

# 基于 NB-IoT 的城市智慧路灯监控系统设计

成开元, 廉小亲, 周栋, 张晓力

(北京工商大学 计算机与信息工程学院 食品安全大数据技术北京市重点实验室, 北京 100048)

**摘要:**针对路灯系统不方便管理的问题,提出一种基于 NB-IoT 的城市智慧路灯监控系统方案,实现对城市路灯的控制精准化、监控智能化、故障检修便捷化。给出了系统由数据采集层、信息汇聚层、无线通信层和应用服务层组成的总体框架,阐述了路灯控制终端的硬件、软件设计思路,重点阐述了路灯控制终端与 IoT 云平台的接口协议。测试结果表明,系统可稳定运行且数据传输稳定性高,降低了传统路灯控制终端的成本和能耗,实现了客户端远程对城市路灯的监控与管理,具有很好的应用前景。

**关键词:**NB-IoT; 智慧路灯; 物联网; IoT 云平台

**中图分类号:**TP29    **文献标识码:**A    **文章编号:**1000-8829(2018)07-0019-04

**doi:**10.19708/j.ckjs.2018.07.005

## Design of Intelligent City Street Lamp Monitoring System Based on NB-IoT

CHENG Kai-yuan, LIAN Xiao-qin, ZHOU Dong, ZHANG Xiao-li

(School of Computer and Information Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of city street lamp system which is not convenient to manage, a smart street lamp control system based on NB-IoT is proposed, which realizes precise control of street lamps, intelligent monitoring, and convenient troubleshooting. The system consists of data acquisition layer, information gathering layer, wireless communication layer and application service layer. The design of hardware and software for street lamp terminal controller was expounded. The interface protocol between street lamp terminal and IoT cloud platform was elaborated. The test results show that the system can run stably and has higher data transmission stability, which reduces the cost and energy consumption of the traditional street lamp control terminal, and realizes the remote monitoring and visualized management of the city street lamps by the client. It has a good application prospect.

**Key words:** NB-IoT; smart street lamps; Internet of Things; IoT cloud platform

随着物联网技术的不断发展,“智慧路灯”是未来城市物联网的重要部分。路灯管理平台的建设,是智慧城市的一个重要组成部分,不仅能够实现城市及市政服务能力提升,也是智慧城市的一个重要入口,可促

收稿日期:2018-02-11

基金项目:北京高等学校教育教学改革项目(2015-ms146);北京工商大学研究生培养—研究生教育质量提升计划项目(19008001491);北京工商大学教务处教学研究与教改项目(10800101009)

作者简介:成开元(1994—),男,河北秦皇岛人,硕士,主要研究方向为物联网技术与应用;廉小亲(1967—),女,河南沁阳人,博士,教授,主要研究方向为计算机测控技术;周栋(1994—),男,江苏苏州人,硕士,主要研究方向为物联网技术与应用;张晓力(1960—),男,北京人,高级工程师,主要研究方向为计算机测控技术。

进“智慧城市”和“智慧城市”在城市照明业务方面的落地。传统路灯控制常采用 GPRS 或 ZigBee 通信技术,这两种方式传输时容易出现丢包现象,后期运营成本较高,而且 ZigBee 通信传输距离较短,不适合长距离传输<sup>[1]</sup>。对于照明系统而言,不间断高亮度照明会造成大量电能浪费,故障检修难度也比较大。故设计一种采用 NB-IoT 窄带物联网技术的城市智慧路灯监控系统,对路灯开闭进行分时段控制,可对路灯故障进行自动报警,并可在 Web 界面上精确定位故障路灯位置,使路灯管理更加便捷。

## 1 需求分析与系统总体方案设计

### 1.1 需求分析

以往在路灯管理上存在着很多问题,例如路灯开关、巡查、维护基本靠人力,重点地段晚上需要派人巡

视,以保证设备的齐备率;路灯发生故障时,检修人员无法确定路灯精确位置;管理人员对路灯无法进行分时段控制、无法监控路灯整体状态;路灯保持常亮状态效率低、不节能。针对以上问题,本文设计的智慧路灯监控系统拥有以下功能:

- ① 路灯节点可自定义时间控制策略。
- ② 路灯自定义控制方式:两侧路灯全亮、全关、隔杆高亮。
- ③ 路灯故障自动报警,精确定位,可从平台 Web 界面显示。
- ④ 平台可视化监控路灯信息,随时可调取任何一处路灯信息。
- ⑤ 路灯工作记录,历史查询。

## 1.2 NB-IoT 技术

传统物联网通信技术根据通信距离的长短分为两大类:第一类是如 GPRS、3G/4G 等长距离的通信方

式;另一类则是如 ZigBee、蓝牙、WiFi 等短距离通信方式,适用于智能家居、工业数据采集等局域网通信场合。长距离通信方式具有通信距离远、速率高等优势,但如 3G/4G 传输方式的功耗较大,流量成本比较高,不适合非实时通信的情景<sup>[2]</sup>;目前,短距离的通信方式具有低成本、低功耗等优势,但当应用到中长距离时就需要部署中继节点,因此导致网络拓扑复杂、稳定性差。

针对现有的通信传输技术中存在的传输距离与能耗之间的矛盾,近几年产生的低功耗广域网(Low Power Wide Area, LPWA)技术正好解决了这一矛盾问题。LPWA 技术是面向物联网中远距离和低功耗通信需求的通信技术,具有广覆盖、低功耗、低成本、大连接的特点。LPWA 阵营技术众多,如 NB-IoT、LTEeMTC、LoRa、SigFox 等,NB-IoT 是运营商主流技术选择。各技术参数对比如表 1 所示。

表 1 LPWA 物联网技术参数对比

参数	标准	波普	频段带/kHz	系统带/kHz	速率/kbit·s <sup>-1</sup>	功率/dB	设备能耗	模块成本
Sigfox	私有	非授权	100	100	DL:600, UL:100	14	低	\$9
LoRa	开放	非授权	7.5~500	7.5~500	180~37.5	14	中低	\$8
LTEeMTC	3GPP	授权	$1.4 \times 10^3$	$1.4 \times 10^3$	DL:800, UL:1000	23	中低	\$10
NB-IoT	3GPP	授权	180	180	DL:234.7, UL:204.8	23	低	\$5

## 1.3 系统总体方案设计

本设计智慧路灯监控系统是由数据采集层、通信层、应用服务层和用户层 4 层结构组成,总体架构如图 1 所示<sup>[3]</sup>。

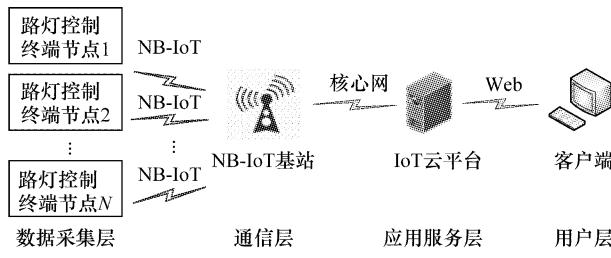


图 1 智慧路灯监控系统总体架构图

第一层为数据采集层,路灯控制终端节点将采集到的数据存储在控制器中,并利用 NB-IoT 模块将数据发送到电信 NB-IoT 基站;第二层为通信层,数据从数据采集层发送到基站,再由基站转发给 IoT 云平台;第三层为应用服务层,负责汇聚接入网得到的底层数据,并将数据存储在 IoT 云平台上,可随时进行调用;第四层为用户层,管理人员可以通过 Web 操作界面进行对路灯进行操作,可对故障路灯进行定位。本设计方案具有以下优势:

- ① 在对路灯的控制上,采用分时段的 4 种控制策略,可以实现分时间段控制道路两侧路灯全亮模式、自动调整模式、隔杆亮灯模式、深夜模式;在满足照度需

求的情况下,实现对电能的节省。

② 通信方式所采用的是中国电信的 NB-IoT 网络,拓扑简单、部署成本低,NB-IoT 采用 DRX 模式,实现终端的实时在线;这种通信方式更适合静止的和低移动性且需要下发指令的场景。

③ 利用 GIS/GPS 组合地理信息管理系统,可以在 Web 界面上直观定位每个路灯的位置,便于维修人员确定故障路灯地址、及时维修。

## 2 系统硬件设计

### 2.1 路灯控制终端节点硬件设计

路灯控制终端节点硬件设计如图 2 所示,主要由主控制器、故障检测模块、光强检测模块、GPS 模块、电源模块、NB-IoT 通信模块、输出控制模块组成<sup>[4]</sup>。

图 2 中主控制器选用 STM32F103C8T6 单片机作为微控制器,该型号单片机引脚数为 48,Flash 容量为 128 KB,封装类型为 LQFP,正常工作时温度范围为 -40~105 °C,最高工作频率为 70 MHz,可以完全满足路灯数据处理的基本要求。

故障检测模块选用运放 LM385 和电压比较电路组成,如果路灯发生故障,路灯工作电流极小甚至为零,经过电压比较电路后将给主控制器送入报警信号;光强检测模块利用光敏电阻来检测外界光照强度,并将信号通过 A/D 方式传入主控制器;GPS 模块根据卫

星对路灯进行定位,并将定位数据通过 UART(串口)传入主控制器,主控制器再通过另一个 UART 向 NB-IoT 通信模块发送数据,然后 NB-IoT 通信模块将数据传到 IoT 云平台。输出控制模块功能为根据程序设定输出电信号对路灯进行控制。电源模块采用 AC/DC 开关电源将 220 V 交流电转换为 5 V、12 V 直流电,并利用 AMS1117 芯片将电压降至 3.3 V,给系统各部分电路供电。

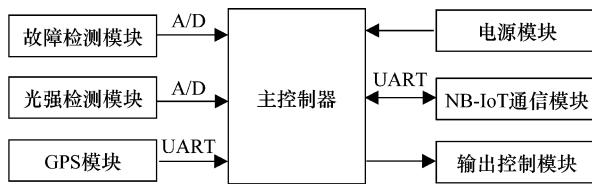


图 2 路灯控制终端节点硬件设计

## 2.2 NB-IoT 模块硬件设计

NB-IoT 无线通信模块是由 BC95 模组,以及 SIM 卡座、串口电路、滤波天线、复位电路组成,由电源模块供电。本模块将来自主控制器的路灯实时状态、GPS 信息以及故障状态通过 Internet 将数据发送给 IoT 云平台,并接收用户通过 Internet 发送来的控制命令。NB-IoT 无线通信模块设计框图如图 3 所示。



图 3 NB-IoT 无线通信模块设计框图

## 3 系统软件设计

智慧路灯监控系统软件设计主要包括路灯控制终端与 IoT 云平台的数据通信协议设计、路灯控制终端主控制器的软件设计、IoT 云平台以及客户端软件设计。由于文章篇幅原因,本文对客户端软件设计部分不做过多阐述。

### 3.1 数据通信协议设计

本系统制订了可靠的 IoT 云平台与路灯控制终端之间的 CoAP 通信协议,波特率为 9600 bit/s。CoAP 通信时需要先与 IoT 云平台 CDP 服务器建立连接,再进行数据传输,IoT 云平台最多可支持 20000 个终端同时连接<sup>[5]</sup>。云平台与路灯控制终端的通信协议的具体内容如表 2 所示。数据发送格式采用固定 1 位起始位,6 位数据位,1 位校验位,校验方式采用 CRC 校验,以提高数据的准确性。协议规定每一帧数据的帧头为 0xAAH,这种 0、1 交错的二进制码,可使传输稳定性增加;通信时目的地址为 0x00H,端口号为目的地址的端口号;功能码包含控制和查询两种功能;数据内容包括

路灯故障信息、控制策略、路灯状态、外界光照强度、GPS 信息。

表 2 通信协议具体内容

名称	字节数/B	内容	含义
帧头	1	0xAA	帧头
版本编号	1	0x00	版本编号
地址码	1	0x00 ~ 0xFF	目的 IP
端口号	1	0x00	发送端口
功能码	1	0x00/0x01	控制、查询
报文编号	1	0x00	报文编号
数据长度	1	0x01 ~ 0xFF	数据区长度
故障信息	1	0x00/0x01	故障代码
控制策略	1	0x00 ~ 0x03	4 种照明策略
路灯状态	1	0x01/0x00	打开/关闭
外界光强	1	0x00 ~ 0x02	强、中、弱
GPS 信息	2	0xXXXX	GPS 定位信息
CRC 校验	1	0x00 ~ 0xFF	CRC 校验结果

### 3.2 路灯控制终端软件设计

路灯控制终端与 IoT 云平台通过 CoAP 方式进行通信,数据从主控制器通过串口发送给 NB-IoT 模块,该模块再通过 NB-IoT 基站以及核心网到达 IoT 云平台<sup>[5]</sup>。

路灯控制终端的软件设计包括主程序、定时器中断服务程序、串口接收服务程序。其中,主程序流程图如图 4(a)所示,系统上电后首先进行初始化操作,包括 STM32 芯片的初始化以及 NB-IoT 模块初始化(设置电信频段、设置自动找网模式、设置全工作模式);然后,打开定时器中断和串口接收中断,当定时器中断响应后,如图 4(c)所示,设定标志位 Time flag = 1,主程序进行对各传感器信息的采集,并通过 NB-IoT 模块将数据发送至 IoT 云平台;当系统进入串口接收中断后,如图 4(b)所示,首先对指令进行 CRC 校验,然后解析出控制命令并发送给输出模块,BC95 模组采用 DRX(Discontinuous Reception) 工作模式,保持时刻可以接收上行命令。

### 3.3 IoT 云平台

本系统采用华为的 OceanConnect 物联网联接管理平台,OceanConnect 是华为云核心网推出的以 IoT 联接管理平台为核心的 IoT 生态圈<sup>[6]</sup>。该平台具有丰富的协议适配能力,支持海量多样化终端设备接入,而且还提供数据存储、数据显示、数据分析、历史查询等功能,本系统中路灯终端控制器将路灯的实时数据通过 NB-IoT 模块发送至 IoT 云平台,由平台对数据进行存储;客户端可通过北向 RESTful\_API 服务接口对 IoT 云平台相关数据进行调取,本系统所用到的北向 RESTful\_API 服务接口,如图 5 所示,其功能包括信令传送、批量处理、数据采集、消息推送、规则管理、设备服务调用和设备管理。

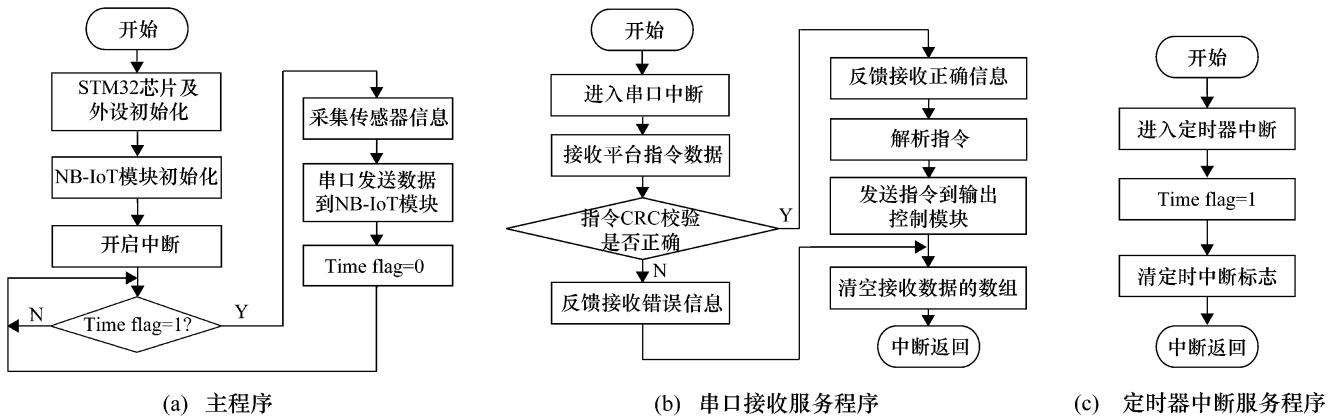


图4 软件设计流程图

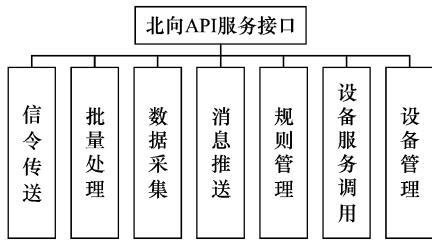


图5 北向 RESTful API 服务接口

## 4 测试结果分析

### 4.1 数据上传下发测试

测试模拟 100 个路灯控制终端, 放在不同光照强度的环境下, 每隔 1 h 向 OceanConnect 云平台上传一

次数据。在平台上, 依照设定好的协议将收到的数据解析并显示。测试结果如图 6 所示, 以 light01 为例, 数据信息依次为: 功能码为 1, 代表数据上传; 报文编号为 1, 代表是第 1 条信息; 数据长度为 8, 代表数据为 8 个字节; 错误码为 1, 代表路灯发生故障; 控制策略为 1, 代表根据外界光照强度自动调整亮度; 路灯状态为 0, 代表路灯关闭状态; 光照强度为 3, 代表外界亮度为 3; 命令下发测试与数据上传测试保持相同条件, 由云平台向路灯控制终端发送开灯、关灯指令, 如图 7 所示, 显示命令已成功送达, 以第 1 条命令为例, 从第二个大括号开始, 数据信息依次为: 控制策略位为 1, 代表设置路灯为自动调整模式; 路灯状态位为 1, 设置打开路灯。

服务: 数据上传		时间
light01	{"function_number": 1, "message_number": 1, "data_length": 8, "fault_information": 1, "control_strategy": 1, "light_state": 0, "light_intensity": 3, "crc_check": 7}	2018/01/30 20:04:11
light02	{"function_number": 1, "message_number": 1, "data_length": 8, "fault_information": 0, "control_strategy": 1, "light_state": 0, "light_intensity": 2, "crc_check": 34}	2018/01/30 20:04:00
light03	{"function_number": 1, "message_number": 1, "data_length": 8, "fault_information": 0, "control_strategy": 1, "light_state": 0, "light_intensity": 2, "crc_check": 34}	2018/01/30 19:03:44

图6 数据上传测试结果

状态	命令ID	命令创建时间	命令内容
已送达	aa24be18e90ea4a3fd4c0246930829	2018/01/30 16:08:15	{"serviceId": "light", "method": "command", "paras": {"control_strategy": 1, "light_state": 1}}
已送达	870818d7a5c947e9909046360ab5934a	2018/01/30 16:08:11	{"serviceId": "light", "method": "command", "paras": {"control_strategy": 1, "light_state": 0}}

图7 命令下发测试结果

### 4.2 Web 界面展示

客户端的 Web 界面是通过平台 RESTful\_API 接口进行数据提取和命令下发, 最终实现了对路灯的控制和数据的上传显示。Web 界面展示利用 GPS/GIS 组合对路灯地理位置进行显示, 如图 8 所示, 界面功能包括路灯基本信息、用户管理、控制策略和故障报表, 根据街道检索或点击地图界面上任意路灯可查看路灯信息, 如果路灯发生故障, 界面会有报警提示。

## 5 结束语

通过设计城市智慧路灯监控系统, 实现了在 IoT

云平台可对路灯的运行状态、故障信息进行监控, 并可以实时下发命令控制路灯开关状态, 拥有 4 种亮灯控制策略和故障报警, 最终实现了从客户端 Web 界面实时远程监控城市路灯状态的目标。测试结果表明, 系统能够稳定高效地实现上述功能。未来路灯控制终端采用太阳能电池供电时, 还应进一步降低无线通信模块的功率, 延长电池使用时间。所设计的基于 NB-IoT 的智慧路灯监控系统可应用于各大城市, 为城市路灯管理提供了便利, 为国家推进智慧城市计划做出一份贡献。

(下转第 77 页)

由图 4 可得到  $I_C$  约为 4 mA 时,  $I_F$  在 3 mA 左右变化, 又根据 TL431 的 K、A 两个引脚电压  $V_{KA}$  在 2.5 ~ 37 V 之间变化时,  $I_{KA}$  在 1 ~ 100 mA 之间变化,  $I_{KA}$  取值为 20 mA。 $R_{10}$  和  $R_{11}$  的阻值应保证反馈回路输入 TL431 的电流在 20 mA,  $I_F$  的电流 3 mA, 则  $R_{11}$  上电流在 17 mA 左右,  $R_{10}$  取 500 Ω, 则  $R_{10}$  上压降为 1.5 V,  $R_{11}$  上压降约为 2.7 V, 则  $R_{11}$  阻值约为 160 Ω<sup>[5]</sup>。

## 4 测试结果

测试仪器: 麦创电源 MPS-3003L-3、致茂电子负载、Chroma 63113A、RIGOL 示波器 DS1062C。

试验以电子负载恒流模式测试电源性能, 输入直流 42 ~ 60 V, 输出电压 12 V, 输出电流 1.7 A。输入 42 ~ 60 V 变化, 输出纹波在 100 mV 以内, 纹波小于输出电压的 1.6%。输入电压在 42 ~ 60 V 范围变化时, 20 W 满载下运行时, 输出 11.95 V, 纹波在 100 mV, 最小占空比约为 0.3, 最大占空比约为 0.42, 测试功率可运行在 20 W, 变压器无明显声音, 无发烫, 电源效率最大 83%, 输入电压 42 ~ 60 V 下漏极占空比如图 5 所示, 在输出 12 V、1.7 A 下, 效率和输入电压曲线图如图 6 所示, 满足应用要求。

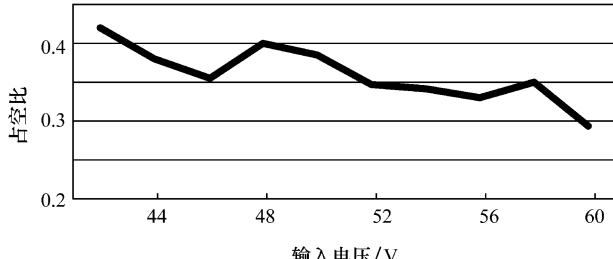


图 5 占空比与输入电压关系(20W 输出)

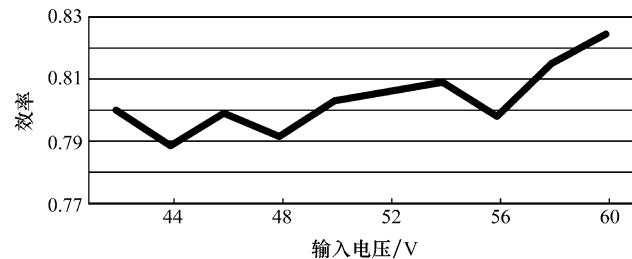


图 6 效率与输入电压关系(20W 输出)

## 5 结束语

电路设计为隔离电源, 可作为 48 V 直流逆变器部分的隔离电源, 以及作为 42 ~ 60 V 输入 20 W 以内的隔离供电电源。采用 DPA425 单片电源芯片, 开关频率可以用 300 kHz, 可选用常用的低价锰锌铁氧体 PC40 高频磁心(工作频率在 400 kHz 以内磁损耗小), DPA425 外围元器件使用少, 可节省 PCB 空间。采用 TL431 和线性光耦 PC817 组成的隔离反馈电路, 提高输出稳压精度, 同时与输入端电气隔离。

### 参考文献:

- [1] 谈敏. 基于 UC3843 反激式开关电源的设计[J]. 通信电源技术, 2016, 33(4): 115 ~ 118.
- [2] 刘梦珂, 唐海洋. 单端反激式开关电源的设计[J]. 电子设计工程, 2017, 25(1): 175 ~ 178.
- [3] 沙占友, 王彦明, 马洪涛, 等. 开关电源优化设计[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009: 387 ~ 390.
- [4] [美] 卡罗尼尔 · 麦克莱曼. 变压器与电感器设计手册 [M]. 龚绍文, 译. 3 版. 北京: 中国电力出版社, 2008: 32 ~ 35, 282 ~ 309.
- [5] Pressman A I, Billings K, Morey T. 开关电源设计[M]. 王志强, 等, 译. 3 版. 北京: 电子工业出版社, 2010: 72 ~ 83.

(上接第 22 页)



图 8 Web 界面展示

### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 廉小亲, 李康飞, 龚永罡, 等. 基于物联网云平台及 STM32F100 的壁挂炉远程控制系统研究[J]. 计算机测量与控制, 2015, 23(8): 2719 ~ 2722.
- [3] 邓小龙, 李奇富, 陆锦军. 基于 ARM 的城市照明显智能监控网络网关设计[J]. 测控技术, 2017, 36(1): 80 ~ 83.
- [4] 李建军. NB-IoT 组网方案研究[J]. 移动通信, 2017, 41(6): 14 ~ 18.
- [5] 李飞. NB-IoT 在智慧照明中的应用[J]. 求知导刊, 2017(33): 60.
- [6] 张万春, 陆婷, 高音. NB-IoT 系统现状与发展[J]. 中兴通讯技术, 2017, 23(1): 10 ~ 14.