

基于 GSM/RF 点群网络的 LED 路灯 远程监控系统研究

王子辉,何致远,孙文聪,詹宏飞

(浙江科技学院 自动化与电气工程学院,杭州 310023)

摘要: 提出一种采用 GSM 网络和 RF 射频通信相结合的 LED 路灯智能远程监控系统。系统由监控中心、通信中继站和路灯控制终端组成 3 层点群架构。其中,监控中心通过 GSM/SMS 方式与中继站进行双向远程通信,路灯控制终端通过 RF 射频方式与中继站进行双向近距离通信。性能测试结果表明,基于该架构的远程监控系统能对 LED 路灯进行灯组群控和节点单控,并具有在线参数反馈功能和寿命预警机制;其传输稳定、工作功耗低、可扩充性强,可满足智慧城市照明系统的多种潜在需求。

关键词: 智慧照明;LED 路灯监控;GSM 网络;寿命预测

中图分类号: TP872.33

文献标志码: A

文章编号: 1671-8798(2018)01-0037-07

Study on monitoring system of LED streetlights based on GSM/RF point-group network

WANG Zihui, HE Zhiyuan, SUN Wencong, ZHAN Hongfei

(School of Automation and Electrical Engineering, Zhejiang University
of Science and Technology Hangzhou 310023, Zhejiang, China)

Abstract: A smart LED streetlight remote monitoring system based on GSM/RF (radio-frequency) network is proposed. The designed system introduces a three-layer point-group architecture, which consists of the monitoring center, relay stations and streetlight terminal controllers. The duplex remote connection is established between the monitoring center and relay stations by means of GSM/SMS, while the duplex short-range communication was set up between streetlight terminal controllers and relay stations through RF module. The test results show that the remote monitoring system not only realizes point control or group control for the LED streetlights, but also has the function of real-time parameter feedback and life prediction mechanism. Furthermore, it embodies the advantages of stable transmission, low power

收稿日期: 2017-09-05

基金项目: 浙江科技学院交叉预研专项项目(2012JC02Z);国家级大学生创新创业训练计划项目(201511057003)

通信作者: 何致远(1961—),男,浙江省杭州人,教授,硕士,主要从事电气自动化与智能控制技术研究。E-mail: hezhiyuan@zust.edu.cn。

consumption and easy extendibility. Therefore, the proposed system could fully meet different potential requirements for the smart city lighting system.

Keywords: smart lighting; LED streetlight monitor; GSM network; life prediction

随着城市道路绿色照明水平的迅速提升,智慧道路照明技术在现代化城市道路建设与改造中得到广泛应用,在“互联网+”技术迅猛发展的背景下,其功能与应用领域得以不断拓展。智慧照明系统将节能高效的 LED 照明设备与精准实时的信息交互技术相结合,实现道路照明的集中控制与实时监测。现有的路灯监控系统主要有通信电缆、电力载波和无线通信方式。其中,无线通信方式由于安装灵活、检修维护便捷、设备成本与人力成本低等优点,成为远程道路照明监控方案的首选。

目前,远程道路照明监控系统普遍采用成熟的 GSM(Global System for Mobile Communication)公众移动通信方式,其覆盖范围广,通用性好^[1]。在现有远程监控系统中,大量采用基于 GSM 的 GPRS(General Packet Radio Service)通信模式,该方式具有在线时间长、数据流量大的优点,但其信号传输易受信道和带宽的限制,若本地网络条件欠佳,可能出现网络延迟和丢包通信失败的情况^[2-3]。智能道路照明监控系统主要对城市道路路灯组进行远程控制和数据采集,其控制指令包含开通关断、光亮度调节和时钟定时信号;反馈信息主要包括路灯实际运行参数,如电压、电流、功率、温度和湿度等,通讯数据量相对较小^[4]。与 GPRS 移动数据传输技术相比较,基于 GSM 的 SMS(Short Message Service)短信模式信号传输更为通畅,它对网络信号强度的要求较低,适应于通讯繁忙或信号偏弱的应用场合,较适合作为路灯监控系统的数据传输方式^[5-7]。考虑到数据传输的成本因素,路灯节点之间的近距离传输普遍采用免费的 Zigbee 或 RF 射频方式,在通信效果上,Zigbee 所处的 2.4 GHz 频段的穿透能力较强,但其传输距离较短^[8-11],而 433 MHz 频段的 RF 射频传输距离在 1 km 以上,可依靠其绕射能力实现更好的通信效果^[12-13]。

基于上述研究,笔者提出一种智慧道路照明远程监控系统,采用基于 GSM 短信的远距离传输与基于 RF 射频的近距离传输相结合的点群网络通讯方式,具有远程监控、故障预警、数据分析等功能,并具备较强的外部设备扩展能力和不同工况下的可移植性。设计方案综合考虑了通讯传输的稳定性、节点的覆盖范围和运行成本等因素,在满足智慧城市照明基本需求的同时,为灯体性能分析及设计优化提供了研究平台。

1 系统架构及功能

城市道路照明系统的路灯节点具有区域内集中、区域间分散的分布特点,表现为同一路段上的路灯相互间隔较短,而不同路段灯组间的距离较长。与此特点相适应,可以通过 GSM 远距离传输和 RF 近距离传输相结合的多级串接通信方式来实现相关控制。

基于 GSM 网络的 SMS 业务收费低廉,其信号覆盖范围广,传输自由度较大,适用于节点分散的小数据量通讯系统,近距离 RF 射频通信则可以实现免费的数据传输,以节约运行成本。

笔者设计的路灯监控系统由监控中心(上位机)、GSM/RF 通信中继站(中位机)和控制终端(下位机)三部分组成。其中,监控中心设置于中央控制室,通过 GSM 网络与分布于路网的若干个中继站构成“一对多”的远程通信网络;下位机终端安装在灯杆顶端的 LED 灯具内,经 RF 射频网络与安装在道路终端的通信中继站组成“多对一”的短距离通信网络,由此构成“监控中心-通信中继站-控制终端”的 3 层点群架构,如图 1 所示。

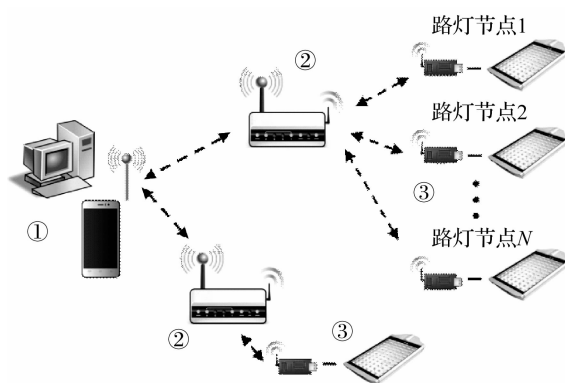


图 1 基于 GSM/RF 的 3 层点群架构

Fig. 1 Topology of the three-layer GSM/RF point-group architecture

在图 1 所示的点群架构中,上位机通过 GSM 网络将控制指令发送至通信中继站,中继站处理器根据通讯协议判断控制指令,并下达至下位机;下位机接收指令并执行相关控制操作,读取路灯的工作电流、电压、功率、温度和湿度等实时数据,通过 RF 网络将数据反馈给中继站,再上传至上位机,并在监控界面中显示运行状态。各中继站和路灯终端的通讯协议采用统一身份编址,以确保上位机可准确识别不同灯组内的任意一盏路灯,实现灯组群控及单灯节点独立控制。

2 系统软硬件设计

2.1 路灯控制终端

下位机终端由电源模块、处理器、开关调光电路、采样电路和 RF 通讯模块五部分组成,具有定时通断、无级调光、状态参数采集分析及基于 RF 射频的数据通信等功能,其结构如图 2 所示。

系统采用 STC 单片机作为主处理器,分别与开关电路、调光电路、采样电路和 RF 射频模块相连接,实现发送控制指令、读取运行参数及数据交换等功能。采用基于 SI4432 核心的 RF 无线射频模块,工作于 433 MHz 频段,实现下位机终端与中继站间的“多对一”双向数据通信。经户外工况下实际测试,控制终端电路的额定运行功率为 600 mW,瞬时峰值功率 1 W,长时间待机功耗 200 mW,其较低的功耗为路灯系统整体效率提升打下基础。控制终端可向 LED 驱动器输出 1~10 V 的标准模拟调光信号或 PWM 信号,实现 10%~100% 亮度间的无级调光,接口设计可兼容各品牌 LED 驱动器及不同功率的路灯灯头。控制终端还设置了符合 DALI 标准的总线接口,可挂载 DALI 主从机、光照度传感器、开关和网关等外部设备,具有良好的通用性和可扩充性。

2.2 中继站

在基于 GSM/RF 通讯的 3 级传输架构中,中继站承担将下位机射频信号与上位机 GSM 信号桥接的任务。中继站由供电电源、通信处理器、GSM 模块、RF 模块及天线等组成,处理器采用双串口单片机,分别连接 GSM 模块和 RF 模块串行通信接口,如图 3 所示。中继站的 RF 模块采用与下位机相同的无线射频模块,GSM 通信采用 SIM900A 模块。SIM900A 是兼容 900/1800 MHz 双频段的紧凑型 GSM/GPRS 模块,支持 PDU (Protocol Data Unit) 和 TEXT 编码格式的 SMS 短信,以及 GPRS multi-slot class10/8 标准,利用 AT 指令控制短信的收发与解析^[14-15]。SIM900A 同时支持中国移动和中国联通 SIM 卡,其通用性好,使用方便。

2.3 监控终端

为满足智能系统对人机交互的便捷性和友好性的需求,所设计的系统上位机可嵌入云终端、电脑终端和手机终端,具有良好的兼容性。其中电脑终端连接一套 GSM 收发器,手机终端则可直接接入 GSM 业务,实现与中继站的数据通讯。用户可通过上位机人机界面或手机 APP 设置路灯组状态,并可按需要分别获取点群组路灯的运行参数与预警信息。

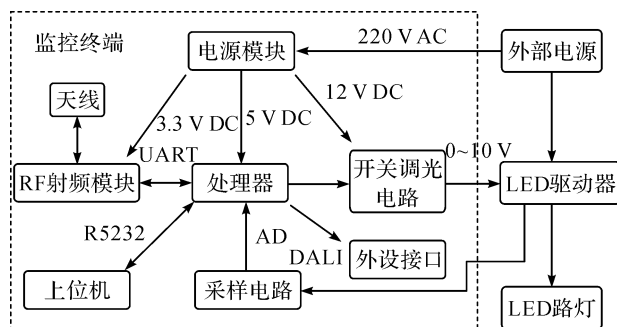


图 2 控制终端电路结构图

Fig. 2 Circuit diagram of control terminal

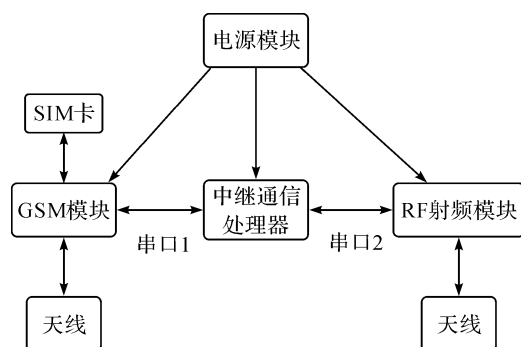


图 3 中继站电路结构图

Fig. 3 Circuit diagram of relay station

3 通信传输与数据分析

为实现不同通信模式之间高效、安全的数据传输,系统拟定了适用于 GSM 和 RF 点群的通信桥接架构,如图 4 所示。上位机通过 GSM 将控制指令发送至中位机,由中位机承担双向数据解析任务,并下达至下位机;路灯控制指令执行完毕后,下位机将运行数据经 RF 通讯反馈至中位机,由中位机上传至上位机,实现双向数据传输过程。

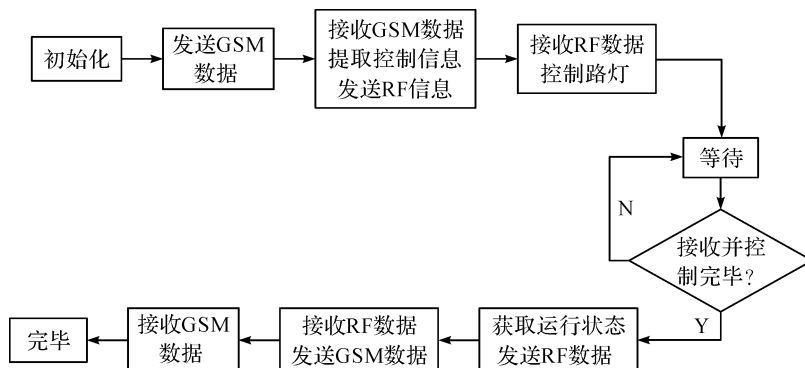


图 4 数据传输流程图

Fig. 4 Flowchart of data transmission process

3.1 传输协议

基于 SI4432 的 RF 射频通讯模块支持 16 进制的数据包收发格式,为满足路灯控制终端的开关、调光、延时及读取运行参数等功能,在程序设计中规定了带循环冗余校验的数据传输协议,协议的数据收发格式如表 1 所示。

表 1 协议数据包格式

Table 1 Format of protocol data package

字节/B	设置	查询	字节/B	设置	查询
1	功能码	功能码	8	0x FF	运行时
2	灯号	灯号	9	0x FF	运行分
3	调光度	调光度	10	0x FF	运行秒
4	延时时	电流	11	0x FF	故障码
5	延时分	电压	12	校验码	校验码
6	延时秒	温度	13	校验码	校验码
7	0xFF	功率			

为满足对监控内容的不同需求,系统设计了一种自由数据传输机制。按既定传输协议,数据包的长度、内容及传输时间间隔均可由用户在上位机人机界面中配置,在确保数据传输速率稳定的基础上,兼具可扩充功能,有效提升了系统信号传输的灵活性和适用性。

3.2 数据采集与寿命预测

系统路灯控制终端中设置了电流和电压传感器,下位机可连续实时采集 LED 路灯灯体输入侧的电压和电流信号,并记录采样点运行时刻,将所采集信号按表 1 所示的传输协议上传至上位机数据库存储。

为满足道路照明的需要,LED 路灯灯体普遍采用大功率白光或黄光 LED 颗粒串并联成组的结构形式,驱动器一般采用恒流控制方式,LED 颗粒的额定电流典型值为 320 mA,功率为 1 W 左右。LED 颗粒的发热量较大,长时间工作后,某些颗粒的寿命会显著衰减,导致其余颗粒的雪崩式损坏。根据白光 LED 老化机理,相同电流下 LED 颗粒的内阻随老化时间增加而增大^[16-17],在恒流条件下 LED 颗粒的端电压随时间变化的规律如图 5 所示,颗粒端电压随运行时间增加而迅速上升,在电压上升至 3.45 V 时,

其内部阻抗急剧增加,表明其寿命即将终止。依据 LED 颗粒的上述特性,系统设计一种通过采集路灯节点的实时运行参数来实现路灯寿命的预测机制,对路灯的潜在寿命危机给出预测预警,并通过数据传输机制上传至上位机,便于及时处理,从而有效降低路灯照明的故障率。

由图 5 可知,在 LED 颗粒的寿命前期,其端电压变化缓慢,而寿命后期的变化率迅速增大。在设定的时间段内,每间隔 1 h 采样并记录 LED 灯端电压数值 U ,连续记录相邻 2 个时间段的电压值,分别记为 U_j 、 U_k ,系统可根据电压随时间的变化率来判断寿命终止时刻,判断其寿命即将终止的数学关系满足:

$$\frac{1}{l} \left(\sum_{j=t-l}^t U_j - \sum_{k=t-2l}^{t-l} U_k \right) > \epsilon. \quad (1)$$

式(1)中: t 为系统总采样点数; l 为电压监测时间窗口内的采样长度; $\frac{1}{l} \left(\sum_{j=t-l}^t U_j - \sum_{k=t-2l}^{t-l} U_k \right)$ 表示在 2 个连续的时间窗口 l 内灯端电压平均值的变化量; ϵ 为阈值。设置阈值为灯具正常工作时灯端电压的变化极限,当平均电压显著高于阈值时,即可判断灯具寿命即将中止。

4 系统性能测试

为测试所设计系统在实际工况下的运行性能,在户外道路中设置 8 杆路灯节点,并设置通信中继站和上位机监控中心。系统节点分布情况如图 6 所示,以监控中心为原点,各路灯节点分布在东南、西北和西南 3 个方向,形成 3 组,每个群组设置 1 台通信中继站,每组各 2~3 杆路灯,各路灯装设控制终端。采用 GSM/RF 的 3 层点群网络架构,监控中心与 3 台中继站通过 GSM 通信,中继站通过 433 MHz 频段的 RF 射频与各节点通信。



图 6 系统户外实测的节点分布

Fig. 6 System nod distribution under outdoor experimental condition

4.1 多节点运行试验

实际工况下,路灯的调光度一般取 30%~100% 范围,在试验中分别设置①~⑧号灯的调光度从 100% 至 30% 均匀逐级递减。上电运行后,各控制终端每间隔 1 h 采集数据并发送至上位机保存,获得的

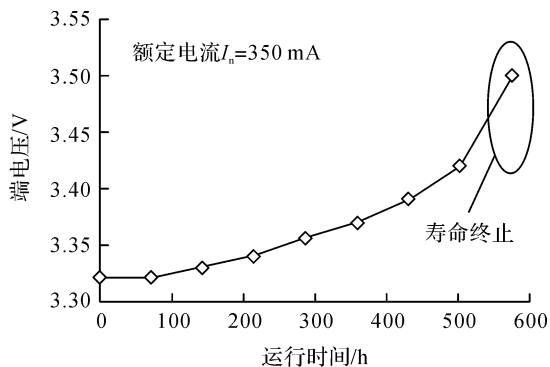


图 5 单体 LED 颗粒端电压随时间变化的规律曲线图

Fig. 5 Curve of single LED terminal voltage changing over time

数据如表 2 所示。

试验中所用的路灯灯头为 7 并联 13 串联 LED 颗粒模组,标称功率 98 W,采用实验室仪器实测得额定功率为 95 W。参考表 2 节点 1 数据,将监控系统测得的电流电压相乘所得到的功率与标称功率进行比较,可知系统反馈值与试验测试值较吻合。

表 2 多节点上电时刻与运行 1 h 时的参数数据

Table 2 Parameters of multiple nodes at the time of power-on and 1-hour operation

灯组	节点	调光度/%	上电时刻				运行 1 h 时			
			电流/A	电压/V	温度/℃	功率/W	电流/A	电压/V	温度/℃	功率/W
1	1	100	2.28	41.5	20.4	94.6	2.26	41.2	41.8	93.1
1	2	90	2.01	41.0	20.5	82.4	2.00	40.8	40.5	81.6
1	3	80	1.77	40.6	20.4	72.3	1.75	40.5	39.1	70.9
2	4	70	1.56	40.3	20.3	62.9	1.55	40.2	38.8	62.3
2	5	60	1.33	39.9	20.5	53.1	1.32	39.7	37.4	52.4
3	6	50	1.09	39.5	20.5	42.1	1.10	39.3	35.0	43.2
3	7	40	0.85	39.0	20.4	33.2	0.84	38.7	32.2	32.5
3	8	30	0.64	38.2	20.5	24.4	0.64	38.0	30.3	24.3

4.2 单节点寿命预警试验

在上位机监控终端的控制程序里设置了如式(1)描述的寿命预测预警机制,当 LED 颗粒的电压变化率在若干连续小时内均超过预设阈值,则判定 LED 灯异常。以灯节点 1 为例,在 100%调光度下,对 LED 路灯的输入电流和电压实施连续监控,其电流及电压的时间特性如图 7 所示。由图 7 可以看出,LED 单体电流和电压在 12 h 的采样期内均保持稳定,表明该路灯运行正常。运行过程中 LED 灯体的端电压发生了微小波动,表明由于外部环境温度变化而导致 LED 的伏安特性波动,驱动器的恒流特性促使电压随温度变化而变化,但其波动幅度较小且具有收敛趋势,这与老化状态下伏安特性急剧变化的趋势不同,因而可依靠式(1)进行有效区分。

为模拟老化情况下 LED 的伏安特性,在实验室中以另一相同型号 LED 灯具为测试对象,将灯板各并联支路的首粒 LED 更换为大功率稳压二极管 1N5334,如图 8 所示。1N5334 反向击穿稳压值为 3.6 V,略高于 LED 颗粒额定电压,因而可模拟 LED 寿命即将终止时端电压突然增大的状态。二极管串接前后灯端电压特性曲线变化如图 9 所示。

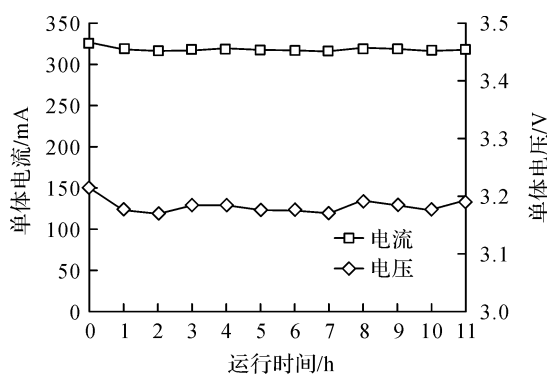


图 7 多路灯节点监测数据

Fig. 7 Monitoring data of streetlights at multi-nodes

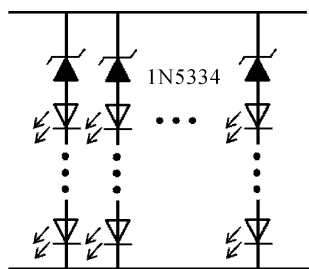


图 8 LED 模拟灯板老化等效电路

Fig. 8 Equivalent circuit for simulated LED aging test

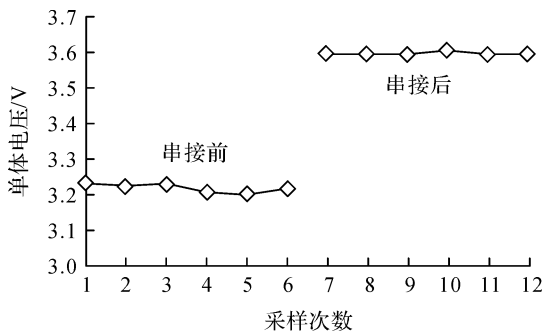


图 9 模拟老化测试条件下的 LED 单体电压

Fig. 9 Terminal voltage of Single LED in simulated aging test

根据式(1)所述的预警判断条件,设置总采样点数 t 为 12,采样长度 l 为 6,电压变化率阈值 ϵ 取 0.1 V,可知在模拟老化测试前后其电压平均值变化量大于阈值,则系统可判定 LED 灯异常并显示故障预警。考虑到在实际工况中 LED 的老化过程较为缓慢,因此需加大采样点数和采样长度,并适当调低电压变化率阈值。具体参数的设置可参考厂家提供的 LED 灯具老化测试数据。

5 结 论

笔者基于 GSM/SMS 和 RF 射频通信网络,研究并实现了一种多路段多点群的 LED 道路照明智能监控系统,构建的 3 层网络通信架构克服了短距离通信覆盖面小、节点数量受限的缺点,弥补了远距离通信功耗大、成本高的缺陷,且兼顾可靠性和运行成本。经试验验证,该系统实现了 LED 道路照明的遥控、遥测和遥感,且性能稳定。因此,该系统能适应智慧城市照明系统的潜在需求,具有较为广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 李立轩. 基于 GPRS 的路灯智能控制技术的研究[D]. 杭州:杭州电子科技大学,2012.
- [2] 李辉,晏菁,黄佩俐. 基于 GSM/GPRS 的特种电动车监控系统[J]. 无线电通信技术,2016,42(2):70.
- [3] 朱向庆,廖桂明,崔廷佐,等. 远程分布式无线智能路灯监控系统设计[J]. 计算机测量与控制,2015,23(1):83.
- [4] 杜晓婷. 基于微处理器和 GSM 的智能城市路灯监控与防盗系统设计[D]. 合肥:合肥工业大学,2013.
- [5] 罗德塔. 基于无线通信的风光互补路灯监控系统的研究[D]. 上海:上海交通大学,2010.
- [6] 江杰,宋宏龙. 基于 GSM 短信的烟雾传感报警系统[J]. 测控技术,2014,33(1):1.
- [7] 潘朝,罗小巧,黄佳,等. 基于 GSM 短信的智能家居控制系统的设计[J]. 电子测量技术,2013,36(6):121.
- [8] 高云红,梁小廷,张庆新. 基于 ZigBee 的智能路灯控制系统设计[J]. 现代电子技术,2013,36(19):29.
- [9] 张雄,秦会斌,毛祥根,等. 基于 ZigBee 技术的远程家电控制系统[J]. 无线电通信技术,2015,41(6):68.
- [10] 陈鑫元,李筠,杨海马,等. 基于物联网技术的智慧路灯系统设计[J]. 数据通信,2016(1):45.
- [11] 徐伟,秦会斌. 基于无线传感器网络的路灯监控系统[J]. 电子器件,2008,31(6):1879.
- [12] 赵振华. 基于 GPRS 和 RF 技术的远程全无线自动抄表系统[J]. 计算机与数字工程,2008,36(11):66.
- [13] 孟凡勇,崔晓静. 基于射频传感网络与 GPRS 的监测系统设计[J]. 空间电子技术,2011,8(4):18.
- [14] 隋俊杰,肖诗满,邵伟恒,等. 基于 SIM900A 的基站无线监控系统[J]. 现代电子技术,2016,39(3):51.
- [15] 翟顺,王卫红,张衍,等. 基于 SIM900A 的物联网短信报警系统[J]. 现代电子技术,2012,35(5):86.
- [16] 庄国华. 大功率白光 LED 老化机制及老化模型研究[D]. 福州:福建师范大学,2011.
- [17] 刘家俊. 大功率白光 LED 灯具寿命与光电特性关系的研究[D]. 成都:电子科技大学,2015.