文章编号:1674-2974(2021)08-0019-08 DOI:10.16339/j.cnki.hdxbzkb.2021.08.003

# 城市道路照明自适应节能控制算法与监控系统

周华安[1],郑瑶[2,3†],何湘桂[2,3]
(1. 湖南大学 机械与运载工程学院,湖南 长沙 410082;
2. 湖南大学 电气与信息工程学院,湖南 长沙 410082;
3. 中津沛科建设股份有限公司,湖南 长沙 410014;)

**摘 要**:为了克服现有城市道路照明路灯控制系统难以兼顾节能与保障行车安全的问题,提出一种城市道路照明自适应节能控制算法,该算法采用路面实时平均亮度反馈,在日出日落时段与基于标准设计的路面需求亮度比较,自适应地调整实际开关灯时间,并依据道路小时统计平均车流量,在夜间照明时段按小时计算对应的道路照明亮度,实现与车流量统计结果相匹配的分时段调光控制策略,既能保障行车安全,又能实现明显的节能.详细描述了算法的工作原理与程序实现流程图, 介绍了基于 LoRa 无线物联网城市道路照明监控系统的结构与功能.该系统在湖南省某条干道夏季相同天气条件和时间内的实际运行效果表明: 系统能可靠实现区域道路路灯的远程无线开关灯与调光控制等监控功能, 验证了节能型自适应控制算法的有效性,相比于传统控制方式的节能率高达 39.3%.

**关键词**:自适应算法;节能;无线传感器网络;日出日落算法;分时段照明调光
**中图分类号**:TM923 **文献标志码**:A

# Adaptive Energy-saving Control Algorithm and Monitoring System for Urban Road Lighting

ZHOU Huaan[1],ZHENG Yao[2,3†],HE Xianggui[2,3]
(1. College of Mechanical and Vehicle Engineering,Hunan University,Changsha 410082,China;
2. College of Electrical and Information Engineering,Hunan University,Changsha 410082,China;
3. Zhongjin Peike Construction Co Ltd,Changsha 410014,China)

**Abstract**:In order to overcome the problem that the existing urban road lighting street lamp control systems are not able to balance energy saving and driving safety,an adaptive energy saving control algorithm for urban road lighting is proposed and studied. The algorithm uses real-time average brightness feedback on the road surface,compares the brightness of the road surface based on the standard design during sunrise and sunset hours,adaptively adjusts the actual switch light time. According to the average traffic flow of the road hours,the corresponding road lighting brightness is calculated by the hour during the night lighting period,realizing the time-division dimming control strategy

* **收稿日期**:2021-01-21
**基金项目**:湖南省交通运输厅 2018 年度科技攻关计划资助项目(201815),Hunan Transportation Department 2018 Science and Technology Research Program Funded Projects(201815);湖南省交通运输厅 2019 年度科技计划资助项目(201922),Hunan Transportation Department 2019 Science and Technology Program Funded Projects(201922)
**作者简介**:周华安(1962—),男,湖南常德人,湖南大学高级工程师
† 通信联系人,E-mail:1429169503@qq.com

that matches the statistical results of the traffic flow, which can guarantee driving safety and realize obvious energy saving. It describes the working principle of the algorithm and the flow chart of the program in detail, and introduces the structure and function of the urban road lighting monitoring system based on the LoRa wireless internet of things. The actual operation effect of the system in the same weather conditions and time on a main road in Hunan Province in summer shows that the system can reliably realize the monitoring functions of the remote wireless switch and dimming control of the regional road street lights, verifying the effectiveness of the energy-saving adaptive control algorithm, with an energy saving rate of 39.3% compared with the traditional control methods.

**Key words**: adaptive algorithms; energy saving; wireless sensor networks; sunrise and sunset algorithm; time-sharing lighting dimming

近三十年来,我国城市道路建设飞速发展,作为保障行车安全的道路照明灯具数量和用电量迅速增加,成为了我国电能消耗的主要形式. 大多数城市现有的道路照明控制系统主要采用回路集中控制方式,在设定时刻开灯与关灯,由于季节变化或天气变化的随机性, 不可避免地存在过早或过晚开灯与关灯现象, 且照明功率不能随车流量的变化而实时改变,导致早、晚高峰期行车不安全或产生巨大的电能浪费. 目前我国现有城市道路路灯照明系统至少存在不小于 35%的节能空间[1],已不能适应现代化城市道路绿色节能照明要求. 因此,亟需研究与开发新型路灯照明节能控制技术与系统.

研究现有文献可知, 采用主从结构通信方式的道路照明控制系统已成为业界高度重视的发展方向. 主要的通信方式有电力线载波和无线 GPRS、ZigBee、LoRa 等. 这些方法容易扩展, 其使用和维护便捷高效, 不需要铺设专用通信电缆. 在无线技术中, LoRa 具有远距离、小功耗、低成本、大容量等优点[2], 在道路照明控制中尤显生命力. 文献[3]设计了一种由监控管理平台、网关集中器、路灯控制器组成的 LoRa 无线通信路灯控制系统. 文献[4]研究与设计了一种隧道照明与机电设备 LoRa 无线智能监控系统. 智能型道路照明控制系统大多数使用日出日落算法计算开关灯时间[5],通过某种算法或方式调整开关灯时间或者路灯的照明亮度. 文献[6]使用大量传感器, 在检测到夜间有车辆和行人时满功率亮灯, 否则关灯,虽然可明显节能,但没有考虑气候变化对检测准确度和开灯关灯时间的影响. 文献[7]使用历史光照度、天气预报信息和日出日落时间等数据,建模预测路灯的开灯关灯时间, 难以准确反映天气变化的影响, 且没有考虑车流量变化, 也没有给出应用效果. 文献[8]根据雨、雪、雾、霾等气象数据和灯具照明数据控制路灯的开灯关灯时间与照明亮度, 也未考虑车流量对道路安全照明的影响. 文献[9]提出在 6:00 和 18:30 左右的固定时刻检测光照度值, 实现路灯开启或者关闭,采集道路噪声实现调光控制,未考虑季节变化对开灯关灯时刻的影响. 文献[10]通过每盏路灯的光强度传感器检测光强度, 在光强度低于或者高于设定阈值区间时产生报警, 若区域内报警路灯超过 70%, 则实施该区域内路灯的开灯或者关灯操作,可满足异常天气情况路灯开关灯问题,但没有考虑节能. 显然,上述文献没有合理地解决天气与车流量变化对开灯关灯时间和照明亮度的影响.

本文提出了一种由路面实时平均亮度反馈的路灯开关灯时间自适应调整算法和基于道路统计小时平均车流量的路灯亮度分时段调光控制策略构成的道路照明自适应节能控制算法, 设计了一种城市道路照明无线监控系统,系统采用主站、子站方式,使用 LoRa 无线通信技术构网,实现城市道路路灯的监控和数据管理, 保障行车安全. 实际运行效果表明, 该系统可实现约 39.3%的节能.

## 1 开关灯时间自适应调整算法

该算法依据《城市道路照明设计标准》(CJJ 45—2015)[11], 使用日出日落算法计算每天的日出日落时间, 在日落时间前后, 实时检测路面自然光平均亮度, 通过与设定的道路最大平均亮度比较来调整开灯时间;在日出时间前后,实时检测路面自然光平均亮度, 通过与设定的道路最小平均亮度比较来调整关灯时间.

### 1.1 日出日落算法

日出日落算法[5]采用系统所在地的经纬度等参数,根据式(1)~(12)计算日出时间 $T_C$、日落时间 $T_L$,分别作为关闭和开启路灯的基准时刻.

1)计算日与 2000 年 1 月 1 日之间的天数 $d$.

2)计算日到 2000 年 1 月 1 日之间的世纪数 $t$:

$$t = \left(d + \frac{t_i}{360}\right) \cdot \frac{1}{36\,525} (i = \mathrm{C,L}) \tag{1}$$

式中:$t_C$、$t_L$ 分别为日出时间和日落时间的计算值,其初值按角度计算,即时间角,均取 180°.

3)系统所在地的平近点角 $G$、平黄径 $P$ 和地球倾角 $\varepsilon$ 为:

$$G = 357.528 + 35\,999.05t \tag{2}$$

$$P = 280.46 + 36\,000.77t \tag{3}$$

$$\varepsilon = 23.439\,3 - 0.013t \tag{4}$$

4)系统所在地的黄道经度 $\lambda$ 为:

$$\lambda = P + 1.915\sin G + 0.02\sin(2G) \tag{5}$$

5)系统所在地的太阳偏差 δ 为:

$$\delta = \arcsin(\sin\varepsilon \cdot \sin\lambda) \tag{6}$$

6)系统所在地的太阳时间角 $G_{ha}$ 为:

$$G_{ha} = t_i - 180 - 1.915\sin G - 0.02\sin(2G) + 2.446\sin(2\lambda) - 0.053\sin(4\lambda) \tag{7}$$

7)修正值 $e$ 为:

$$e = \arccos\left(\frac{\sin(-0.833) - \sin(G_{lat}) \cdot \sin\delta}{\cos(G_{lat}) \cdot \cos\delta}\right) \tag{8}$$

式中:$G_{lat}$ 为系统所在地纬度.

8)日出、日落时间 $T_i(i = \mathrm{C,L})$修正:

$$T_C = t_C - (G_{ha} + L_{ong} + e) \tag{9}$$

$$T_L = t_L - (G_{ha} + L_{ong} - e) \tag{10}$$

式中:$L_{ong}$ 为系统所在地经度.

9)$T_i$ 精度判断,若$|T_i - t_i| > 0.1$,则将 $T_i$ 作为新的日出日落时间值代入 $t_i$,返回第 2 步;反之,输出日出日落时间为:

$$T_C = \frac{T_C}{15} + Z_{one} \tag{11}$$

$$T_L = \frac{T_L}{15} + Z_{one} \tag{12}$$

式中:$Z_{one}$ 为系统所在地时区.

### 1.2 开关灯时间的自适应调整

日出日落算法没有考虑系统所在地天气条件的影响,在计算出来的日出日落时间关灯和开灯,不可避免地存在路面亮度过高或过低的情况,导致过早或过晚开灯关灯. 过早开灯与过晚关灯产生电能浪费,过晚开灯和过早关灯影响行车安全. 因此,需要根据不同天气条件下的路面实时亮度,自适应地调整实际的开关灯时间.

图 1 给出了日出日落时段路面亮度变化曲线,图中上偏移曲线表示自然亮度值过高情况下的路面平均亮度,理想曲线表示自然亮度值正常条件下的路面平均亮度,下偏移曲线表示雨雪、阴天等天气使得自然亮度值偏低情况下的路面平均亮度. 在日落时间 $T_L$ 开灯照明,对应道路路面平均亮度为 $L_{avmax}$,在日出时间 $T_C$ 时刻关灯,对应道路路面平均亮度为 $L_{avmin}$,如图 1 中的实线所示. $L_{avmax}$、$L_{avmin}$ 根据《城市道路照明设计标准》(CJJ 45—2015)[11]设计,机动车道路亮度标准值如表 1 所示.

显然,在 $T_L$ 时刻,若在实际亮度 $L \geqslant L_{avmax}$ 条件下开灯会造成电能浪费,在实际亮度 $L \leqslant L_{avmax}$ 条件下开灯会影响行车安全;在 $T_C$ 时刻,若在实际亮度 $L \geqslant L_{avmin}$ 条件下关灯会造成电能浪费,在实际亮度 $L \leqslant L_{avmin}$ 条件下关灯会影响行车安全.

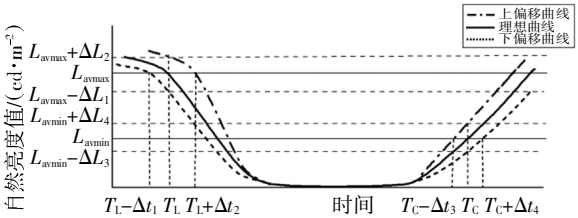


图 1　日落日出时段道路路面平均亮度变化曲线

Fig.1　Change curve of average brightness of road surface from sunset to sunrise

**表 1　机动车道路亮度标准值**

**Tab.1　Standard value of road lighting for motor vehicles**

| 等级 | 道路类型 | $L_{avmin}$/(cd·m$^{-2}$) | $L_{avmax}$/(cd·m$^{-2}$) |
|---|---|---|---|
| Ⅰ | 快速路、主干路 | 1.5 | 2.0 |
| Ⅱ | 次干路 | 1.0 | 1.5 |
| Ⅲ | 支路 | 0.5 | 0.75 |

因此,需在 $T_L$ 前的 $\Delta T$ 时间($\Delta T \geqslant \Delta t_1$)启动日落开灯时刻自适应调整算法. 算法步骤如下:

1)读取系统时间 $t$,并与 $T_L - \Delta T$ 比较;

2)若 $t \geqslant T_L - \Delta T$,则连续采样 $N$ 次路面亮度 $L_i$,否则,返回步骤 1;

3)求 $N$ 次路面亮度 $L_i$ 的平均值 $L$;

4)若 $L \leqslant L_{avmax} - \Delta$(Δ 为设定的亮度经验阈值),则开灯,并进入夜间分时段调光控制,记开灯时刻的实际开灯时间小时数为 $h_k$. 否则,返回步骤 2.

在分时段调光控制过程中,判断系统时间 $t$ 的小时数 $h$. 若 $h < 10$,即已经进入凌晨,需在 $T_C$ 前的 $\Delta T$ 时间($\Delta T \geqslant \Delta t_3$)启动日出关灯时刻自适应调整算法.

算法步骤如下:

1)读取系统时间 $t$,与 $T_C-\Delta T$ 比较;

2)若 $t\leqslant T_C-\Delta T$,继续执行夜间分时段调光控制. 否则,采样 $N$ 次路面亮度 $L_i$;

3)求 $N$ 次路面亮度 $L_i$ 的平均值 $L$;

4)若 $L\geqslant L_{avmin}+\Delta$,则关灯,否则,返回步骤 1.

上述算法根据路面实际平均亮度自适应调整开关灯时间,既能保障行车安全,又能实现节能.

开关灯时间自适应调整算法流程如图 2 所示.

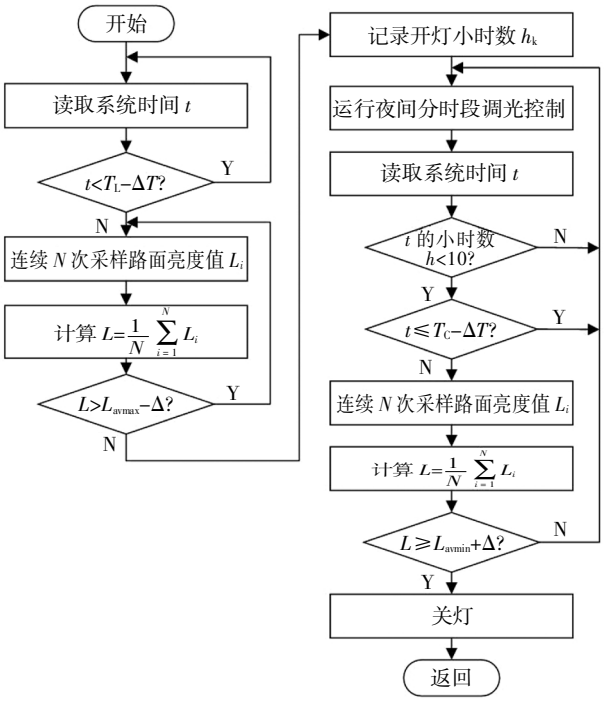


图 2 开关灯时间自适应调整算法流程图

Fig.2 Flow chart of adaptive adjustment algorithm for turn-on and turn-off time

## 2 分段调光控制策略

道路的夜间车流量与所处城市位置及周边环境紧密相关,不同区域的车流量差异很大,且在不同的时间段,同一条道路的车流量变化也很大. 若在整个夜间照明时间内采用恒定功率照明,较大的照明功率可保障行车安全,但必然会产生较大的电能浪费;较小的照明功率可降低电能消耗,但不能保障高峰期的行车安全. 这也是现有城市道路照明控制方式所存在的明显缺陷. 当然,若按照道路夜间实时车流量不停地调节照明功率,虽然可实现最佳节能,但这种控制方式的实现难度较大,且会使得路面亮度产生明显的突变与频闪,严重影响行车安全.

事实上,对于已成型的城市结构,在较长时期内的夜间道路车流量变化具有一定的规律,一般情况下可用小时统计平均车流量表征,即每天夜间同一时段的平均车流量变化,在一定范围内保持稳定,所以,可以采用前期一定日期内统计得到的小时车流量推算小时统计平均车流量. 根据道路的小时统计平均车流量大小,从开灯时刻开始,对道路照明按小时进行分时段调光控制,不同车流量时段的照明亮度不同.

依据道路类型和等级,由《城市道路工程设计规范》(CJJ 37—2012)[12]确定道路允许最大车流通行能力 $N_{max}$,依据经验确定道路的最小车流量 $N_{min}$,$N_{max}$ 和 $N_{min}$ 分别对应于表 1 所示的路面平均亮度最大值 $L_{avmax}$ 和最小值 $L_{avmin}$. 每小时的实际照明亮度 $L_{avi}$ 和车流量 $N$ 之间的函数关系可按图 3 推导得到.

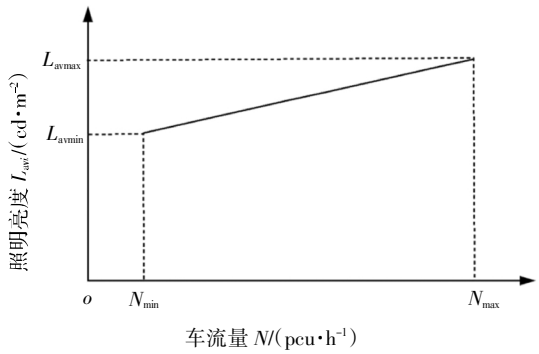


图 3 车流量和照明亮度的线性关系图

Fig.3 Linear relationship diagram between traffic flow and lighting brightness

记日出时间 $T_C$ 的小时数为 $h_C$,日落时间 $T_L$ 的小时数为 $h_L$,按照小时统计平均车流量 $N(N_{min}\leqslant N\leqslant N_{max})$ 计算 $h_C-h_L+24$ 之间每小时所需要的照明亮度 $L_{avi}$:

$$L_{avi}=\frac{L_{avmax}-L_{avmin}}{N_{max}-N_{min}}\cdot N+\frac{N_{max}\cdot L_{avmin}-N_{min}\cdot L_{avmax}}{N_{max}-N_{min}} \tag{13}$$

依据计算出的 $L_{avi}$ 可得到夜间照明期间每小时的灯具亮度表或者照明功率表.

从 $h_k$ 开始,由系统从灯具亮度值表中获取每小时的灯具亮度 $L_{avi}$,通过 LoRa 无线网络发送到灯控制器,实现分时段调光控制.

查表与分时段调光控制实现方式如下:

1)若 $h_k\leqslant h_L$,则从表中取 $h_L$ 小时的 $L_{avi}$ 值,通过 LoRa 无线网络控制回路送电,调节灯具亮度.

2)读取系统时间 $t$ 的小时数 $h$,若 $h\geqslant 10$,则取 $h-h_L$ 小时的 $L_{avi}$ 值;若 $h<10$,即处于凌晨时段,则取 $h$

$-h_L+24$ 小时的 $L_{avi}$ 值. 通过 LoRa 无线网络调节灯具亮度.

分时段调光控制流程是由开关灯时间自适应调整算法调用的子流程,如图 4 所示.

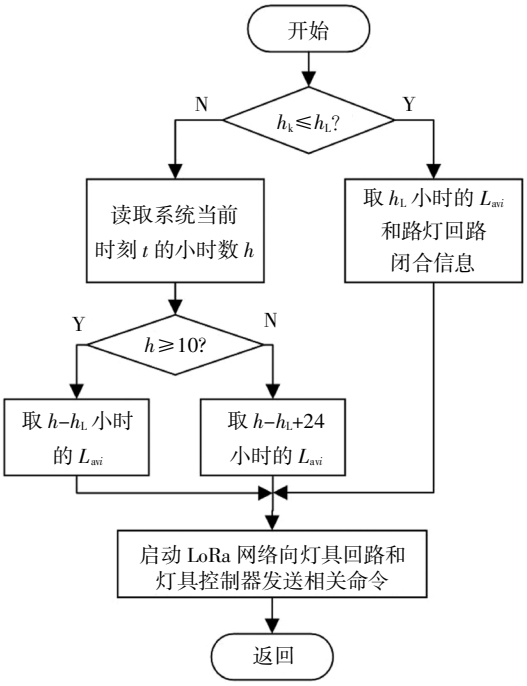


图 4　分时段调光控制流程图

Fig.4　Time period dimming control flow chart

## 3　道路照明自适应控制算法实现步骤

道路照明自适应控制算法由开关灯时间自适应调整算法和分段调光控制策略构成，其实现原理与步骤如下：

1)依据 CJJ 45—2015 和 CJJ 37—2012,根据道路类型与等级确定 $L_{avmax}$、$L_{avmin}$ 和 $N_{max}$、$N_{min}$;

2)在系统自动运行模式中,主控制器在系统初始化、参数修改后,或者在每天关灯期间的固定时刻(如每天 12:00),调用日出日落算法计算当天日出日落时间 $T_C$、$T_L$ 及其小时数 $h_C$、$h_L$;

3)基于统计小时车流量 $N$ 和上述参数,运行式(13)计算 $h_C - h_L + 24$ 小时内每小时的路灯亮度值$L_{avi}$;

4)在每天 $T_L - \Delta T$ 时间,运行开灯自适应调整算法,得到实际开灯时间的小时数 $h_k$;

5)以 $h_k$ 为基准,查询每小时的路灯亮度值 $L_{avi}$,运行夜间照明分时段调光策略;

6)若进入凌晨时段,在每天 $T_C - \Delta T$ 时刻,运行关灯自适应调整算法.

道路照明自适应控制算法实现流程如图 5 所示.

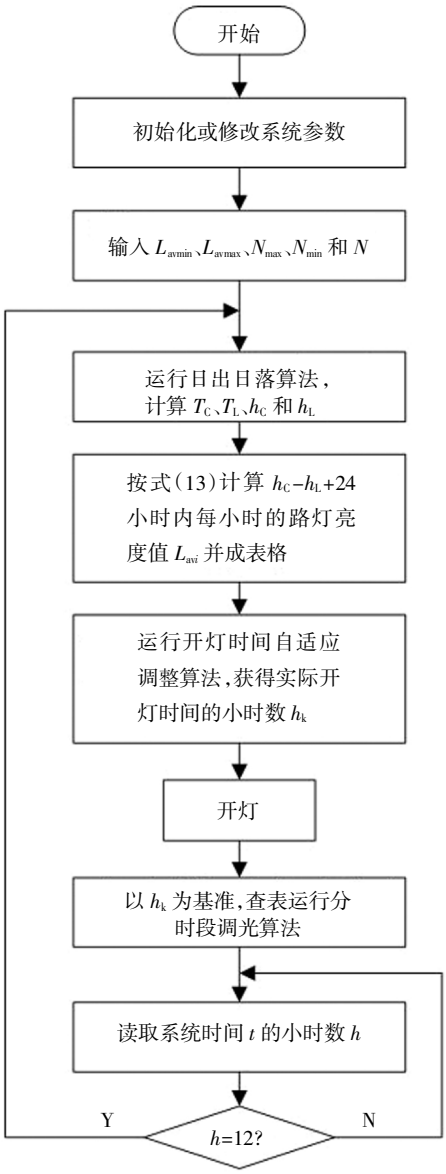


图 5　道路照明自适应控制算法实现程序流程图

Fig.5　Program flow chart of adaptive control algorithm for road lighting

## 4　监控系统结构与功能

根据城市道路照明供配电系统的构成，以一个供配电系统为单元形成监控子系统，每个监控子系统配置一个控制器. 采用工控机或者 PLC 作为控制器的子系统运行日出日落算法、开关灯时间自适应调整算法和分时段调光控制策略，完成对整个路灯的开关灯与调光控制、系统的管理等功能,称为主站.

其他子系统的控制器均采用 LoRa 无线数据采集器作为控制器,称为子站. 系统的所有被监控路灯均使用 LoRa 无线灯控制器完成灯电源的开关与调光控制. LoRa 无线数据采集器和灯控制器作为 LoRa 无线网络的终端节点,通过主站的 LoRa 无线协调器组网,构成城市道路照明 LoRa 无线自适应监控系统.

主站系统结构如图 6 所示, 由主控制器、LoRa 无线协调器、亮度仪、4G 模块、路灯回路控制模块、智能电表和 LoRa 灯控制器及灯具构成.

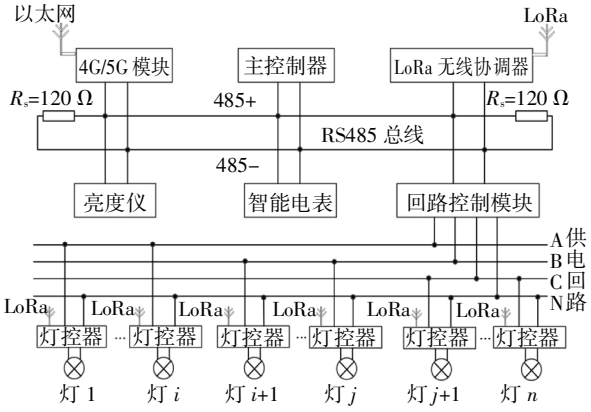


图 6 主站系统结构图

Fig.6 Master station system structure diagram

主控制器与主站内部模块之间通过 RS485 总线通信,从亮度仪获取路面平均亮度,读取智能电表数据,通过回路控制模块控制路灯供电回路的通断;通过 LoRa 无线协调器,发送子站的回路开关、智能电表数据采集、灯具故障检测命令给各数据采集器,发送子站路灯调光、电源开关命令给各灯控制器;通过 4G/5G 模块与其他系统组建以太网络, 实现路灯监控信息的平台共享与服务.

子站系统结构如图 7 所示,由 LoRa 无线数据采集器、路灯回路控制模块、智能电表和 LoRa 灯控制器及灯具构成.

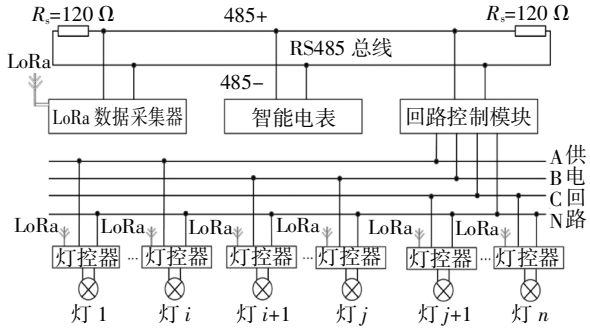


图 7 子站系统结构图

Fig.7 Substation system structure diagram

LoRa 无线数据采集器接收主站 LoRa 无线协调器发布的路灯供电回路控制、智能电表数据读取等命令,并上传智能电表的数据,通过 RS485 总线通信完成本站路灯供电回路的开关控制,采集回路电表数据.

智能电表和回路控制模块是具有 RS485 通信功能的路灯供配电系统通用设备. 从智能电表可获得路灯回路的用电量、电压、电流、有功功率、功率因数等电气参数. 回路控制模块以路灯回路为单元进行供配电控制,实现一组路灯电源的整体送电与断电. LoRa 无线协调器和 LoRa 无线灯控制器是作者团队成功开发的专利产品,其原理、功能与软硬件设计在文献 [3] 中有详细探讨. LoRa 无线数据采集器具有 RS485 串口数据透传、开关量输入输出、4~20 mA 电流采集、0~10 V 电压采集、ID 配置等功能.

## 5 测试结果

该系统已在湖南省某四车道的一段长约 3 km 的路段进行了实验测试运行. 该路段共有 100 盏功率为 120 W 的路灯,由一个主站和一个子站构成,依据表 1 和 CJJ 45—2015 标准,选择道路最大、最小路面平均亮度分别为 2.0 cd/m$^2$、1.5 cd/m$^2$, 允许车辆最大通行能力为 5 600 pcu/h, 道路的经纬度分别为 E112.58°和 N28.11°,系统所在时区为东八区.

该路段 2020 年 6 月 2 日—16 日的系统稳定运行数据:每日的开关灯时间、调光时长、每日用电量如表 2 所示. 在日落提前时段,通过亮度仪检测自然亮度值,若小于 2.0 cd/m$^2$ 则进行开灯操作. 根据小时车流量确定该小时时间段内的亮度值, 系统进行调光操作,并在日出提前时段检测自然亮度值,若大于 1.5 cd/m$^2$ 则进行关灯操作. 6 月 2 日—3 日、7 日—8 日、15 日—16 日的开关灯时间和调光值百分比变化值如图 8 所示.

为了验证本文系统的节能效果, 选取同一条道路的另外 3 km 路段作为比较路段. 两路段的路灯盏数、功率相同,但比较路段使用原有路灯控制系统,在计算出的日出日落时间开关灯, 照明时间段的路灯照明功率均为灯具的满功率, 相应的每日开关灯时间、照明时长、每日用电量如表 3 所示. 在保障道路安全行车的条件下, 本文系统的每日平均用电量为 73.8 kW·h, 比较路段的每日平均用电量为 121.6

kW·h,本文系统在夏季相同的天气条件和时间内实现了约 39.3%的节能.

**表 2　自适应系统照明用电量和开关灯时间表**

**Tab.2　Adaptive system lighting energy consumption and light switch schedule**

| 日期 | 日出时间 | 关灯时间 | 日落时间 | 开灯时间 | 调光时长/min | 每日用电量/(kW·h) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 月 2 日 | 5:31 | 5:31 | 19:20 | 19:29 | 600 | 77.4 |
| 6 月 3 日 | 5:30 | 5:35 | 19:21 | 19:20 | 615 | 79.1 |
| 6 月 4 日 | 5:30 | 5:20 | 19:21 | 19:40 | 580 | 74.3 |
| 6 月 5 日 | 5:30 | 5:20 | 19:22 | 19:41 | 581 | 74.2 |
| 6 月 6 日 | 5:30 | 5:13 | 19:22 | 19:45 | 568 | 72.7 |
| 6 月 7 日 | 5:30 | 5:21 | 19:23 | 19:41 | 580 | 74.4 |
| 6 月 8 日 | 5:30 | 5:17 | 19:23 | 19:43 | 574 | 73.5 |
| 6 月 9 日 | 5:30 | 5:11 | 19:23 | 19:43 | 568 | 72.7 |
| 6 月 10 日 | 5:30 | 5:11 | 19:24 | 19:44 | 567 | 72.6 |
| 6 月 11 日 | 5:30 | 5:10 | 19:24 | 19:43 | 567 | 72.7 |
| 6 月 12 日 | 5:30 | 5:10 | 19:25 | 19:40 | 570 | 73.0 |
| 6 月 13 日 | 5:30 | 5:10 | 19:25 | 19:40 | 570 | 73.0 |
| 6 月 14 日 | 5:30 | 5:09 | 19:25 | 19:41 | 568 | 72.8 |
| 6 月 15 日 | 5:30 | 5:09 | 19:26 | 19:41 | 568 | 72.7 |
| 6 月 16 日 | 5:30 | 5:09 | 19:26 | 19:42 | 567 | 72.6 |
| 平均值 | 5:30 | 5:15 | 19:23 | 19:39 | 576 | 73.8 |

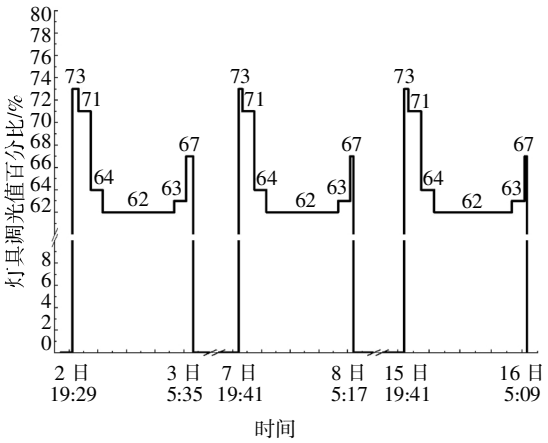


图 8　系统的开关灯时间和调光值百分比

Fig.8　The system's switch light time and dimming value percentage

**表 3　6 月传统模式调光数据**

**Tab.3　Traditional mode dimming data in June**

| 日期 | 关灯时间 | 开灯时间 | 开灯时长/min | 每日用电量/(kW·h) |
|---|---|---|---|---|
| 6 月 2 日 | 5:31 | 19:20 | 611 | 122.6 |
| 6 月 3 日 | 5:30 | 19:21 | 609 | 122.1 |
| 6 月 4 日 | 5:30 | 19:21 | 609 | 123.2 |
| 6 月 5 日 | 5:30 | 19:22 | 608 | 121.6 |
| 6 月 6 日 | 5:30 | 19:22 | 608 | 122.7 |
| 6 月 7 日 | 5:30 | 19:23 | 607 | 123.3 |
| 6 月 8 日 | 5:30 | 19:23 | 607 | 121.3 |
| 6 月 9 日 | 5:30 | 19:23 | 607 | 119.3 |
| 6 月 10 日 | 5:30 | 19:24 | 606 | 119.7 |
| 6 月 11 日 | 5:30 | 19:24 | 606 | 121.0 |
| 6 月 12 日 | 5:30 | 19:25 | 605 | 122.3 |
| 6 月 13 日 | 5:30 | 19:25 | 605 | 122.3 |
| 6 月 14 日 | 5:30 | 19:25 | 605 | 122.8 |
| 6 月 15 日 | 5:30 | 19:26 | 604 | 119.1 |
| 6 月 16 日 | 5:30 | 19:26 | 604 | 120.3 |
| 平均值 | 5:30 | 19:23 | 606 | 121.6 |

## 6　结　论

1）为解决道路照明开关灯时间过早过晚问题,提出一种实时检测路面平均亮度调整开关路灯时间的自适应算法,在保障行车安全的同时,更为精准地控制路灯开关灯时间,实现节能.

2)为解决夜间照明亮度不能根据车流量变化造成巨大能耗的问题，依据城市道路小时车流量变化存在明显统计规律的特征，提出一种依据道路小时统计车流量实现分段调光控制策略，在车流量大的时段路灯亮度高,在车流量小的时段路灯亮度低,既能保障行车安全,又能实现节能.

3)提出且设计了城市道路照明 LoRa 无线物联网监控系统,给出了系统构架与功能.

4)系统通过湖南省某条干道的运行,验证了本文算法的有效性，提出的自适应控制系统根据控制策略实现路灯开关、调光等功能,在夏季时段相同的天气条件和时间内，对比传统控制方式的系统节能

率高达 39.3%.

## 参考文献


[1] 乔柱,刘伊生,廖雅双,等. 城市道路照明节能潜力研究[J]. 电力电子技术,2016,50(12):38—41.
QIAO Z,LIU Y S,LIAO Y S,*et al*. Research on urban road lighting energy-saving potential[J]. Power Electronics,2016,50(12):38—41.(In Chinese)

[2] 赵静,苏光添. LoRa 无线网络技术分析[J]. 移动通信,2016,40(21):50—57.
ZHAO J,SU G T. Analysis on LoRa wireless network technology[J]. Mobile Communications,2016,40(21):50—57.(In Chinese)

[3] 周华妹. 基于 LoRa 无线技术的隧道照明智慧控制系统研究[D]. 长沙:湖南大学,2019:41—64.
ZHOU H M. Research on tunnel lighting intelligent control system based on LoRa wireless technology[D]. Changsha:Hunan University,2019:41—64.(In Chinese)

[4] 周华安,顾龙慧,周书,等. LoRa 隧道照明网络设备测试系统研究与设计 [J]. 湖南大学学报 (自然科学版),2019,46(4):91—96.
ZHOU H A,GU L H,ZHOU S,*et al*. Research and design on test system for LoRa tunnel lighting network facilities [J]. Journal of Hunan University (Natural Sciences),2019,46 (4):91—96.(In Chinese)

[5] 景春国,舒冬梅,顾德英. 城市路灯监控系统中日出日落时间算法的实现[J]. 现代计算机(专业版),2003(5):84—86.
JING C G,SHU D M,GU D Y. Implementation of the times for sunrise and sun*set al*gorithm in urban streetlight supervisory control system[J]. Modern Computer,2003(5):84—86.(In Chinese)

[6] LAU S P,MERRETT G V,WEDDELL A S,*et al*. A traffic-aware street lighting scheme for Smart Cities using autonomous networked sensors [J]. Computers & Electrical Engineering,2015,45:192—207.

[7] 廖明青. 路灯开关时间的预测算法研究[D]. 武汉:华中科技大学,2015:20—45.
LIAO M Q. The research of street light's time prediction[D]. Wuhan:Huazhong University of Science,2015:20—45. (In Chinese)

[8] 陈南宪,陈泽宇,杨立梅. 一种智慧照明控制系统与实现方法:CN111372351A[P]. 2015-09-23.
CHEN N X,CHEN Z Y,YANG L M. Intelligent lighting control system and realization method theoref:CN111372351A[P]. 2015-09-23.(In Chinese)

[9] 盛利斌. 一种城市道路智能照明控制系统:CN110381647A [P]. 2019-10-25.
SHENG L B. Urban road intelligent lighting control system:CN110381647A[P]. 2019-10-25.(In Chinese)

[10] 景春国,何荣富,舒冬梅. 异常天气城市路灯照明控制策略[J]. 电力系统自动化,2006,30(20):81—83.
JING C G,HE R F,SHU D M. Urban streetlight illumination control strategy in bad weather [J]. Automation of Electric Power Systems,2006,30(20):81—83.(In Chinese)

[11] 城市道路照明设计标准:CJJ 45—2015[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2015:8—9.
Standard for lighting design of urban road:CJJ 45—2015 [S]. Beijing:China Architecture & Building Press,2015:8—9. (In Chinese)

[12] 城市道路工程设计规范:CJJ 37—2012[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2012:8—10.
Code for design of urban road engineering:CJJ 37—2012 [S]. Beijing:China Architecture & Building Press,2012:8—10. (In Chinese)