

基于 Linux 的电力网关的设计与实现

李 强¹, 王 星¹, 张 帅²

(1. 西安理工大学 自动化与信息工程学院, 陕西 西安 710048;

2. 西安大易电子科技有限公司, 陕西 西安 710100)

摘要: 随着智能电网建设的持续发展, 智能用电领域也不断发展。针对电力行业用户端的需求, 设计了一种基于 Linux 操作系统的电力网关。该网关采用 AM335x 作为处理器, 运用嵌入式编程实现网关相关功能, 将智能电网用户端电力设备的 Modbus 协议转换成 MQTT 协议, 再通过 4G 模块将数据传输至云平台。经测试, 该电力网关运行稳定高效, 实现了传统有线网络和无线网络的数据交互以及远程控制, 满足了电力行业用户端的业务需求, 同时为后期电力数据分析的数据来源提供了便捷途径。

关键词: 电力网关; Modbus; MQTT; 智能电网

中图分类号: TN91; TP391.44

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.200082

中文引用格式: 李强, 王星, 张帅. 基于 Linux 的电力网关的设计与实现[J]. 电子技术应用, 2020, 46(11): 70-73, 78.

英文引用格式: Li Qiang, Wang Xing, Zhang Shuai. Design and implementation of power gateway based on Linux[J]. Application of Electronic Technique, 2020, 46(11): 70-73, 78.

Design and implementation of power gateway based on Linux

Li Qiang¹, Wang Xing¹, Zhang Shuai²

(1. College of Automation and Information Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China;

2. Xi'an Dayi Electronic Technology Co., Ltd., Xi'an 710100, China)

Abstract: With the continuous development of smart grid construction, the field of smart electricity is also developing. In this paper, a power gateway based on Linux operating system is designed according to the demand of power distribution terminal. AM335x is used as the processor, and the embedded programming is used to realize the related function of the gateway. Modbus protocol is converted into MQTT Protocol, and then the data is transferred to the cloud platform through 4G module. After testing, the power gateway runs stably and efficiently, realizes the data exchange and remote control between the traditional wired network and the wireless network, and meets the business demand of the power distribution terminal. At the same time, it provides a convenient way for the data source of the later power data analysis.

Key words: power gateway; Modbus; MQTT; smart grid

0 引言

随着通信技术和智能控制技术在电力行业的广泛应用, 电气设备的种类也急剧增加。在万物互联的智能社会, “泛在电力物联网”的概念孕育而生^[1]。在这种驱动力下, 实现各个电气设备的组网, 显得具有前瞻性。本文设计的电力网关作为连接感知网络与传统网络的一个桥梁, 扮演着将电力设备采集的数据上传到云端的一个角色, 同时完成着电力系统中对终端设备节点的监控功能。

本文内容包括了电力网关的系统框架、硬件结构、软件协议设计、实验测试和总结五部分, 详细地介绍了电力网关主要硬件电路的设计, 着重介绍了基于 Linux 操作系统的 Modbus 协议与 MQTT 协议之间的转换的实现, 最终实现电力网关与电力设备的串口通信以及与上

层云平台的通信。

1 系统框架及功能设计概述

嵌入式电力网关的系统可以划分为三层:(1)第一层是感知接口层, 实现电力网关与电力设备的通信, 电力通信系统中终端设备节点一般包括电度表、三相不平衡治理装置、电能质量监测仪等检测装置, 此处采用 RS485 接口;(2)第二层是协议转换层, 主要是完成感知接口层数据包的解析, 与相关简单数据处理, 然后将数据打包成云平台可识别的数据包;(3)第三层平台通信层, 采用无线远距 4G 通信技术, 实现与云平台进行网络连接与数据的传输^[2]。通过这 3 个层次实现各个电力终端设备与上层云平台的数据交流。

2 硬件设计

电力网关硬件装置分为两层, 底层是电力设备接口

《电子技术应用》2020年 第46卷 第11期

测控技术与仪器仪表

Measurement Control Technology and Instruments

模块以及电源模块,上层主要是CPU控制模块以及有线和无线通信模块。模块有与电力设备连接的CAN总线收发器、RS485接口模块、与云平台通信的4G模块、实现网关配置的以太网和WiFi模块等,同时记录网关日志的存储器和升级服务的USB模块。本节对主要硬件设计进行介绍。网关硬件平台如图1所示。

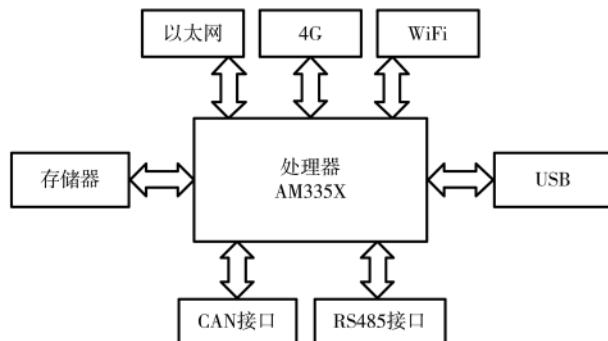


图1 网关硬件结构图

2.1 处理器 AM335x

嵌入式电力网关的处理器采用的是AM335x,作为整个系统的CPU,负责对外围电路模块的控制、相关功能的实现以及数据的处理。AM335X采用了ARM Cortex-A8内核,内部资源丰富,已经应用到了很多的嵌入式设备中。

2.2 电力设备接口电路

针对于大多数的电气检测设备来说,它们都具有RS485接口。RS485作为一个差分数字接口,具有通信速度高、传输距离远、抗干扰能力强的特点^[3]。因此,在电力设备

中广泛使用。RS485接口电路如图2所示,本次电路采用的是自动切换电路,即通过使用NPN三极管的通和断,可以巧妙地控制芯片的收发使能。在与处理器之间加上光耦隔离器件,保证了电路信息传递的稳定性。

2.3 远距离4G通信电路

作为远距离无线通信的4G技术,具有传输速率高、宽带传输高、即时通信等优势,让其在智慧城市的建设中发挥着越来越重要的作用,也是电力网关中采用4G技术的主要原因。本次电力网关采用芯讯通公司的SIM7100通信模块,其整体包括了四部分电路。

图3所示为4G模块的开机和关机电路,该电路按照4G模块手册说明书上的时序拉低PWERKEY引脚,实现了模块的开关机。

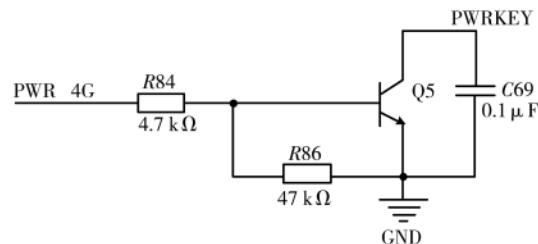
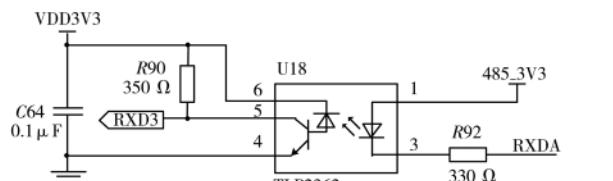


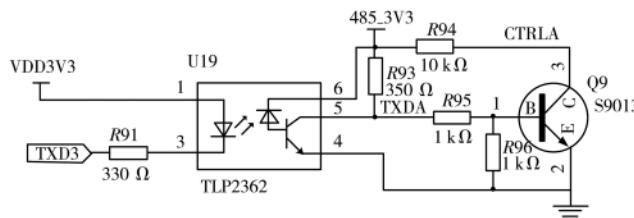
图3 4G模块的开机和关机电路

图4为物联网卡的接口电路,主要放置物联网卡,满足电力网关的联网需求,其相关电路最好靠近SIM7100的17~20引脚。

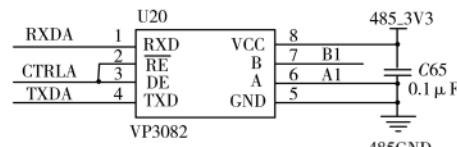
4G模块提供了串口和USB接口。考虑到后期的视频传输以及数据量逐渐增多,所以采用USB接口,并且只能作为从设备使用,AM335x的USB作为主设备。



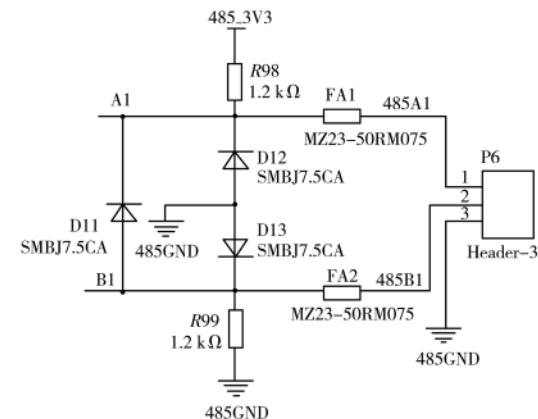
(a)RXD 电路图



(c)TXD 电路图



(b)VP3082 芯片电路图



(d)RS485 输出电路

图2 RS485 自动切换电路

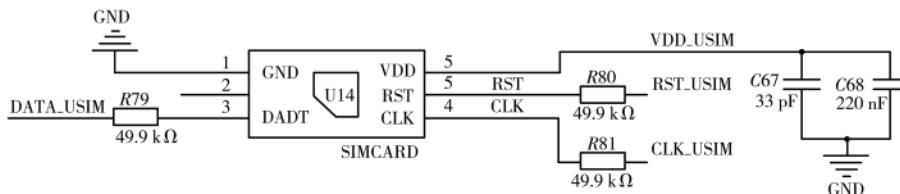


图 4 物联网卡接口电路

网络状态指示电路如图 5 所示, 通过 NETLIGHT 引脚驱动 LED 灯来展示模块的工作状况。

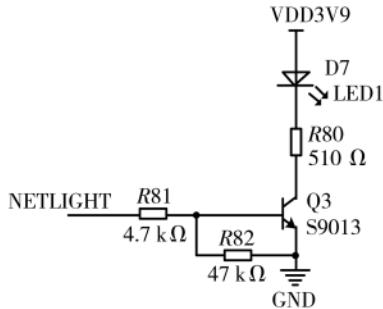


图 5 网络状态指示电路

3 软件设计

嵌入式电力网关的整个系统以硬件平台为基础, 在嵌入式 Linux 操作系统上, 通过将无线通信模块接口驱动和串口驱动的移植, 编写上层应用程序, 实现了电力网关的具体功能。

3.1 相关协议的转换设计

电力网关的主要协议包括电力设备感知层到电力网关的下层传输协议和电力网关到服务器端的上层传输协议。通过对底层电力设备和上层云服务器的研究, 选取了绝大多数底层电力设备应用的 Modbus 协议和各大云平台采用的 MQTT 协议。本小节将对 Modbus 协议和 MQTT 协议进行介绍。

3.1.1 Modbus 协议

自 1979 年来, Modbus 已经成为工业领域通信协议的业界常用的协议, 通过 Modbus 完成大对数设备之间的通信^[4]。作为一个主从架构的协议, 它有且只有一个主节点。每一个从设备都有一个唯一的地址。在工业现场中, 绝大部分 Modbus 设备都是采用 Modbus RTU 协议, 因此电力网关也采用 Modbus RTU 模式。一个 Modbus 通信的通用数据帧包括了设备地址、功能码、起始地址、数据、校验位五部分^[2]。

如图 6 所示, 电力网关作为 Modbus 主设备, 底层电力设备为从设备。电力网关通过将需要通信的电力设备的地址放入 Modbus 包中。与设备地址一样的电力设备通过数据地址来查询所需电气设备对应寄存器的内容, 获得相应的数据。电力设备做应答时, 将其地址放入应答帧中, 使电力网关知道是其作出的响应。

3.1.2 MQTT 协议

物联网通信协议需要能更好地兼容物联网设备计算性能强弱不一的特点, 即系统资源占用越小越好^[5]。而 MQTT 就具备这样的优势, 也因此, 大多数云平台采用的协议是

MQTT 协议。

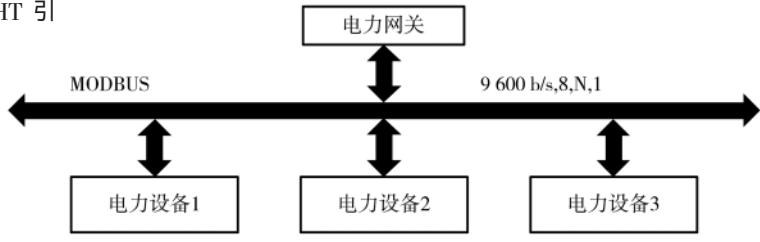


图 6 电力网关的底层通信示意图

MQTT 是一个由 IBM 公司开发的基于发布/订阅模型的消息协议^[6]。MQTT 协议的实现需要创建客户端和服务器。MQTT 协议结构如图 7 所示, 中间为服务器, 充当一个消息代理的角色^[7]; 两边是客户端, 作为发布者和订阅者, 具有发布和订阅的功能。



图 7 MQTT 协议结构图

电力网关作为一个客户端, 作为发布者时, 将带有主题的消息发布到作为服务器的云平台中进行展示; 作为订阅者时, 云平台将它所订阅相同主题的消息发给它。

MQTT 协议是基于 TCP/IP 之上的应用协议, 在网络连接后, 则需要将 MQTT 客户端连接到代理服务器上, 即向代理服务器发送 CONNECT 消息报文, 消息报文包含了客户端唯一标识、用户名、密码、主题和消息等。当验证成功后, 服务器发送 CONNACK 报文作为对 CONNECT 报文的响应, 然后再实现客户端的发布与订阅功能。

3.2 应用程序的设计

3.2.1 串口接收数据程序

在 Linux 操作系统中, 串口设备也是一种文件, 因此与操作文件一样, 利用文件接口函数, 实现数据从底层电气设备到电力网关中。在硬件电路设计中, 采用的是自动切换电路, 因此无需在软件上进行收发使能。串口的设备名称为 “/dev/ttySn”, 用 open() 函数获得该设备的句柄, 然后再配置和读写, 数据处理完后关闭串口, 这里是循环读取串口。串口有阻塞和非阻塞模式, 阻塞是串口输入缓冲区没有数据时, read 函数将会阻塞在这里, 直到读到所需的字节数才返回; 而非阻塞是当串口的输入缓冲区无数据时, read 函数立即返回 0^[8]。因为电力设备不止一个, 所以采用非阻塞模式。由于需要传输的相关

测控技术与仪器仪表

Measurement Control Technology and Instruments

数据变化不是很大,因此采取每100 s读取一次。图8所示为串口收发数据流程图。

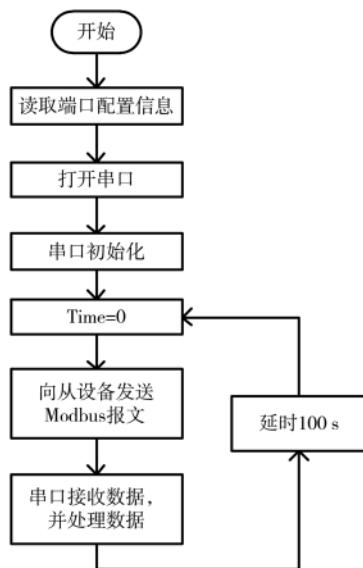


图8 串口收发数据流程图

3.2.2 远程无线网络的搭建

4G模块使用SIMTECH公司的SIM7100C。向Linux内核添加4G模块的驱动和PPP拨号驱动,此时可以识别到4G模块,并虚拟出6个ttyUSB,其中ttyUSB2是AT指令口,ttyUSB3为拨号模式口。然后编写AT指令拨号脚本,同时该脚本设置为开机自启,实现上网功能。

对于4G模块与云平台的网络连接,可以通过创建socket关键字、发送MQTT报文来实现网络间的通信。对本次设计的MQTT客户端而言,需要采用两个线程实现发布和订阅功能。MQTT客户端则为异步模式,通过调用MQTTClient_setCallbacks()函数获得状态通知和消息接收,达到异步。

3.2.3 接收与发送数据间通信的设计

在程序设计中,从RS485接口上对电力设备的数据的解析和将数据通过4G模块发送到云平台是两个不同的应用程序,要将两个独立的进程进行通信,在Linux操作系统中则需要使用到共享内存。共享内存可以被多个进程共享,并且可以被多个进程操作。在Linux系统中,共享内存相比其他通信方式,没有复制操作,直接操作内存,极大地提升了效率。但同时需要同步机制来保证对于共享内存的读写不会同时发生,避免发生冲突。流程如图9所示。

4 实验分析

依据本文所叙述的思路制作网关硬件平台。利用Modbus Slave软件,将PC作为Modbus从设备,替代底层电力设备。参考某单项智能电表的说明书的参量地址表。选取电压有效值、电流有效值、有功功率、无功功率、视在功率、功率因数6个参数。从设备ID为1,数据地址从40001~40006,功能码为03。图10所示为Modbus

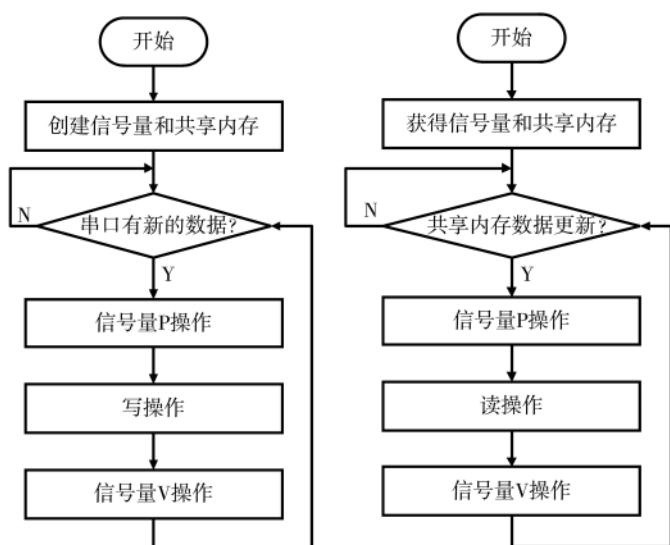


图9 通信机制流程图

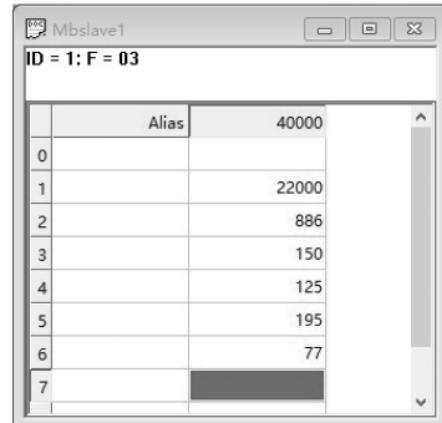


图10 PC 模拟底层设备

Slave软件上的数据。

网关解析Modbus报文后,依次将6个值进行计算,并转换成JSON格式,再将其打包成MQTT协议包,利用4G网络发送到阿里云平台显示。

5 结论

本文介绍了针对智能电网用户端电力网关的设计,完成了电力网关硬件装置的设计和制作,实现了Modbus协议和MQTT协议的转换,以及数据的传输。电力网关采用AM335x处理器,搭载Linux操作系统,提高了系统的稳定性和处理任务的能力。相比于传统通信技术,4G通信技术很好地提高了数据传输速度和增加了传输距离,在“泛在电力物联网”方面具有研究价值,也在实际应用中具有一定的使用价值。从现场运行情况看,网关满足了电力设备和云平台数据传输要求。

参考文献

[1] 杨挺,翟峰,赵英杰,等.泛在电力物联网释义与研究展

(下转第78页)

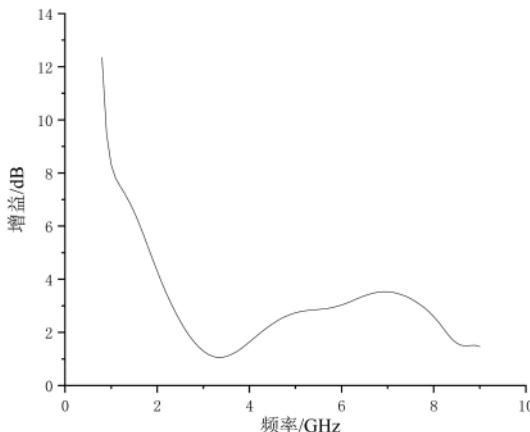


图 14 天线的峰值增益图

表 2 天线的重要参数对比

天线尺寸/mm ²	频带/GHz	-10 dB 相对带宽/%
文献[14]	较大	2.45~3.80
文献[15]	50×50	2.64~6.96
本文天线	36×28	1.10~7.76

了带宽的大幅增加，并且具有全向辐射特性，未来可以适用于各种宽频带通信系统中。

参考文献

- [1] 裴蕾, 葛文萍, 热依汗·白克图尔, 等. 一种双陷波超宽带微带天线[J]. 电子技术应用, 2019, 45(4): 48~51.
- [2] 张子夜. 微带天线辐射与散射特性研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2018.
- [3] TARGONSKI S D, WATERHOUSE R B, POZAR D M. Design of wide-band aperture-stacked patch microstrip antennas[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1998, 46(9): 1245.
- [4] ABDELAZIZ A A. Bandwidth enhancement of microstrip antenna[J]. Progress in Electromagnetics Research, 2006, 63:

(上接第 73 页)

- 望[J]. 电力系统自动化, 2019, 43(13): 9~20, 53.
- [2] 陈文艺, 张杨旭, 杨辉. 一种通用 MODBUS 物联网网关设计与实现[J]. 西安邮电大学学报, 2019, 24(3): 97~105.
- [3] 田拥军, 赵光强, 曾健平. 基于 RS485 总线技术的 PC 机与单片机多机通讯设计[J]. 湖南工程学院学报(自然科学版), 2007(2): 19~23.
- [4] 陈虎, 陈倩. 基于 FPGA 的 MEWTOCOL-COM 与 MODBUS RTU 协议快速转换的设计与实现[J]. 电子技术应用, 2019, 45(11): 112~116.
- [5] 徐侃, 丁强. 一种基于 MQTT 协议的物联网通信网关[J]. 仪表技术, 2019(1): 1~4, 43.
- [6] 顾亚文. 基于 MQTT 协议的通用智能家居系统设计与实

311.

- [5] 袁子东, 高军, 曹祥玉, 等. 一种超宽带低雷达散射截面印刷天线[J]. 电子与信息学报, 2013, 35(8): 2013~2018.
- [6] ABDENNOUR B T, MOURAD N, YOUSSEF B C. Design of compact UWB coplanar waveguide-fed modified Sierpinski carpet fractal antenna[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2019, 46(9): 1091~1092.
- [7] 唐震, 汪立新, 汤天宇. 类 Minkowski 分形天线的分析与设计[J]. 电子技术应用, 2019, 45(7): 77~80.
- [8] 陈夏寅, 彭菊红, 王旭光, 等. 北斗 S 波段分形微带阵列天线的设计[J]. 无线电通信技术, 2018, 44(6): 618~622.
- [9] 张祖存, 吴素云. 一种新型大频差多频带分形天线研究[J]. 微波学报, 2014, 33(1): 24~28.

- [10] 胡银平. 具有陷波特性的分形超宽带微带天线的研究与设计[D]. 重庆: 重庆邮电大学, 2017.
- [11] 李明洋, 刘敏. HFSS 天线设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2014.
- [12] 张昕, 黎雅辉, 李文兴, 等. 一种基于分型结构的 UWB 天线的设计[J]. 应用技术, 2009, 36(5): 16~19.
- [13] 胡章芳, 辛伟, 罗元, 等. 一种新型类 Vicsek 分形多频天线的设计[J]. 电波科学学报, 2016, 31(4): 760~765.
- [14] 郭锐, 陈星. 基于二叉树的宽带微带天线[J]. 四川大学学报(自然科学版), 2009, 46(5): 1329~1332.
- [15] AGRAWAL S, GUPTA R D, BEHERA S K. A hexagonal shaped fractal antenna for UWB application[C]. International Conference on Communications, Devices and Intelligent Systems. IEEE, 2013: 535~538.

(收稿日期: 2020-04-18)

作者简介:

张广海(1994-), 男, 硕士, 主要研究方向: 无线通信系统。
汪立新(1966-), 男, 本科, 教授, 主要研究方向: 无线通信系统。

陈茂洋(1994-), 男, 硕士, 主要研究方向: 无线通信系统。

现[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2014.

- [7] 朱明辉, 赵信广, 尤星懿. 基于 FreeRTOS 和 MQTT 的海洋监测网络框架[J]. 电子技术应用, 2018, 44(1): 41~44.
- [8] 胡晓中. 工业无线监控终端的研究与开发[D]. 长沙: 中南大学, 2011.

(收稿日期: 2020-02-11)

作者简介:

李强(1964-), 男, 副教授, 主要研究方向: 电力自动化、计算机控制技术。
王星(1993-), 通信作者, 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 用电行为分析、嵌入式检测装置开发, E-mail: energywx@163.com。

张帅(1989-), 男, 工程师, 主要研究方向: 电力行业检测装置。

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