

基于 NB-IoT 技术的智能 LED 灯杆监控系统的研制

金 妍^{1,2}, 茅敏敏¹, 徐丘雨¹, 欧阳玉玲³, 居家奇¹

1. 上海应用技术大学 理学院, 上海 201418

2. 中国科学院上海微系统与信息技术研究所 无线传感网与通信重点实验室, 上海 200050

3. 中国科学院上海高等研究院 信息通信测试实验室, 上海 201210

摘 要: 针对传统 LED 灯杆在远程监控、自动巡检、实时单灯调控、故障定位处理等方面存在的问题, 本文提出基于窄带物联网 (narrow band internet of things, NB-IoT) 技术的智能 LED 灯杆监控系统的研制方案, 采用 STM32L151 单片机作为主控芯片, 控制多种传感器采集路灯信息, 通过 NB-IoT 模块与核心网的连接, 将采集到的路灯信息上传至 OneNET 云平台, 并开发移动端应用程序 (application, APP) 和个人计算机 (personal computer, PC) 端监测界面以实现路灯故障信息的实时获取。实验结果显示: 所研制的系统可以实时监测、控制路灯, 快速、准确地确定故障路灯位置, 实现单灯控制。

关键词: 窄带物联网; 智能灯杆; 实时监测; 单灯控制

中图分类号: TP391

文章编号: 0255-8297(2021)02-0241-09

Development of NB-IoT Based Intelligent LED Light Pole Monitoring System

JIN Yan^{1,2}, MAO Minmin¹, XU Qiuyu¹, OUYANG Yuling³, JU Jiaqi¹

1. College of Sciences, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418, China

2. Key Laboratory of Wireless Sensor Network & Communication,
Shanghai Institute of Microsystem and Information Technology,
Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200050, China

3. Information and Communication Testing Laboratory, Shanghai Advanced
Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201210, China

Abstract: In order to solve the problems of traditional LED light pole in remote controlling, automatic inspection, real-time single light regulation and control, and fault location recognition, an intelligent LED light pole monitoring system based on narrow band internet of things (NB-IoT) is proposed in this paper. In the system, STM32L151 micro controller unit (MCU) is adopted as the processor, together with multiple sensors to realize signal acquisition of street lamp. Through the connection between NB-IoT modules and core

收稿日期: 2020-03-17

基金项目: 上海市 2018 年度“晨光计划”项目 (No.18CG67); 上海市联盟计划项目 (No.LM201836); 中国科学院上海微系统与信息技术研究所无线传感网与通信重点实验室开放课题 (No.20190915) 资助

通信作者: 居家奇, 博士, 讲师, 研究方向为光电照明。E-mail: jujiaqi@sit.edu.cn

network, signals are collected and uploaded to OneNET cloud platform. And with a developed mobile application (APP) and a personal computer (PC) monitoring interface, fault location information of street lamps can be obtained in real time. Experimental results show that the developed system can not only achieve real time monitoring and control of street lights, accurate positioning of faulty street lights, but also realize the individual control of street lights.

Keywords: narrow band internet of things (NB-IoT), intelligent light pole, real-time monitoring, single light control

照明灯杆在城市建设中的分布最为广泛,传统的道路照明监控系统存在诸多弊端:1)能源浪费,传统的路灯监控系统无法依据车流量、天气变化实时调节路灯亮度,从而会导致电力资源的浪费;2)定位不准确,不能准确定位故障路灯的位置并上报信息,维修不便;3)状态监测困难,当前照明灯杆普遍采用PC机来监测路灯的状态参数,效率低且不能实时、准确、全面地监控路灯运行状况,同时较难实现对以往数据的查询功能^[1-2];4)自动化程度低,传统的路灯控制方式均为手动控制、时序控制、光敏控制^[3],虽满足基础照明需求,但不符合智慧城市建设的要求。

目前主流的路灯控制系统通信方式包括电子载波通信(power line carrier, PLC)^[4]、ZigBee通信^[5]、LoRa通信^[6]等。PLC通信为有线通信,安装和维护成本较高、易受电线老化等因素干扰、信号稳定性差,不适合大规模应用^[7];ZigBee通信技术为无线通信技术,具有高性能、低成本的特点,但其传输时需自行组网、传输距离短、穿透能力差、功耗相对较高,不适用于户外通信系统^[8];LoRa通信技术覆盖范围广、传输距离远,但无线稳定性差、延迟高、容易受无线电波干扰、可靠性不高^[9]。近年来,窄带物联网(narrow band internet of things, NB-IoT)技术因其强链接、全覆盖、低功耗、低成本的四大优势^[10],在低功耗广域网络(low power wide area, LPWA)技术中迅速发展,其应用领域越来越广泛,如消费设备开发^[11]、农业技术研究^[12]、环境监测^[13]、公用事业^[14]、工业互联网^[15]等。其中,基于物联网技术的智能灯杆的建设得到了广泛关注。研究表明,相较于普通路灯,LED路灯的功耗可以减少50%,单灯控制的额外功耗可以减少10%^[16]。

针对上述问题,本文研制了一种抗干扰能力更强、功耗更低、可靠性更高的基于NB-IoT技术的智能LED灯杆监控系统。该系统可以实现系统内每一盏路灯的单独监控,并及时发现、定位到故障路灯的位置信息,节约运营成本、提高经济效益,同时实现了用户移动端APP的开发,使管理更加便捷、智能。

1 系统总体设计

基于NB-IoT技术的智能LED灯杆监控系统总体架构如图1所示,包括感知层、网络层和应用层。

感知层由安装在路灯灯杆上的多种传感器模块和NB-IoT无线通信终端构成,可实现路灯开关的控制、路灯灯杆设备参数的采集和路灯状态的监控。

网络层包括传输层和平台层^[17],传输层采用NB-IoT广域通信技术连接多种传感设备与互联网,可实现人、机、物的互联互通^[18]。通过NB-IoT通信终端将传感器采集的数据上传到NB-IoT基站,授权无线频谱资源及电信级端到端的安全技术,以保障数据安全和接入安全^[19]。平台层使用OneNET云平台,拥有丰富的协议适配能力、统一的规约和接口,支持海量多样化终端设备的接入,可实现不同类型的终端设备及不同应用平台的统一接入和管理,确保互联互通^[20]。

应用层即为客户端, 可以通过移动端 APP 和 PC 端监测界面实时监控路灯状况。

本系统运用 NB-IoT 技术实现路灯终端和监控中心的连接, 通过 NB-IoT 通信模块对系统内每一盏路灯进行信号的接收及转换, 并将数据传送至云服务器。这一过程不仅能实现对温度、湿度、照度的实时监控, 也能探测路灯的情况; 同时, 采用定时器唤醒使系统不工作时休眠, 从而实现节能的目的。

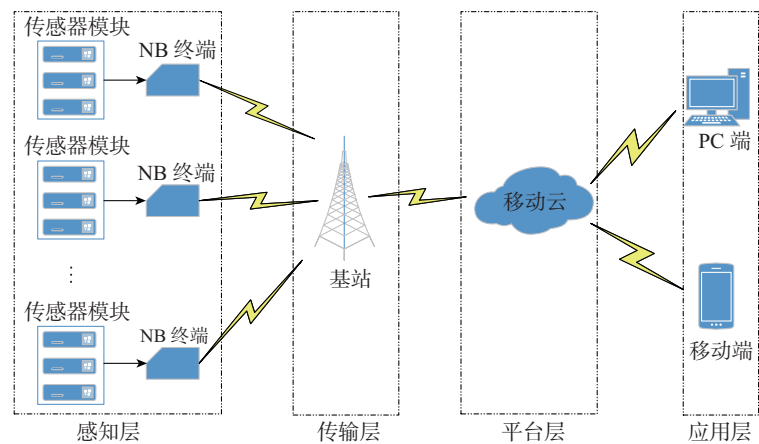


图 1 智能 LED 灯杆监控系统架构图

Figure 1 Architecture diagram of intelligent LED light pole monitoring system

2 路灯监控终端设计

2.1 终端硬件设计

终端设备选用低功率的 STM32L151 RCT6 微控制器, 片上集成多种通信接口、串行外围设备接口 (serial peripheral interface, SPI)、通用同步/异步串行接收/发送器 (universal synchronous asynchronous receiver transmitter, USART) 接口等, 便于与无线传输驱动器连接^[21]。单片机的实时时钟 (real-time clock, RTC) 功能可以实现定时唤醒使单片机不工作时休眠, 此时时钟频率最低, 电流一般小于 1 μ A^[22]。

终端监控模块由 DHT11 温湿度传感器、BH1750 光照传感器、故障检测模块、主控芯片 STM32L151、NB-IoT 通信模组和电源模块组成, 硬件设计如图 2 所示。考虑对电源安全性、可靠性、稳定性的要求, 选择 USB 模式给系统供电。

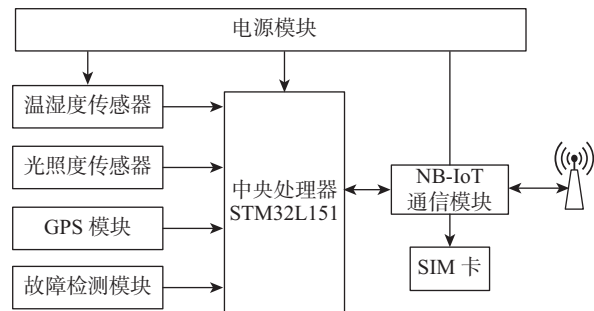


图 2 智能 LED 灯杆监控系统终端硬件设计图

Figure 2 Terminal hardware design diagram of intelligent LED light pole monitoring system

2.2 NB 模块的选择与设计

主要通信模块选用集定位功能和 NB 通信功能于一体的 BC20, 内置低功耗、高性能的 UFirebird 卫星定位芯片, 可以支持 GPS (global position system)、北斗等多种卫星定位系统的算法, 在恶劣的环境下仍能快速、准确地定位路灯位置, 同时内置低噪声放大器 (low noise amplifier, LNA), 可提高数据接收和上发的灵敏度, 抗干扰能力更强。

对 NB 模块进行设计时, 停用其网络灯以降低模块的功耗。同时加入电平转换芯片 TXB0104, 将模块内部的输入参考电平 1.8 V 转化为 3.3 V, 再连接外部的单片机。通过丰富的外部接口添加卡座, 实现 UDP (user datagram protocol)、TCP (transmission control protocol)、CoAP (constrained application protocol)、HTTP (hyper text transfer protocol)、LWM2M (lightweight machine-to-machine)、MQTT (message queuing telemetry transport) 等多种协议通信; 支持全网通, 即可通过中国移动 OneNET、中国电信 IoT 平台、华为 OceanConnect 物联网云平台等多种平台进行开发。NB-IoT 模块通过 UDP 接收主控制器的数据并上传到云平台, 接收从云平台传出的控制命令并通过 UDP 下发给主控制器。

2.3 终端控制器的设计

路灯终端的控制器包括路灯驱动、路灯光照度调节及对路灯开关的控制。要实现这 3 种控制, 需要实时监测路灯的温度、湿度、光照度、电流、电压等, 从而控制路灯的状态。故障检测模块由运放 LM385 和电压比较电路组成^[23], 一旦路灯发生故障, 路灯的工作电流瞬间减小甚至为零, 然后通过电压比较电路将信息发送给处理器, 由处理器将采集到的信息通过 NB-IoT 模块传输到服务器并且发出报警信号, 通过继电器实现物联网平台对路灯负载的远程熄灭控制。其中, 继电器选用双稳态继电器 JE6, 终端状态转换后无需消耗电能维持继电器状态, 可避免噪声及磁场的影响。

3 系统软件设计

3.1 路灯监控终端软件设计

整个系统通电后, 首先进行初始化操作, 包括 STM32 单片机、NB-IoT 模块、温湿度传感器和光照传感器等外部设备的初始化; 其次, 打开定时器中断和串口中断, 实现传感器对路灯数据的定时采集, 并将数据发送至 NB-IoT 模块; 最后, 按照通信协议将数据上传至云平台。如果路灯发生故障, 云平台将发送控制命令, 对路灯进行远程控制。其中, 串口接收中断的作用是按照规定协议接收云平台通过 NB-IoT 模块发出的指令, 解析出控制命令并发送给主控制芯片, 终端设备主程序流程图如图 3(a) 所示。

3.2 通信协议的选择

BC20 通信模组可通过 TCP/UDP 协议将数据发送给阿里云、通过 HTTP 协议将数据发送给网页、通过 MQTT 协议将数据发送给阿里云物联网平台、通过 CoAP/LWM2M 协议将数据发送到电信云或华为云、以及通过其他协议 (MQTT/LWM2M 协议) 将数据发送至 OneNET 平台。本系统选择 OneNET 平台作为系统的开发平台, 通过 LWM2M 协议进行路灯终端与 OneNET 平台之间的数据传输, 通过 HTTP 协议将 OneNET 平台与客户端接入微信小程序进行数据和命令的相互传输, 此过程均遵循浏览器/服务器模式 (client/server, B/S) 架构, 与客户端/服务器 (client/server, C/S) 架构相比该架构移植性更强^[24]。

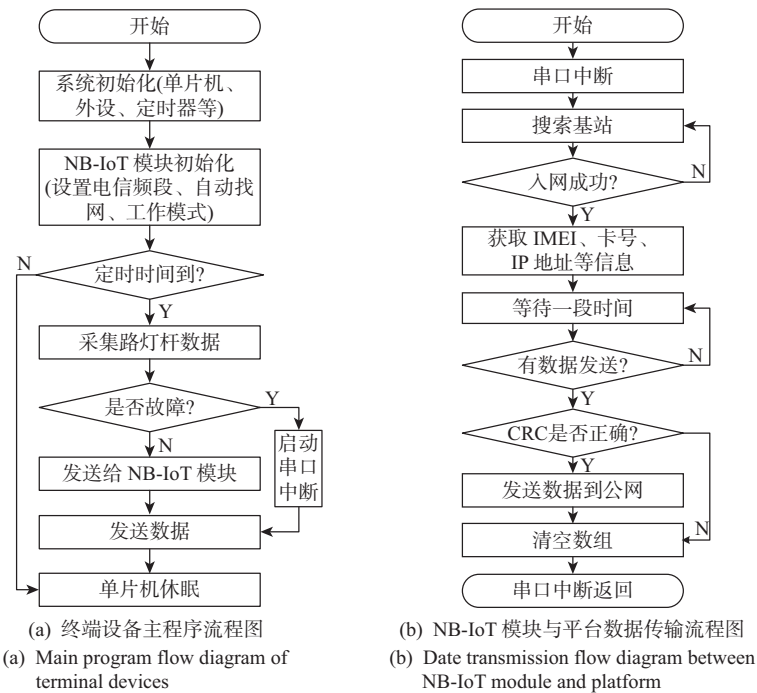


图 3 智能 LED 灯杆监控系统程序流程图

Figure 3 Program flow diagram of intelligent LED light pole monitoring system

3.3 数据传输流程

通过串口调试工具 QCOM 对路灯终端板子进行测试, 检测上行链路的路灯亮度、环境温度湿度、位置等数据是否发出, 并将数据进行编码。在“MCU+NB 通信模组”架构中, 将 SDK (software development kit) 移植到 NB 通信模组中, 并在其中插入 AT 指令封装, 通过调用 AT 相关指令, 检查 BC20 状态 (SIM 卡号、设备识别码、注册成功与否等相关信息), 同时通过 AT 指令的形式将数据发送给 NB 模组。通信模块只需检查 SIM 卡的状态、信号质量、注册状态, 主要运用的 AT 指令如下: AT+CIMI 可查询设备识别码 (international mobile equipment identity, IMEI); AT+CSQ 可查询网络信号质量; AT+CGSN=1 可获得 BC20 模块 SN 码等。

NB-IoT 模组接收到数据后用十六进制 HEX 格式组装数据成 LWM2M 协议的消息, 便于 OneNET 平台的传输与接收。登录 OneNET 平台并注册, 依据平台标准创建产品及设备, 获取项目 ID (identity document)、设备 ID、auth_info 等信息 (注意设备 ID 及 IMEI 要与 NB-IoT 模组保持一致), 步骤如图 4 所示。平台下发订阅/发现命令, 终端收到并且平台显示

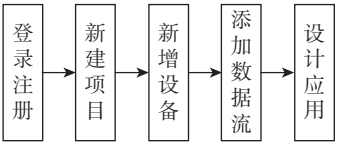


图 4 设备标准化接入平台步骤

Figure 4 Access diagram of standardized devices to platform

订阅成功,即 OneNET 平台与终端设备已连接成功,平台接收到数据后自动解析 LWM2M 协议包,找到匹配的 JSON 数据并存储在 OneNET 平台中便于查询。

在下行链路中,通过 HTTP 网络协议进行数据互联互通,可以通过 GET、PUT、POST、DELETE 这 4 种请求方法和响应机制对云端设备资源进行操作,通过交换信息来进行数据通信。数据发送格式为 1 位起始位、6 位数据位、1 位校验位,采用循环冗余校验校验(cyclic redundancy check, CRC),以二进制码进行数据传输,通信的目的地址为 47.105.44.99,目的地址端口号为 866971030936061。NB-IoT 模块与平台数据传输流程图如图 3(b) 所示。

4 结果分析

4.1 定位监测

目前常见的定位方法有美国 GPS 定位系统、中国北斗定位系统、俄罗斯 Glonass 定位系统、伽利略定位系统,以及传统的基站定位、信号场查询定位(基站辅助定位)、WIFI 定位等。在本文研制的路灯监控系统中,采用北斗+GPS 双模定位技术,同时支持北斗定位和 GPS 卫星定位,提高了定位的快速性和准确性,定位速度可达 0.1 m/s,定位精确度可达 5 m^[25]。定位界面如图 5 所示。



图 5 GPS 定位界面

Figure 5 GPS positioning interface

4.2 平台数据传输

将 GPS 定位传感器、温湿度传感器、光照传感器与单片机主板连接,USB 电源给系统供电,串口调试工具 QCOM 界面显示串口的打印输出,波特率设置为 115 200 bit/s。通过 NB-IoT 通信模组将开发板与 OneNET 平台连接,平台接收到通信模组的移动 SIM 卡的状态、信号质量、注册状态,从而实现数据互联互通。平台设置按键关联继电器状态,“ON”和“OFF”表示路灯的开关值,通过 0、1 值远程控制 LED 灯的开关,同时平台实时监测 LED 灯的光照度、环境温湿度,并远程控制灯的亮度。

平台可自行设置 LED 灯的开启时间段,如当天的 18:30 到次日 07:00,也可以根据当天的可见度自行调节 LED 灯的开启时间段以及灯的亮度值。平台能够实时监测 LED 灯的亮度值,若亮度值超过阈值,OneNET 平台或移动端 APP 将及时下发关闭命令,在保障照明要求的前提下,降低路灯的能耗,平台数据的收发如图 6 所示。

OneNET 平台收到终端发出的消息后,推送 topic (Qos0 级别)到相关的订阅设备,待平台显示订阅成功后,OneNET 平台与终端设备可以互联互通。通过 API 调用,并采用 HTTP 协议将微信小程序接入 OneNET 平台,从而实现 LED 设备状态的读取,以及设备开关的控

制, 移动端 APP 显示界面如图 7 所示。

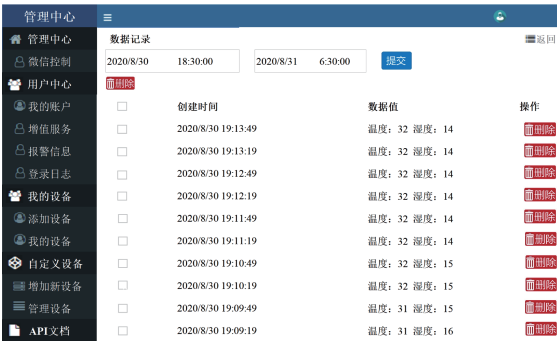


图 6 平台数据的收发界面

Figure 6 Transceiver interface of platform data

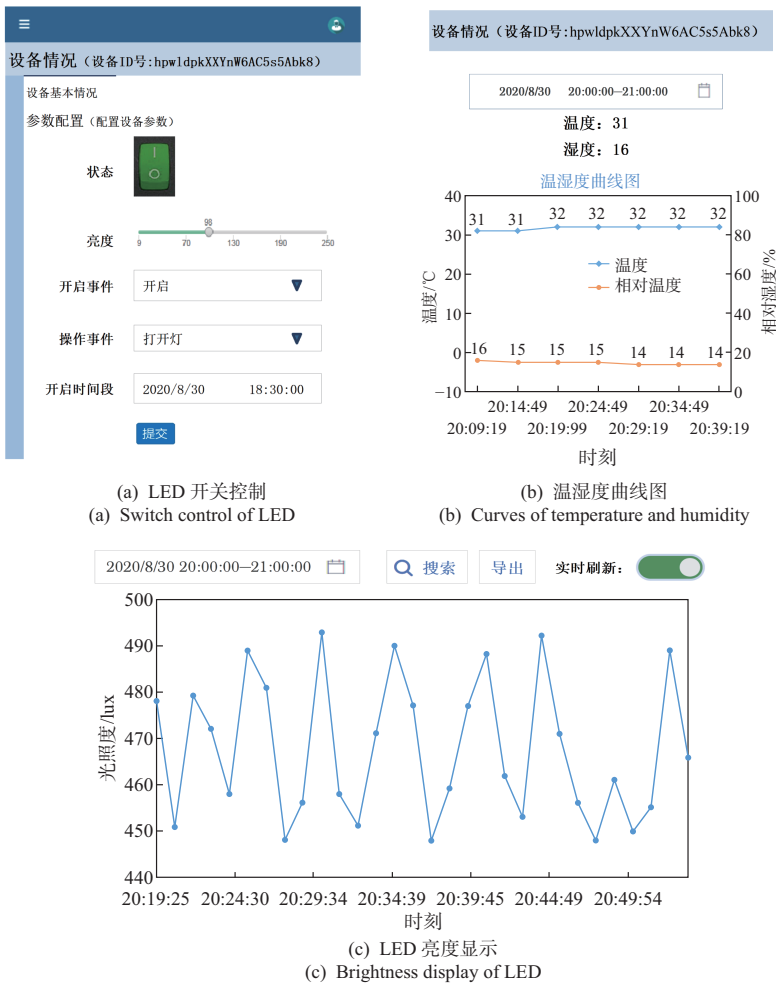


图 7 智能 LED 灯杆监控系统移动端 APP 实时显示界面

Figure 7 Mobile APP display interface of intelligent LED light pole monitoring system

5 结 语

本文研制了一种基于 NB-IoT 技术的智能灯杆监控系统,将 NB-IoT 技术应用于智慧城市的建设中,实现了路灯亮度、路灯所处环境的温度和湿度的实时监测。通过温度和湿度可预测路灯的使用寿命,由此优化并提高了灯具 IP 防水性能;同时,结合北斗和 GPS 定位技术,可准确、快速地确定故障路灯的位置,进而提高路灯维修效率。运用 LWM2M 协议将 OneNET 移动云平台与灯杆终端链接,实现了信号的采集、远距离传输、上报、存储,并通过 HTTP 协议将微信小程序接入移动云平台,最终实现移动端 APP 对路灯信号的实时监测及单灯控制。

参考文献:

- [1] ELEJOSTE P, PERALLOS A, CHERTUDI A, et al. Easily deployable streetlight intelligent control system based on wireless communication [C]//International Conference on Ubiquitous Computing & Ambient Intelligence. Springer-Verlag, 2012.
- [2] 吴超华, 李云飞, 严建峰. 基于 NB-IoT 的路灯控制系统设计 [J]. 现代电子技术, 2018, 41(24): 5-9.
WU C H, LI Y F, YAN J F. Design of streetlight control system based on NB-IoT [J]. Modern Electronics Technique, 2018, 41(24): 5-9. (in Chinese)
- [3] WU Y, SHI C, ZHANG X, et al. Design of new intelligent street light control system [C]//IEEE International Conference on Control and Automation (ICCA). IEEE, 2010: 1423-1427.
- [4] 王巍, 惠昭, 赵宝宜, 等. 基于 PLC 技术 LED 路灯控制系统设计 [J]. 照明工程学报, 2012, 23(4): 93-96.
WANG W, HUI Z, ZHAO B Y, et al. Design of LED street light control system based on PLC [J]. Journal of Illuminating Engineering, 2012, 23(4): 93-96. (in Chinese)
- [5] LEE J D, NAM K Y, JEONG S H, et al. Development of ZigBee based street light control system [C]//2006 IEEE PES Power Systems Conference and Exposition. IEEE, 2006: 2236-2240.
- [6] MUTHANNA M S A, MUTHANNA M M A, KHAKIMOV A, et al. Development of intelligent street lighting services model based on LoRa technology [C]//2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering. IEEE, 2018: 90-93.
- [7] 向敏, 王时贺, 赵星宇. 一种基于电力载波通信的路灯控制系统集中器的设计 [J]. 重庆邮电大学学报 (自然科学版), 2013, 25(2): 161-165.
XIANG M, WANG S H, ZHAO X Y. Design of concentrator for road lamp control system based on power-line communication [J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications (Natural Science Edition), 2013, 25(2): 161-165. (in Chinese)
- [8] WANG X, MA L, YANG H. Online water monitoring system based on ZigBee and GPRS [J]. Procedia Engineering, 2011, 15: 2680-2684.
- [9] SINHA R S, WEI Y, HWANG S H. A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT [J]. IoT Express, 2017, 3(1): 14-21.
- [10] WANG Y P E, LIN X, ADHIKARY A, et al. A primer on 3GPP narrowband Internet of things (NB-IoT) [J]. IEEE Communications Magazine, 2016, 55(3): 117-123.
- [11] OPPERMAN C A, HANCKE G P. Using NFC-enabled phones for remote data acquisition and digital control [C]//IEEE AFRICON. IEEE, 2011.
- [12] KUMAR A, HANCKE G P. A ZigBee-based animal health monitoring system [J]. IEEE Sensors Journal, 2015, 15(1): 610-617.
- [13] KUMAR A, HANCKE G P, PHALA K S. Air quality monitoring system based on ISO/IEC/IEEE 21451 standards [J]. IEEE Sensors Journal, 2016, 16(2): 5037-5045.
- [14] MUDUMBE M J, ABU-MAHFOUZ A M. Smart water meter system for user-centric consumption measurement [C]//2015 IEEE 13th International Conference on Industrial Informatics (INDIN). IEEE, 2015.
- [15] SILVA B, FISHER R M, KUMAR A, et al. Experimental link quality characterization of wireless sensor networks for underground monitoring [J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2015, 11(5): 1099-1110.

- [16] PAUL B, MIROSLAV P, PARTHA P P, et al. Making the Internet-of-things a reality: from smart models, sensing and actuation to energy-efficient architectures [C]//The Eleventh IEEE/ACM/IFIP International Conference. ACM, 2016.
- [17] 董玉荣, 聂云峰. 基于NB-IoT的智慧停车系统研究与设计[J]. 南昌航空大学学报(自然科学版), 2017, 31(3): 95-99.
DONG Y R, NIE Y F. Researches and designs on smart vehicles parking system based on NB-IoT [J]. Journal of Nanchang Hangkong University (Natural Sciences), 2017, 31(3): 95-99. (in Chinese)
- [18] 孙航. 基于物联网的智能路灯管理系统的设计与实现[D]. 沈阳: 沈阳师范大学, 2017: 5-6.
- [19] SHARIATMADARI H, RATASUK R, IRAJI S, et al. Machine-type communications: current status and future perspectives toward 5G systems [J]. IEEE Communications Magazine, 2015, 53(9): 10-17.
- [20] 阳波, 陈开仁, 李忠良. 基于NB-IoT的智慧路灯系统[J]. 物联网技术, 2017, 7(12): 91-93.
YANG B, CHEN K R, LI Z L. Intelligent street lamp system based on NB-IoT [J]. Internet of Things Technologies, 2017, 7(12): 91-93. (in Chinese)
- [21] ZHUANG J, SHEN G, YU J, et al. The design and implementation of intelligent microgrid monitoring system based on WEB [J]. Procedia Computer Science, 2017, 107(C): 4-8.
- [22] 马翔. 基于ZigBee无线网络的立体仓库自动化物流控制系统[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2016, 21(6): 67-72.
MA X. Research on intelligent logistics control system based on ZigBee wireless network [J]. Journal of Harbin University of Science and Technology, 2016, 21(6): 67-72. (in Chinese)
- [23] RUSSELL A. Lost-cost isolation amplifier suits industrial applications (national semiconductor's LM385 microcontroller) (product information) [J]. Electrical Design News, 2000, 45(3): 141-142.
- [24] 郭恺强, 肖晓朋, 刘冬生, 等. B/S和C/S软件体系结构选择[J]. 井冈山大学学报(自然科学版), 2009, 30(2): 49-51.
GUO K Q, XIAO X P, LIU D S, et al. Selection of B/S and C/S software architecture [J]. Journal of Jinggangshan University (Natural Sciences Edition), 2009, 30(2): 49-51. (in Chinese)
- [25] 党晓圆, 单庆晓, 肖昌炎, 等. 基于GPS与北斗双模授时的压控晶振校频系统的研究与设计[J]. 计算机测量与控制, 2009, 17(11): 2246-2248.
DANG X Y, SHAN Q X, XIAO C Y, et al. Research on voltage-controlled crystal oscillator calibration based on GPS & BD double time service [J]. Computer Measurement & Control, 2009, 17(11): 2246-2248. (in Chinese)

(编辑: 王 雪)