

基于 ZigBee 网络 and 自适应 PSD 算法的 路灯分布式节能控制方法

邵海亮^{1†}, 董华刚¹, 黑强虎¹, 李伟¹, 唐鹏伟¹, 杨振仁²

(1. 中建新越建设工程有限公司, 广东 广州 510422; 2. 中建新疆建工(集团)有限公司, 广东 深圳 518000)

摘要:当前照明系统缺乏分布式路灯动态化控制,浪费大量能源,为此,提出了基于 ZigBee 网络和自适应 PSD 算法的路灯分布式节能控制方法。通过 ZigBee 网络通信连接系统传感器、控制中心和照明终端,协调设备通信功能,实现信息快速传输储存。利用神经网络处理信号数据,提高系统信号检测和处理效率。在此基础上,利用自适应 PSD 算法识别路灯信号动态特征,进行自适应信号检测,调节信号数据偏差,精确检测数据结果,增强系统节能控制稳定程度,实现路灯分布式节能控制。由实验结果可知,研究方法将分布式路灯检测精准度提高到 99%,熔池宽度稳定在 3.5W/mm,具有良好的检测精准度和控制稳定性,可以对路灯进行节能控制。

关键词:路灯分布式节能控制; ZigBee 网络; 神经网络; 自适应 PSD 算法

中图分类号: TM717

文献标识码: A

A Distributed Energy Saving Control Method for Street Lamps Based on ZigBee Network and Adaptive PSD Algorithm

SHAO Hailiang^{1†}, DONG Huagang¹, HEI Qianghu¹, LI Wei¹, TANG Pengwei¹, YANG Zhenren²

(1. CSCEC Xinyue Construction Engineering Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510422, China;

2. CSCEC Xinjiang Construction & Engineering (Group) Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518000, China)

Abstract: The current lighting system lacks distributed street lamp dynamic control and wastes a lot of energy, so a distributed energy-saving control method for street lamps based on ZigBee network and adaptive PSD algorithm is proposed. Through ZigBee network communication, the system sensor, control center and lighting terminal are connected, and the communication function of the equipment is coordinated to realize the rapid transmission and storage of information. The neural network is used to process the signal data to improve the system signal detection and processing efficiency. On this basis, the adaptive PSD algorithm is used to identify the dynamic characteristics of street lamp signals, carry out adaptive signal detection, adjust signal data deviation, accurately detect data results, enhance the stability of system energy-saving control, and realize distributed energy-saving control of street lamps. It can be seen from the experimental results that the research method improves the detection accuracy of distributed street lamps to 99%, and the width of the molten pool is stable at 3.5W/mm, which has good detection accuracy and control stability, and can control the street lamps energy-saving.

Key words: street lamp distributed energy-saving control; ZigBee network; neural network; adaptive PSD algorithm

随着当今经济社会的快速发展,生产生活各个方面都需要照明系统的支持。而如今却经常出现无人场合灯具依旧打开的情况,这不仅造成了资源的浪费,而且可能会损坏区域电力系统。因此,对照明系统进行智能节能控制逐渐受到国内外的热切关注。由于当前大部分照明体系采用分布式控制系统,故传统的控制方法已经无法满足智能化自适应控制需求。文献[1]以 PID 亮度控制技术为基础,根据传感器获取周围环境亮度图像信息来控制路灯亮度。但该方法需要进行大量的图像识别,且反馈速度较慢,控制效率较低。文献[2]以 NB-LOT 技术对路灯进行低功耗智能控制,通过传感器采集光照温度信息,传输到控制器对照明系统进行控制。这种方法虽然 能耗较低,但只适用于小范围的个体控制,难以满足分布式照明体系需求。针对传统方法的不足,本文提出了一种基于 ZigBee 网络和自适应 PSD 算法的路灯分布式节能控制方法,以 ZigBee 网络为技术基础构建节能控制系统,使用 PSD 算法对路灯信号进行自适应检测,实现智能路灯分布式节能控制。

1 路灯分布式节能控制系统

ZigBee 网络是一种适用于短距离低速通信的无线网络协议,能够支持短距离内大量的网络节点通信,对多种类型的网络拓扑结构适应性强,且具有低耗能、低成本的优点,在短距离电子设备信息传输之间应用范围较广^[3]。智能路灯分布式节能控制系统的照明系统和控制模块距离较短,控制节点数量庞大,因此选用 ZigBee 网络为路灯分布式节能控制的网络基础,能够更充分地满足分布式路灯控制需求。

1.1 基于 ZigBee 网络的系统硬件

ZigBee 网络的系统硬件结构主要由电子芯片、传感器、照明控制终端、通信协议构成,其中核心设备是系统芯片,基于照明系统需求选择了型号为 G9338 的电子芯片支持系统开发构建^[4]。芯片一端连接传感器雷达信号,另一端接通三极管,在接收到传感器雷达信号后,能够根据信号指示判断电压需求,从而对三极管释放一个电压,经过二极管后导通继电器回路,可以控制其打开或闭合,满足路灯分布式节能控制的智能化需求。

传感器是系统连接照明终端和控制终端的信号连接器,传感器雷达探测装置能够采集范围内各种物体的信号,获取到的雷达信号通过传感器的信号收发端进行传输,收发天线实时保持和相邻传感器的通信,以确保信息传输及时稳定。

照明控制终端主要包括电源、照明路灯、继电器和无线信号通信设备。电源主要负责路灯电能充放电控制和蓄电池能源管理,能够根据控制终端的指令对路灯运行状态和电流大小及时进行调整;继电器连通系统芯片,是智能电压调整的关键设备;无线通信设备负责接收传感器信息并发送到照明控制中心。

通信协议是覆盖整个照明系统的 ZigBee 网络通信节点,上位机为网络信号操控设备,各通信设备之间设置通信协调节点,上位机向控制终端发送信息,通过协调节点的路由器串口,完成密钥匹配后能够继续向下传输信息或实现信息存储^[5]。通信协议硬件结构如图 1 所示:

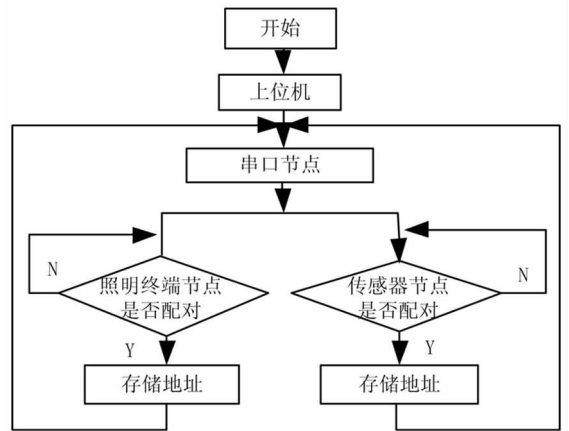


图 1 通信协议硬件结构

1.2 基于 ZigBee 网络的系统软件

系统软件以 ZigBee 网络技术为基础构建软件组网,划分三个主要模块: ZigBee 网络模块、上位机控制模块、分布式照明终端管理模块。ZigBee 网络模块主要通过网络协调节点传输并检测信号,当路灯开始运行后,上位机控制中心会发布初始化指令,根据照明终端反馈回的信息判断路灯蓄电池储存能量情况,检测判断是否需要增加或减少供电,同时检测照明系统电压稳定性,如果出现信号异常,系统控制中心会及时调整继电器开关,保护照明终端^[6-7]。在所有通信工作运行过程中,需要无数个网络通信节点协调工作,以 pan 通信密码为通信匹配符号,根据上一节点的信号编码进行内部程序编写,再传输到下一节点,完成高保密性的信息传输工作。

上位机控制模块为系统管理中心,工作人员能够在上位机管理模块中获取系统各个部分的实时运行信息,并针对不同情况进行检查和调整^[8-9]。同时上位机会设置管理权限,不同身份的工作人员拥有不同的权限,登录后系统根据用户自身信息自动识别权限范围,开放适当的管理权限给工作人

员,有利于提高工作效率和有序性^[10]。

分布式照明终端管理模块采用神经网络技术进行优化以适应分布式照明结构,每个通信节点能够向水平和垂直范围发射多个信号,对周围多个路灯进行控制,每次通信需要经过神经网络对其信号数据进行自适应检测^[11]。自适应神经网络结构如下所示:

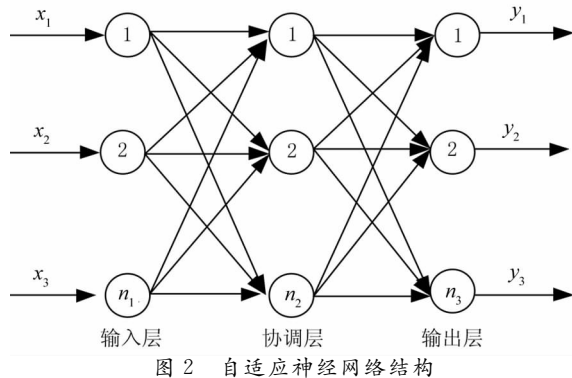


图2 自适应神经网络结构

神经网络主要分三层进行终端节点数据检测,第一层是通信匹配层,通信节点传输信息通过激活函数实现连接匹配,激活函数如下:

$$\text{code}(x) = \frac{1}{1 + a^{-x}} \quad (1)$$

式中, $\text{code}(x)$ 表示激活密码, a 代表传输信号代码。激活后信号传输到下一层,每个通信节点为一个神经元,形成的通信终端节点神经网络结构如图3所示:

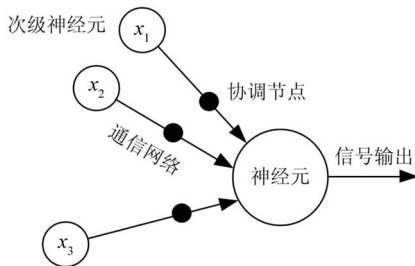


图3 通信节点神经网络结构

最后,通信节点将信号输入上级传感器,通过协调节点权值调整每个信号输入数据的权重:

$$x_i = \sum_{j=1}^n e \cdot x_j + \theta \quad (2)$$

其中, x_i 表示输入神经元信号数据,样本总量为 n , x_j 表示下一层级直接关系的神经元信号数据, θ 为神经网络协调节点权值。经过加权后传输到传感器控制终端的神经节点数据需要经过差分函数转化为系统应用规格数据:

$$x' = f(x_i - \theta) \quad (3)$$

式中, x' 代表传感器控制终端输出的节点数据,经过差分函数转化后的数据还需要经过神经元

偏差修正来保持通信数据传输的稳定和准确^[12]。引入偏差变量 μ ,对代价函数进行求导,得到偏差修正公式如下:

$$\mu_i = \sum_i e \cdot \mu_{i+1} \cdot \varphi'(\theta_i) \quad (4)$$

式中, μ_i 为偏差修正系数, μ_{i+1} 为引入的中间误差系数, φ' 为偏差权重系数的求导。计算后能够进一步减小误差,提高系统检测数据的准确率。

2 基于自适应 PSD 算法的路灯分布式节能控制

2.1 路灯动态信号检测

为了满足分布式照明系统节能控制,选用自适应 PSD 算法对路灯分布式节能控制系统进行设计。首先需要检测采集照明系统的路灯动态信号,通过传感器雷达信号获取路灯持续性的运行状态,针对路灯熔池宽度动态变化进行监测分析^[13]。设置传感器信号接收频率为 3Hz,以 30 min 为一个监测周期获取信号数据,并分析信号传输速度与路灯熔池宽度变化的关系,得到路灯动态信号响应图如图4所示:

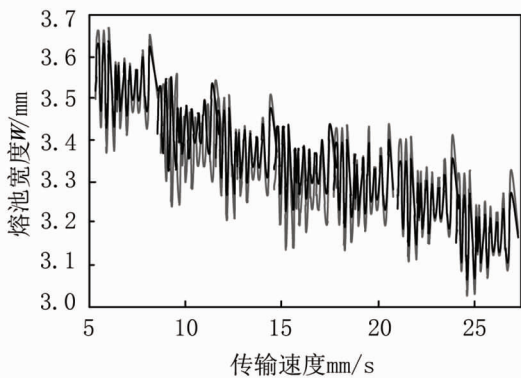


图4 路灯动态信号响应图

2.2 路灯动态特性分析

选用非线性辨识控制模型对路灯动态信号进行分析识别,设定传输速度为 V ,路灯熔池宽度为 AH ,动态关系识别和特征分析需要引入多项参数,影响时间关系变化的通信延迟因子计算公式如下:

$$Y(x^{-1}) = y_1 x^{-1} + y_2 x^{-2} + \dots + y_n x^{-n} \quad (5)$$

式中, $Y(x^{-1})$ 表示通信节点的延迟因子, y_n 表示各节点的延时数值, x^{-n} 表示相邻节点的差分序列。根据差分关系计算熔池电流动态权重系数 $C(x^{-1})$:

$$C(x^{-1}) = 1 + c_1 x^{-1} + c_2 x^{-2} + \dots + c_n x^{-n} \quad (6)$$

式中, c_1, \dots, c_n 表示通信节点在对应时刻内的

熔池电流动态数据变化权值。

$$B(t) = 1 + B_1 t^{-1} + B_2 t^{-2} + \dots + B_n t^{-n} \quad (7)$$

其中, $B(t)$ 为通信传输的白噪声干扰系数, B_n 为通信周期内关键节点所接收到的白噪声系数。综合上述公式能够得到传输速度与路灯熔池宽度之间的差分动态特征关系方程:

$$v(t)AH(x) + Y(x^{-1}) + C(x^{-1})B(t) \quad (8)$$

其中, $AH(x)$ 表示对应时刻通信节点的路灯熔池宽度, $v(t)$ 为该时刻电流的传输速度。计算所得结果可分析出分布式路灯动态信号变化的特性。

2.3 基于自适应 PSD 算法的路灯分布式节能控制

分布式路灯的运行过程中会受到多种不确定性因素影响,单一静态的参数无法满足路灯照明自适应节能控制需求^[14]。因此,在上述对路灯信号动态特征分析提取的基础上,需要采用自适应 PSD 算法对分布式路灯结构进行动态的自适应控制。利用神经网络算法的学习功能,基于检测到的路灯输出的各项参数进行指标构建,对路灯照明系统实际输出和预期输出数据进行对比分析,以调整建立路灯分布式照明系统自适应节能控制^[15]。

首先,需要计算熔池宽度的偏差系数、累积因数和微分参数:

$$E(a) = e(a) - e(a - 1) \quad (9)$$

式中, $E(a)$ 为照明终端节点的熔池宽度的偏差系数, a 为终端节点熔池序列, e 为熔池宽度误差权重。

$$S(a) = \sum_{n=1}^{i=1} e(a) x_i(a) \quad (10)$$

式中, $S(a)$ 为照明终端节点的熔池宽度的累积因数, x_i 为终端节点的通信数据。

$$M(a) = \sqrt{e(a) - 2e(a - 1) + e(a - 2)} \quad (11)$$

式中, $M(a)$ 为照明终端节点的熔池宽度的微分参数。基于上述参数计算,引入相关系数进行加权,计算出各节点之间的神经网络关联公式:

$$U(x) = t \sum_{n=1}^{i=1} \gamma \cdot S(a) - E(a)(x_{i-1}) + M(a) \quad (12)$$

其中, $U(x)$ 表示各终端节点之间的神经网络关联函数, γ 为节点神经元的比重系数,其计算公式如下:

$$\gamma = \frac{\rho(x_i)}{\sum_{n=1}^{i=1} |\rho(x)|^2} \quad (13)$$

式中, ρ 为终端节点神经元图像数据均值的加权系数。为了增强自适应控制的稳定性,需要对控制性能指标进行函数最小化处理:

$$\min(x_n) = \frac{1}{n} \sum_n^{i=1} [e(x_n + 1)]^2 \quad (14)$$

函数最小化处理进一步减小了路灯信号检测的动态不确定性,最后需要二值化计算提高信号数据检测精准度:

$$f(x) = -\frac{1}{2}(x + 1) \frac{y(x + 1)}{e(x)} \quad (15)$$

经过二值化规范处理后,使自适应 PSD 算法对分布式路灯信号检测的精准度和稳定性都得到进一步增强。

3 实验研究

为了检验基于 ZigBee 网络和自适应 PSD 算法的路灯分布式节能控制方法的实际应用效果,选取某城市面积为 4500 m² 的地下停车场为实验场地,分布使用本文研究的路灯分布式照明系统节能控制方法和传统方法,进行对比实验,更清晰、具体地分析基于 ZigBee 网络和自适应 PSD 算法的路灯分布式节能控制方法的控制效果。实验场地的照明设备基本分布情况如图 5 所示:

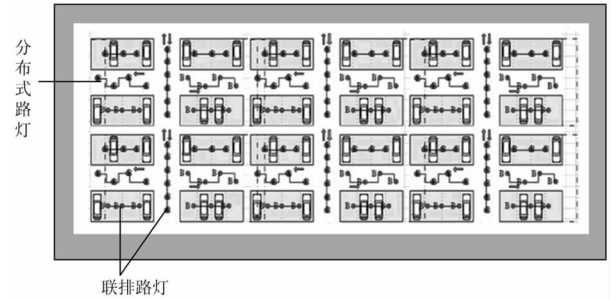


图 5 停车场照明设备分布图

3.1 自适应信号检测精度测试与分析

本文选用基于 ZigBee 网络和自适应 PSD 算法的路灯分布式节能控制方法和传统的方法进行同周期检测实验。照明系统的控制终端和传感器等设备之间的距离是固定的,设定检测周期为 24 h,采用不同方法对停车场内路灯照明情况进行监测,获取采集各路灯蓄电池电量运行动态特征,识别提取照明系统中各路灯在节能电量控制情况下的点亮数量。

由图 6 可见,基于 ZigBee 网络和自适应 PSD 算法的路灯分布式节能控制方法经过多次实验点亮的路灯数量一直保持在 995 个以上,最高实现了 1000 个路灯全部点亮,经过 ZigBee 网络准确稳定的检测运算和自适应 PSD 算法的合理控制,使照明系统点亮成功率高达 99%。而传统方法点亮路灯的数量普遍低于 990,在第一次试验中基于 NB-

LOT算法的控制方法点亮个数只有981,如果需要全部点亮,则需要进一步加大电力供应。



图6 节能控制路灯分布式点亮数量

由此可见,本文研究的方法具有更高的自适应信号检测精度,比传统方法控制效果更好,合理配置电力资源,减少了额外电力消耗,能够很好地实现路灯分布式节能控制。

3.2 实验结果与分析

如图7所示,基于 ZigBee 网络和自适应 PSD 算法的路灯分布式节能控制方法在实验过程中路灯蓄电池熔池宽度始终保持在 3.5 W/mm 水平,并没有因为时间的推移而产生变化,具有良好的稳定性,控制效果良好。而传统方法分别产生了比较明显的宽度波动,特别是基于 NB-LOT 算法的控制方法的熔池宽度降低到 3.1 W/mm,不利于系统进行合理的自适应调节,容易引发供电不足或失衡等异常情况。由此表明,本文研究的方法对熔池宽度的控制效果很好,系统传输数据检测也十分准确,有效提高了自适应控制的效率和稳定性,进一步提高了应用效果。

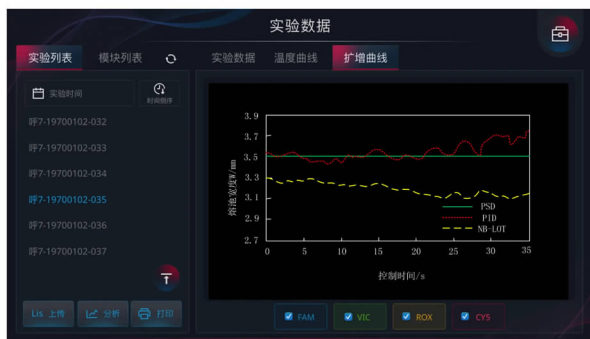


图7 自适应 PSD 节能控制熔池宽度变化

4 结论

研究了一种基于 ZigBee 网络和自适应 PSD 算法的路灯分布式节能控制方法,经过分析和实验得出以下结论:

(1)基于 ZigBee 网络技术构建路灯分布式节

能控制系统,优化了硬件系统和软件系统结构,使信号传输更安全、快速,提高了通信效率和数据处理水平。

(2)提高对路灯信号动态特征进行检测提取,使用自适应 PSD 算法计算照明系统运行参数,实现综合高效的分布式路灯信号自适应检测,智能分配路灯电力需求。

综上所述,本文研究的基于 ZigBee 网络和自适应 PSD 算法的路灯分布式节能控制方法能够有效提高路灯信号自适应检测精度和效率,增强分布式路灯节能控制的稳定性,优化路灯电力资源分配,具有良好的节能效果,但仍存在一些不足之处:

本文所研究的方法需要较高配置的计算机作为控制中心的上位机来支持系统运行,成本较高,操作难度较大,对工作人员的工作能力有一定要求,不适用于小型照明系统,在后续研究中应进一步加强对技术成本方面的研究,合理优化资源配置。

参考文献

- [1] 廖戈剑,谭海,刘曙.基于PID控制算法的智能路灯亮度调节系统设计[J].自动化与仪表,2020,35(11):29-34.
- [2] 彭育强,郭景阳,郭芷旗.基于NB-IoT技术的低功耗智能路灯系统设计[J].自动化与仪表,2022,37(1):65-69.
- [3] 王琳,肖军,王威.基于 ZigBee 技术的可组网太阳能 LED 路灯终端控制器的设计[J].微型电脑应用,2020,36(4):32-37.
- [4] 彭卫东,苏子钦,尹向东,等.基于 ZigBee 无线网络的机场助航灯在线监测系统[J].电子设计工程,2022(18):30-35.
- [5] 廖威.基于 ZigBee 的无线传感器物联网控制系统设计[J].自动化与仪器仪表,2020(10):14-17.
- [6] 殷明,李富华,侯汇宇.基于 2.4G 及 ZigBee 的物联网智能家居控制系统设计[J].自动化与仪表,2020,35(5):58-61.
- [7] 姚冬,符传福,陈钦柱,等.基于 ZigBee 自组网的智能感知生产控制系统设计[J].电子设计工程,2021,29(13):46-49.
- [8] 霍一,马晓轩. ZigBee 与神经网络的智能节能照明控制系统设计[J].现代电子技术,2020,43(20):67-73.
- [9] 吴鸿,王益斌,余秋军.基于 ZigBee 无线通信技术的 PLC 控制系统设计与实现[J].中州煤炭,2022(2):44-49.
- [10] 孙同陈,李峰.基于道路网络的 LED 路灯聚类组网算法的研究[J].计算机与数字工程,2022(3):50-54.
- [11] 刘广志,王敏,贺雷,等.基于神经网络 PSD 算法的 LMD 自适应控制系统[J].兵工自动化,2020,39(6):15-18.
- [12] 杨明山,王梦灏,陈远港,等.基于 ZigBee 的 LAMOST 无线控制系统设计[J].测控技术,2021(16):33-36.
- [13] 史兵丽,王刚,张会新,等.基于 ZigBee 无线网络的应变数据采集系统[J].仪表技术与传感器,2020(1):142-145.
- [14] 朱旭东.节能路灯控制系统设计[J].电子设计工程,2020,28(15):61-63.
- [15] 闫静静,王峥.路灯节能调控系统矢量传感器误差修正方法[J].计算机仿真,2021(1):38-40.