

# 基于窄带物联网路灯控制系统的设计与实现

石英春<sup>1,2</sup>, 雷道仲<sup>1</sup>

(1. 湖南信息职业技术学院 电子工程学院, 长沙 410200; 2. 中南大学 交通运输工程学院, 长沙 410083)

**摘要:** 针对我国目前路灯覆盖面积大, 管理手段落后, 无法根据实际需要进行远程控制开关灯时间、无法监测各路灯的运行状况等问题, 设计一种基于窄带物联网路灯控制系统方案, 实现对路灯按需控制、及时了解各路灯的耗能情况, 并综合现场的人流量情况, 实现精确控制, 最终达到节约能源的目的; 该终端采用意法半导体 STM32 芯片为微控制核心、以窄带物联网技术为传输方式、以天翼云平台为支撑的系统总体框架, 阐述了系统硬件、软件设计思路, 制定了路灯控制器、天翼云平台、后台服务系统之间的通信协议, 实现了路灯控制器、云平台、后台服务终端三者之间的信息交互; 测试及应用结果表明, 在无线网络基站已覆盖场所, 通信成功率达 99% 以上, 数据通信响应时间小于 1 s, 控制系统稳定可靠, 为将来路灯节能控制和管理提供了有利的保障。

**关键词:** 窄带物联网; 路灯控制; 设计与实现

## Design and Implementation of Street Lamp Control System Based on Narrow Band Internet of Things

Shi Yingchun<sup>1,2</sup>, Lei Daozhong<sup>1</sup>

(1. School of Electronic Engineering, Hunan College of Information, Changsha 410200, China;

2. School of Traffic and Transportation Engineering, Central South University, Changsha 410075, China)

**Abstract:** Aiming at the problems of large coverage area of street lamps, backward management means, inability to remotely control the switching time according to the actual needs, inability to monitor the operation of each street lamp and so on, a scheme of street lamp control system based on narrowband Internet of things is designed to control the street lamps on demand, timely understand the energy consumption of each street lamp, and integrate the on-site human flow situation to achieve accuracy control, and finally achieve the purpose of energy conservation. The terminal uses STM32 chip as micro control core, narrowband Internet of things technology as transmission mode and Tianyi cloud platform as support system framework. It describes the design ideas of hardware and software of the system, formulates the communication protocol among street lamp controller, Tianyi cloud platform and background service system, and realizes information interaction among street lamp controller, cloud platform and background service terminal. The test and application results show that the success rate of communication is more than 99%, the response time of data communication is less than 1 s, and the control system is stable and reliable, which provides a favorable guarantee for energy-saving control and management of street lamps in the future.

**Keywords:** narrowband Internet of things (NB-IoT); street lamp control; design and implementation

## 0 引言

传统路灯控制器技术通信模式通常采用电力载波通信和通用分组无线服务技术 (GPRS) 组合通信方式<sup>[1]</sup>, 此种方式在同一台区变压器内部回路采用电力线载波, 在跨越不同的台区时, 必须将同台区的信息依靠数据终端通过 GPRS 传输到后台服务系统, 存在工频谐波干扰大, 数据终端需求多, 成本增加, 安装不方便, 同时后期维护量大等缺点; 文献[2-3]路灯控制设备之间组网采用 WiFi、Zig-Bee 等短距离通信方式来代替电力载波通信, 同样存在网络拓扑结构复杂, 稳定性不高的情况。相比于传统通信方式,

窄带物联网通信 (NB-IoT) 技术具有宽连接、广覆盖、低成本和低功耗的优势<sup>[4]</sup>, 可以直接部署在现有运营商网络, 路灯控制设备之间彼此独立, 其信号稳定可靠, 建设成本较低、维护升级方便等优势<sup>[5]</sup>。

本文基于 NB-IoT 技术特点, 提出了一种新型智能路灯控制系统方案, 该控制方式实现了智能化的路灯管理模式, 实时监测路灯的运行情况和环境变化, 及时控制路灯的打开和关闭, 改变目前路灯网络建设和维护成本高、能耗大的缺点, 同时减少因路灯故障引起的不必要损失。

## 1 系统总体设计

路灯控制系统主要用来采集单盏路灯亮度、温度、电压、电流、功率等路灯状态, 并根据现场环境和突发情况进行远程调节和控制。基于物联网的路灯控制系统, 由路灯应用节点、NB IOT 平台、用户数据处理器、浏览服务器组成, 如图 1 所示。

路灯应用节点包括灯光显示、传感器采集模块、控制器模块。灯光显示包括了白炽灯、LED 灯、景观灯等; 传

收稿日期: 2019-10-23; 修回日期: 2019-12-18。

基金项目: “十三五”国家重点研发计划 (2016YFB1200401, 2017YFB1200801-12); 湖南省教育厅科研课题项目 (18C1597); 湖南省教育科学“十三五”规划年度课题 (XJK20CZY028)。

作者简介: 石英春 (1980-), 男, 副教授, 博士研究生, 主要从事电子技术、物联网技术、智能控制方向的研究。

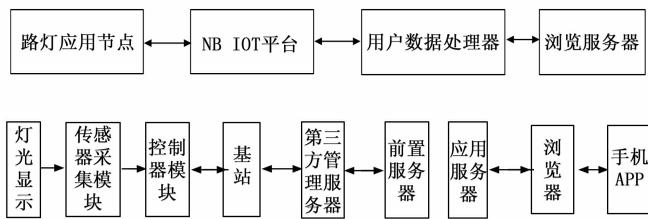


图 1 路灯控制系统整体框图

传感器采集模块主要采集路灯的状态信息和环境信息；控制器模块主要是将传感器采集模块的信息进行保存，将用户数据处理服务器需要的信息通过 NB-IoT 通信方式上传主站，并根据设置信息对灯光进行控制<sup>[6-7]</sup>。

NB IOT 平台包括了基站和第三方管理服务器，由于采用的是电信频段的 NB 模组，所以第三方管理服务器为天翼云平台服务器，实现路灯控制器模块和用户数据处理服务器之间的双向数据透传。

用户数据处理服务器通过接收第三方管理服务器转发来的路灯应用节点数据信息，根据相关的数据协议对数据进行解析和处理，为客户浏览服务器提供数据业务访问服务，并将用户浏览服务器发送来的控制信号发送至路灯终端，实现对路灯的控制和管理。

浏览服务器主要接用户的前端显示电脑、手机 APP 等用户的人机交互设备，通过友好的可视化界面实现对路灯信息的参数查询，并按特定要求实现远程控制。

## 2 系统硬件设计

路灯控制系统应用节点硬件设计如图 2 所示，主要由微控制器模块、下行采集和控制模块、上行通信模块、电源模块、存储器模块等部分组成。下行采集和控制模块，用来采集路灯及周围环境状态（包括单盏路灯的电压、电流值，外界光强度值，户外温度值以及有无人流走动信息等），并按照既定要求进行控制路灯亮灭，要求触点容量为 5 A，AC220 V 以上；上行通信模块兼容全网通通信网络，响应时间控制在 2 s 以内，利用微处理器的管脚控制通信模块的电源；微处理器的串口 0 与上行通信模块进行数据交互，并读取物联网卡电路的卡号信息，通过天线与电信基站进行通信；电源模块先将输入的 220 V 交流电，通过开关电源进行整流、稳压，为系统提供电能，整机功耗控制在 2 W 以内；当系统停电时，有最后一次的停电信息记录；存储器模块设计通过 SPI 总线与微处理器的 SPI 接口相连<sup>[8-9]</sup>，可以存储 30 天以上的路灯状态信息。

微控制器模块一方面用来接收路灯采集运行和状态信息，并将处理后的数据信息发送给上行通信模块，然后上传到天翼云平台；另一方面接收从云平台通过通信模块转发的路灯控制命令并下发给继电器输出模块。选用意法半导体的 cortex-M0 为控制处理核心，型号为：STM32F205，ARM32 位 Cortex-M3 内核，最大工作频率 120 MHz，最大 1 MB 的 Flash、128 kB 的 SRAM 存储器，内部可选配的 26 MHz 晶振，选配内 32 kHz 的晶振，带有 3 个 12 位的  $\mu$ s

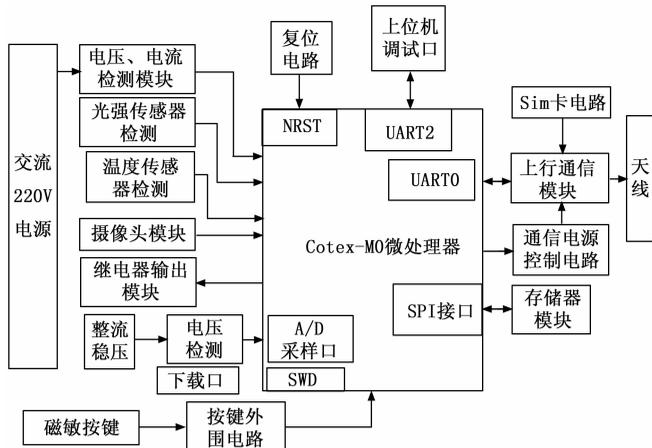


图 2 路灯应用节点硬件电路图

级的 AD 转换器，4 个 USART 接口和 2 个 UART 接口。

### 2.1 下行采集和控制模块

下行采集和控制模块由电压电流检测模块、光强度传感器检测模块、温度传感器检测模块、摄像头模块以及继电器输出模块组成，其中电压电流检测模块、光强度传感器检测模块、温度传感器检测模块、摄像头模块为信号输入模块，继电器输出模块为信号输出模块。电压电流检测模块主要是采集路灯回路中的电压值和电流值，并将结果输入到微处理器中，进行功率的计算，并将数据存储到存储器中，作为路灯是否可靠运行的依据；光强度传感器检测模块用来检测户外的天气状况，通过检测数据与给定值比较，来决定是否打开路灯开关；温度传感器检测模块用来检测外界的温度情况；摄像头模块主要来检测路灯周围是否有人员和车辆经过，并将此数据输入到微处理器，以此来调节路灯的亮度。

继电器输出模块，控制单台路灯的亮灭，可以实现节约能源的目的。为了满足触点容量为 5 A，AC220 V 以上可正常开合，选用欧姆龙继电器，型号为 G5RL-1A-E，实际触电容量为 16 A，AC250 V。控制方式可以根据现场的需求，做到统筹安排，精细化管控，实现城市电能的合理利用；通过个性化控制策略，比如在某路段，晚上 10 点之前路灯全部打开，10~12 点以后关闭单数灯柱，0 点以后关闭某侧的所有灯柱，按照此控制策略，保守估计，平均每天每盏灯比长期供电时可节约 40%。

### 2.2 上行通信模块

上行通信模块采用 NB-IoT 通信方式，主要由全网通模组 BC28，电源控制电路、SIM 卡电路和滤波天线等组成，将前期采集并保存的路灯照明参数及环境状况信息，发送到天翼云平台<sup>[10-12]</sup>。具体采用华为内核的移远模组 BC28，它具有超紧凑、多频段、高性能、低功耗的特点，在设计上实现了全网通的频段，可选用电信、移动、联通三大主流运营商网络，其尺寸比前期的 BC95 更小，内部带模数转换功能。工作电压 VCC\_NB 可使用范围 3.1~4.2 V，典型值 3.6 V。此模块由模组 BC28、异步收发回路、物联网卡回路、电源管理、射频通信口组成，在异步收发

回路串接 1 kΩ 的电阻, 用于串口匹配电阻; 在物联网卡通信回路中, 串接了 22 欧姆的电阻, 保证读取物联网卡数据的稳定; 电源管理, 保证了低功耗时, 整机电源消耗最小; 射频通信口用于外接天线, 电路图如图 3 所示。

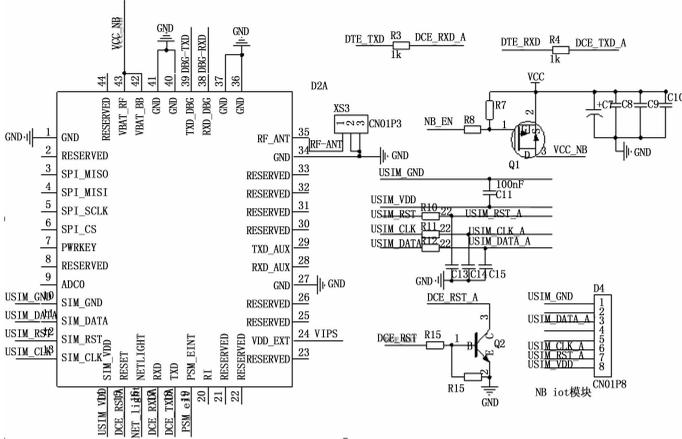


图 3 物联网通信接口电路

### 2.3 电源模块

在电源模块中, 外部输入的交流 220 V 电源有两个用途, 一方面输入到继电器输出模块, 用于控制路灯的亮灭; 另一方面输入到开关电源, 用于供给路灯应用节点的所有模块电能。输入到开关电源的电能, 先经过整流、降压处理, 得到继电器线圈端需要的 VDD 电源, 再经过低电压稳压集成模块 D1 稳压在 3.3 V, 为微处理器和外围电路提供电源, 在输出端并联滤波电容和储能电容, 一方面为数据通信时提供充足的电流, 另一方面实现在外部电源断电后, 保存最近一次断电的记录。

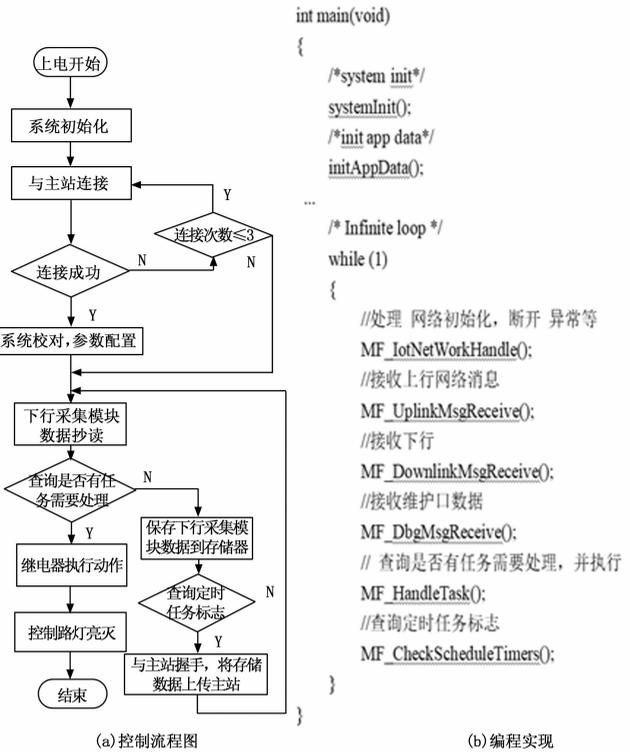
### 2.4 FLASH 存储器模块

存储单元中采用大容量串行 SPI Flash 存储芯片 MX25L6433FM2I-08G, 克服以往采用 EEPROM 存储的缺陷 (包括容量小、价格高、写入慢等), 可以存储最近 3 个月的采集信息, 根据需把存储的信息通过上行通信模块传送到主站系统, 供相关人员查询备案, 使抄读的数据及时备份。

## 3 系统软件设计

采用模块化设计方案, 将功能模块单独封装, 可读性更强、稳定性更高。包括下行采集模块和控制模块、存储模块、上行通信模块等几大部分, 采用自主开发的改进型实时操作系统, 将编译好的程序, 通过 SWD 四线制接口下载到微处理器中。程序过程: 首先初始化微处理器的相关寄存器, 并对管脚进行配置。随后, 系统与主站通过上行通讯模块进行连接, 进行系统校时, 并接收主站下发的参数配置, 如果连续连接 3 次都不成功, 系统进入下行抄表等待阶段, 对下行设备进行监测数据抄读, 当达到系统设置的时间, 需要处理任务时, 执行继电器动作, 否则将抄读数据保存到存储器中, 查询定时任务标志, 是否到达上行发送时间间隔, 当到达时, 上传发送数据到主站, 完成一个抄表循环, 期间如果抄读时间间隔未到时, 系统进入

低功耗模式。具体流程图和实现的编程方法如图 4 所示。



(a) 控制流程图 (b) 编程实现

图 4 控制流程及编程方法

### 3.1 下行采集和控制模块

下行采集和控制模块主要负责控制器与路灯参数、环境参数之间的数据通信, 通过串口总线的形式连接, 首先进行模块初始化, 然后以此抄读路灯回路电压电流数值、光强度传感器数值、温度传感器数值、摄像头模块数值等信息, 并将数据保存到外部 FLASH 存储器中, 并查询是否满足继电器动作条件, 当发现满足条件时, 驱动继电器动作, 来控制路灯的亮灭。具体如图 5 所示。

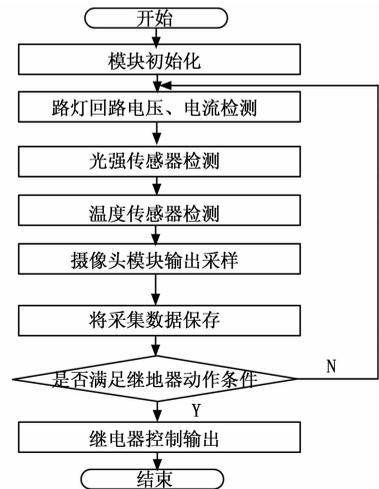


图 5 下行采集和控制流程

### 3.2 上行通信模块

上行通信模块采用半双工设计, 通过切换改变发送和接收模式。首先通过微处理器控制 NB 模块上电, 其进入初

始化阶段,利用 AT 指令进行模块的一系列的判断,来决定模块是否进行准备就绪,包括查询 imei 号、物联网卡号、模块信号强度等参数信息,根据 BC28 模块要求进行组帧,完成数据的上传和下发。当数据发送完成后,模块进入低功耗模式,为保证模块彻底断电,通过微处理器将模块电源断开,整个控制器模块的功耗最低。

### 3.3 浏览服务器界面管理

浏览服务器界面,客户端的电脑显示管理系统,主要由设备管理、策略管理、地图管理、区域管理四大部分组成,通过浏览服务器界面管理,实现了单台路灯远程管理、组合路灯远程管理、并可以随时抄读当前路灯的状态信息,实时了解路灯现场的运行状态;

其中设备管理用于添加新的路灯设备,需要设置好路灯 IMEI 号、路灯表号、路灯名称等信息;策略管理用于进行设置路灯亮灭组合设置方式,比如,单排灯亮设置、单号灯亮设置等;地图管理用于查看路灯的具体位置,并将故障路灯信息进行准确定位,通过线上派单的方式,将故障路灯以手机短信的方式派发到离故障路灯最近的维修人员的手机上,并通过 GIS(地理信息)系统,及时了解维修人员的维修路径,同时是实现了对维修人员的管理;区域管理用于进行跨地区、跨省份之间管理,采用基于中国电信天翼云平台的大数据分析方法,实现对单台路灯的智能化动态监控和故障分析功能,根据获取的单台路灯电压和电流、路灯周围的光照强度、温度、人流量数据信息,以及告警信息等进行大数据分析和处理,实时判断路灯网络的整体运行状态。

## 4 测试与结果分析

基于窄带物联网路灯控制器模块开发后,同时开发了用户数据处理器和浏览服务器(即 OA 管理系统)。路灯控制器设备在省内蒙德市某路段进行测试,已连续运行超 6 个月。该路灯控制系统通过采集单盏路灯亮度、温度、电压、电流、功率等路灯状态信息,将这些数据信息上传到管理部门的后台数据中心,并接收管理部门的相应的命令信息回传到路灯控制器模块中,执行相应的路灯开合动作。

路灯控制系统总体运行良好,数据采集准确、可靠,大大提高管理部门的智能化水平。图 6 为通过 OA 界面查看到现场单盏路灯的状态信息。路灯 IMEI 号,为模组号码,同时也为控制器模块的编号;路灯编号为现场路灯顺序号,路灯名称为路灯所在道路的名称,灯珠数量为每盏灯柱的灯数量,功率和电压为实际采集的现场参数。状态信息中的“处理中”为此盏路灯故障,“关”为此盏路灯处于关闭状态,“开”为此盏路灯处于打开状态,通过与现场人员 100 盏灯的跟踪确认,除一盏通过补抄响应外,其他抄回的状态信息与现场实际路灯状态保持一致,响应时间均在 1 s 以内完成。自动开灯时间和自动关灯时间为默认设置值,无值时表示此盏灯已经调为手动状态。手动开灯和关灯命令为强制开关灯命令,不受默认设置影响,且必须手动恢复,主要目的为现场紧急需要时备用。恢复自动模式为从

手动模式到自动模式进行切换;设置按钮用于重新设置自动开灯和关灯时间。



编号	模组IMEI号	路灯状态	灯珠数量	功率	电压	状态	自动开灯时间	自动关灯时间	操作
118091331	10011001	故障	2	1	220	处理中	19:30	05:00	手动开灯 手动关灯 重新设置时间 清除
848336419	10011002	故障	2	1	220	关			手动开灯 手动关灯 重新设置时间 清除
848316515	10011003	故障	2	1	220	开	17:41	23:00	手动开灯 手动关灯 重新设置时间 清除
848315792	10011004	故障	2	1	220	开	17:41	23:00	手动开灯 手动关灯 重新设置时间 清除
848336409	10011005	故障	2	1	220	关	17:41	23:00	手动开灯 手动关灯 重新设置时间 清除
848315137	10011006	故障	2	1	220	开			手动开灯 手动关灯 重新设置时间 清除

图 6 测试界面

## 5 结束语

通过实验验证及现场应用结果看出,采用窄带物联网路灯控制系统设计,很好地实现了对路灯运行状态的在线监控,并通过后台浏览服务器管理系统进行单盏路灯的亮灭控制,实现了通过 web 客户端对路灯远程控制的目的。路灯控制系统总体运行良好,数据采集准确,为管理部门进行后期的节电和优化供电提供了有力的数据基础,同时为路灯的精确维护创造了必要的条件。

### 参考文献:

- [1] 张高境,熊兴中. 电力载波通信中的干扰特性及抑制技术分析[J]. 电信科学, 2016, 32(2): 182-188.
- [2] 经伟,许堃,余建波. 基于 GPRS 和 ZigBee 的节能型 LED 路灯智能控制系统[J]. 计算机测量与控制, 2015, 23(5): 1538-1541.
- [3] 潘俊虹,吴薇,彭涛. 基于 NB-IoT-WSN 技术的智能路灯通信架构研究[J]. 四川理工学院学报(自然科学版), 2018, (12): 32-38.
- [4] 邹玉龙,丁晓进,王全全. NB-IoT 关键技术及应用前景[J]. 中兴通讯技术, 2017(2): 43-46.
- [5] 宋洪儒,王宜怀,杨凡. 基于窄带物联网智能燃气表系统设计与实现[J]. 传感器与微系统, 2019(3): 113-116.
- [6] 董铮,陈思,叶韬,等. 基于 NB-IoT 和大数据分析的智能路灯控制云端系统的研究[J]. 江苏电信, 2019(2): 37-40.
- [7] 成开元,廉小亲,周栋. 基于 NB-IoT 的城市智慧路灯监控系统设计[J]. 测控技术, 2018(7): 19-22.
- [8] 楚成彪,郝思鹏,何小栋,等. 基于 STM32 的农村智能配电网监控终端的设计[J]. 电子设计工程, 2014(7): 59-62.
- [9] 石英春,李宇峰,孙小进. 基于水汽热采集终端的研制[J]. 仪器仪表用户, 2015(5): 54-57.
- [10] Wang Y P E, Lin X, Adhikary A, et al. A primer on 3GPP narrowband internet of things [J]. IEEE Communications Magazine, 2017, 55(3): 117-123.
- [11] Chen J, Hu K, Wang Q, et al. Narrowband Internet of things Implementations and applications [J]. IEEE internet of Things Journal, 2017, 4(6): 2309-2314.
- [12] 徐颖. 以蜂窝为基础的窄带物联网技术性能和实践[J]. 山东工业技术, 2019(9): 131.