物流与供应链领域的应用分析[J].物流工程与管理,2019,41(6):66-68.
- [8] 王明生,曹鹤阳,李佩瑶.基于区块链的去中心化信贷系

统及应用[J].通信学报,2019(8):169-177.

- [9] BO Y, WANG H. The application of Cloud computing and the Internet of Things in agriculture and forestry[C]. International Joint Conference on Service Sciences, 2011.
- [10] 袁勇,王飞跃.区块链技术发展现状与展望[J].自动化学报,2016(4):481-482.
- [11] 郭彬,于飞,陈劲.区块链技术与信任世界的构建[J].企业管理,2016(11):110-113.
- [12] LARIMER D. Delegated proof-of-stake white paper[EB/OL]. (2014-04-13)[2020-04-14]. <http://8btc.com/doc-view-151.html>.
- [13] IBM. Hyperledger Fabric[EB/OL]. (2017-xx-xx)[2020-04-14]. <https://www.hyperledger.org/>.
- [14] 于建明.我国食品安全现状与食品检测发展方向的理性思考[J].食品安全导刊,2017(15):50.
- [15] CACHIN C. Architecture of hyperledger blockchain Fabric[C]. Workshop on Distributed Crypto Currencies and Consensus Ledgers, 2016.

(收稿日期:2020-04-14)

#### 作者简介:

段冉阳(1994-),男,硕士研究生,主要研究方向:区块链技术。

周文辉(1973-),男,硕士研究生,高级工程师,主要研究方向:信息安全技术。

魏晓(1990-),男,硕士研究生,助理工程师,主要研究方向:计算机技术。

(上接第54页)

#### 参考文献

- [1] 楼平,岳灵平,李龙.新型激光除异物技术在特高压输电线路的应用[J].浙江电力,2018,37(6):6-9.
- [2] 隆晨海,杨森,何龙飞,等.带电处理异物新方法研究及工器具研制[J].电气时代,2016(10):63-67.
- [3] 刘明亮,杨厚峰.导线易漂浮物清除工具的研制与应用[J].自动化博览,2011(S2):185-187.
- [4] 雷冬云,白剑锋,温智慧,等.基于无人机的10 kV 架空配电线路漂浮异物清除装置设计[J].湖南电力,2020,40(5):78-81,86.
- [5] 严伟佳,徐欣,席晓强,等.无人机高压输电线路异物清除装置[J].电力安全技术,2017,19(8):61-63.
- [6] 马永增,齐以涛.新型输电线路接地线除障装置研制与应用[J].浙江电力,2018,37(6):10-13.
- [7] 吴志成,高领军,李向军,等.便携式输电线路异物清除装置的研制[J].科技资讯,2017,15(10):114,116.
- [8] 曹燕军.输电线路异物清除机器人机构设计与分析[D].沈阳:沈阳理工大学,2015.
- [9] 梁伟,陈杰,刘洋,等.清除架空线路异物的新型装置及其试验研究[J].中国电机(技术版),2015(9):57-59.
- [10] 梁伟,陈杰,周志成,等.电网异物激光清除器对导线的

安全性研究[J].工业安全与环保,2017,43(8):26-30.

- [11] 周维维,樊卫华,姜姍.激光异物清除器装置研究[J].计算机测量与控制,2018,26(7):123-127.
- [12] 李华,王雅斌,孙闻浩,等.用于小型化激光异物清除装置的激光聚焦系统设计与应用[J].自动化应用,2018(12):7-9.
- [13] 陈杰,梁伟,张志坚,等.架空线路异物激光清除技术研究[J].激光技术,2017,41(5):659-663.
- [14] 李晨,蒋林,刘思平.基于 STM32 与 Lwip 协议栈的高效通信技术[J].电子技术与软件工程,2019(19):27-28.
- [15] Raspberry Pi(Trading) Ltd. Compute module 3+datasheet[EB/OL]. (2019-01-28)[2020-06-01]. [https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/computemodule/datasheets/rpi\\_DATA\\_CM3plus\\_1p0.pdf](https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/computemodule/datasheets/rpi_DATA_CM3plus_1p0.pdf).

(收稿日期:2020-06-01)

#### 作者简介:

杨波(1984-),男,博士,高级工程师,主要研究方向:自动化控制、射频通信、嵌入式系统。

刘传利(1985-),男,本科,高级工程师,主要研究方向:无线通信技术与标准研究、无线通信产品测试、测试系统设计与开发。

吴英迪(1993-),男,本科,助理工程师,主要研究方向:通信系统、物联网技术。

## 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