

ZigBee与神经网络智能节能照明控制系统设计

霍 一, 马晓轩

(北京建筑大学 电气与信息工程学院, 北京 100044)

摘 要: 随着 ZigBee 无线网络技术在节能照明中得到广泛应用, 基于 ZigBee 无线网络技术的智能节能照明控制系统已经日渐成熟。但是当较远距离传输时, 当前系统所传输的数据稳定性仍然存在不足。因此, 该文提出一种新的基于 ZigBee 无线网络技术与神经网络算法的智能节能照明控制方案, 并设计实现了智能节能照明控制系统。首先基于 ZigBee 技术, 提出智能节能照明控制系统硬件通信协议, 设计实现智能节能照明控制硬件子系统, 硬件子系统由协调器节点模块、控制器节点模块、传感器节点模块构成, 节点模块采用 CC2530 芯片设计开发; 其次基于 BP 神经网络进行终端节点数据帧检测, 优化 ZigBee 网络传输的稳定性, 并设计实现上位机监控软件子系统。实验结果表明, 该文开发的基于 ZigBee 无线网络技术与神经网络算法的智能节能照明控制系统在保证节能的前提下, 还可以使 ZigBee 无线网络在较长距离传输时保持稳定。

关键词: 智能节能; 照明控制系统; 系统设计; ZigBee 无线网络; 神经网络; 实验测试

中图分类号: TN711-34

文献标识码: A

文章编号: 1004-373X(2020)20-0061-06

Design of intelligent energy-saving lighting control system based on ZigBee and neural network

HUO Yi, MA Xiaoxuan

(School of Electrical and Information Engineering, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China)

Abstract: With the wide application of ZigBee wireless network technology in energy-saving lighting, the intelligent energy-saving lighting control system based on ZigBee wireless network technology has been increasingly matured. However, the stability of the data transmitted by the current system is still insufficient when the data is transmitted over a long distance. Therefore, a new intelligent energy-saving lighting control scheme based on ZigBee wireless network technology and neural network algorithm is proposed, and an intelligent energy-saving lighting control system is designed and implemented. The hardware communication protocol of the intelligent energy-saving lighting control system is proposed based on ZigBee technology, and the hardware subsystem of the intelligent energy-saving lighting control is designed and implemented. The hardware subsystem is composed of coordinator node module, controller node module and sensor node module. The node modules are designed and developed with CC2530 chip. The data frame of terminal node is detected based on BP neural network to optimize the transmission stability of ZigBee network. The subsystem of upper computer monitoring software is designed and implemented. The experimental results show that the intelligent energy-saving lighting control system based on ZigBee wireless network technology and neural network algorithm can make ZigBee wireless network stable during long distance transmission on the premise of ensuring energy saving.

Keywords: intelligent energy saving; lighting control system; system design; ZigBee wireless network; neural network; experiment test

0 引 言

由于楼宇设施场所在夜间普遍存在“长明灯”现象, 导致 24 h 内照明灯在不间断地消耗能量, 因此造成了大量能源的浪费^[1]。目前, 国内外针对节约能源问题提出了多种节能方案^[2-4], 其中基于 ZigBee 无线网络技术的

节能方案较为成熟。虽然利用 ZigBee 无线网络技术, 开发的智能节能照明系统日渐成熟, 并应用广泛, 且能够较好地节约能源。但是当较远距离传输时, 传统 ZigBee 智能节能照明控制系统所传输的数据稳定性仍然存在不足。

因此, 针对上述问题, 在满足节约能源的前提下, 本文提出一种基于 ZigBee 无线网络技术与神经网络算法的智能节能照明控制系统, 它由硬件子系统和上位机监

收稿日期: 2020-02-27

修回日期: 2020-04-13

基金项目: 国家自然科学基金(61402032)

控软件子系统组成。该系统利用 ZigBee 无线网络进行硬件节点模块的开发,又利用神经网络算法的可预测、自学习等特点^[5],进行上位机监控软件的开发,以实现现场节点组网配置和实时监控功能,并保证节能与自组网稳定的效果。

1 系统总体方案设计

1.1 ZigBee 技术

ZigBee 无线网络有着自组织、无线传输控制、开发成本低和设备安装方便等特点^[6]。ZigBee 是标准的低功耗和低成本无线网络协议^[7]。因为 ZigBee 技术有这些特点,所以本文利用 ZigBee 技术设计开发无线控制器,并将其无线控制器与传感器结合形成无线传感网络。无线传感网络之间通过 ZigBee 协议进行通信^[8],从而达到智能照明的目的。

1.2 系统设计思想

设计智能照明系统时,使用传感器扫描车或人的状态,进而根据扫描到的车或人的不同状态,来控制继电器的闭合,从而控制灯的开关;并且管理功能上还要设计一个串口通信模块,将传感器与继电器无线连接起来,并和上位机可以实时通信。

传感器与继电器无线连接,传感器对继电器进行无线开关控制,解决了传统方案 24 h 不间断照明的耗能问题。上位机软件设计时,在控制程序中加入神经网络算法,通过 RS 485 串口对每个子模块下发控制程序,保证 ZigBee 自组网的稳定。

1.3 现场控制网络结构

本文开发的智能节能照明控制系统主要由传感器终端节点、照明控制终端节点、路由节点以及协调器节点和上位机组成。上位机软件负责无线网络系统的组网配置等任务,各个节点与上位机形成一种网络结构。整个现场控制网络结构如图 1 所示。

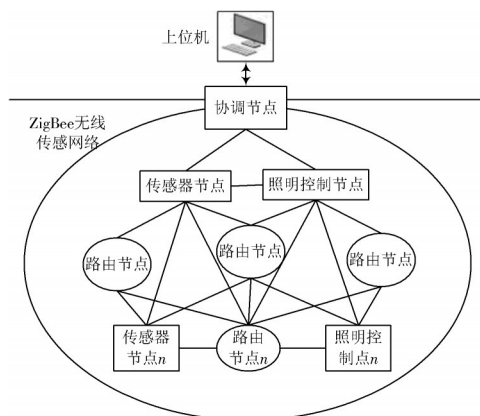


图 1 现场控制网络结构

图 1 中各部分的关系如下:

传感器终端节点与照明控制终端节点可以通过路由节点,将自己的物理地址发给协调器节点。路由节点用来跳转。协调器节点与上位机用 RS 485 串口线相连接,并向上位机上传所采集的传感器终端节点与照明控制终端节点物理地址。

上位机对传感器终端节点与照明控制终端节点进行节点配对,在配对完成后,下发配对数据给协调节点;协调节点将该数据广播发送给传感器终端节点与照明控制终端节点。

2 硬件子系统的设计与开发

2.1 硬件选取

本文基于 CC2530 芯片开发 ZigBee 无线网络。该芯片的 P1.2 管脚,用于接收雷达红外双鉴传感器的正电压信号。该芯片的 P1.3 管脚,接三极管基极,给出一个 3.3 V 电压,然后使集电极电压放大,使得二极管导通,致使回路导通继电器闭合。本文开发的 ZigBee 无线网络的硬件节点模块的稳定传输距离为 1~130 m。

传感器检测终端节点主要由雷达红外双鉴传感器和无线收发器组成,负责采集人或者其他物体的移动信号,并发送无线控制信号。传感器检测电路原理如图 2 所示。

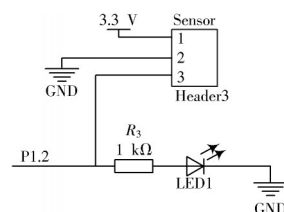


图 2 传感器检测电路原理

照明控制终端节点主要由继电器和无线收发器组成,负责日光灯的开关。照明控制电路原理如图 3 所示。

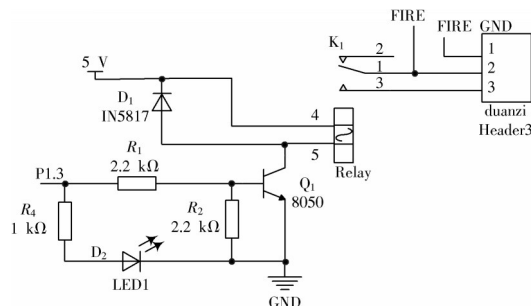


图 3 照明控制电路原理

传感器检测终端节点与照明控制终端节点设计在同一电路板内,其终端节点结构如图 4 所示。

协调节点由含 RS 485 串口的 1 台 PC 机和含 RS 485 串口的 CC2530 芯片所开发的协调器模块组成,负责采

集传感器终端节点与照明控制终端节点物理地址。协调节点结构如图5所示。

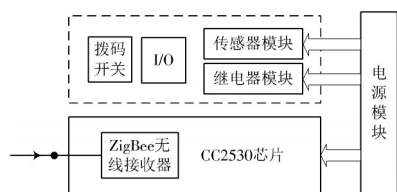


图4 终端节点结构

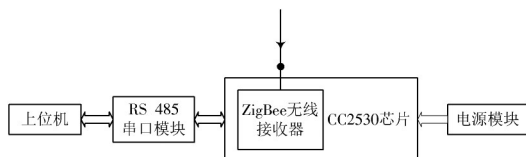


图5 协调节点结构

2.2 系统硬件通信协议设计

本文设计的智能节能照明控制系统硬件通信协议如下所述：

1) 各节点默认进入工作状态。上位机向RS 485协调节点发送0xF0F0, RS 485协调节点通过无线向各节点广播发送, 各无线节点收到0xF0F0, 便不再执行任何检测和控制任务, 即进入配对状态。然后, 照明控制终端节点, 上传物理地址数据。

2) 各节点默认进入工作状态。上位机向RS 485协调节点发送0xF0F0, RS 485协调节点通过无线向各节点广播发送, 各无线节点收到0xB0B0, 便不再执行任何检测和控制任务, 即进入配对状态。然后, 传感器监测终端节点, 上传物理地址数据。

3) 上位机节点向RS 485协调节点发信息：“配对”是一个检测节点与一个控制节点配对, 因此数据包长度不定。数据包起始字符为0x8080。数据包内格式为第一个数为检测节点地址, 之后一个为控制节点地址。

4) 上位机节点向RS 485协调节点发信息：“实时监测”是对若干个照明控制终端节点进行实时监测。数据包起始字符为0x9090。当若干个照明控制终端节点收到0x9090, 便上传照明控制终端节点上继电器的状态数据给RS 485协调节点, RS 485协调节点再上传给上位机。

智能节能照明控制系统的硬件通信协议设计流程如图6所示。

3 软件子系统的设计与开发

3.1 BP神经网络的原理与结构

BP神经网络是一种按照误差反向传播算法训练的多层前馈神经网络^[9]。利用BP神经网络的误差反向传

播, 可以校验 ZigBee 网络节点所接收的数据帧是否准确; 并且根据神经网络的自学习能力, 可及时修正错误的帧。

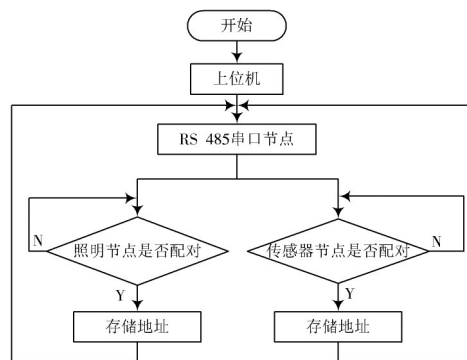


图6 硬件通信协议设计流程

BP神经网络结构如图7所示, 它具有单向传输及多层次的特点^[10]。因为BP神经网络结构与照明所用灯具的布局十分相似, 所以每个实际应用的 ZigBee 网络节点都可以近似看成BP神经网络的神经元, 且节点的数据传输指向也可设计成符合BP神经网络的结构。

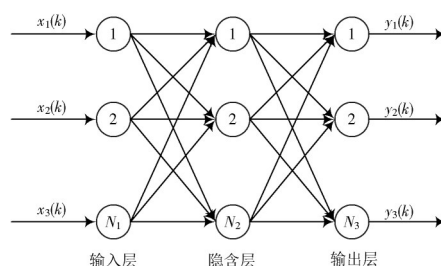


图7 BP神经网络结构

3.2 BP神经网络优化终端节点设计

3.2.1 终端节点结构说明

本文利用BP神经网络来检测传感器终端节点通过 ZigBee 网络向控制器终端节点所发的数据帧, 并检查该数据帧的准确性。

本文以一个传感器终端节点为例, 一个传感器终端节点扫描到移动的人或物, 向上下左右垂直水平发出控制信号给控制器终端节点, 使控制器终端节点的继电器闭合。实际一个传感器终端节点控制周围4盏灯具, 加上传感器终端节点自身的控制器, 可一共控制5盏灯具的亮灭。每一个传感器终端节点每一次向控制器终端节点所发的数据帧, 都会利用BP神经网络来检测一次其数据帧的准确性。

3.2.2 基于BP神经网络的终端节点数据帧检测

本文使用三层BP神经网络, 激活函数使用sigmoid函数, 函数公式如下:

$$\text{sigmoid}(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}}$$

神经元拓扑结构图如图8所示。

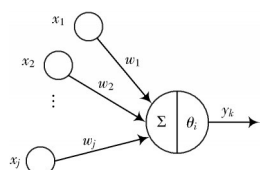


图8 神经元拓扑结构

图8中, x_1, x_2, \dots, x_j 为传感器终端节点的数据帧发送神经元的输入, w_1, w_2, \dots, w_j 为连接权值调节各个输入量的权重比; y_k 为控制器终端节点的数据帧接收神经元的输出。用 b_j 代表神经元的偏差。选取最便捷的线性加权求和可得 z_j 神经元净输入为:

$$z_i = \sum_{j=1}^n w_j \cdot x_j + b_j \quad (1)$$

用 θ_j 表示神经元的阈值, 将 z_j 和 θ_j 进行比较, 然后通过激活函数处理以产生神经元的输出。这样就得到控制器终端节点的数据帧接收神经元的输出为:

$$y_k = f(z_j - \theta_j) \quad (2)$$

通过反向传播, 对比传感器终端节点的数据帧发送神经元的输入 x 与控制器终端节点的数据帧接收神经元的输出 y 的数据值是否相同, 从而判定 ZigBee 无线网络的数据传输是否稳定。

如果数据传输不稳定, 本文通过修正连接权值 w 与神经元的偏差值 b , 来整定控制器终端节点的数据帧接收神经元的输出 y 的数据值, 从而使 ZigBee 无线网络的数据传输保持稳定。

3.2.3 连接权值与神经元偏差值的修正

BP神经网络的反向传播能够更改神经网络中的权重 w 和偏差 b 。利用代价函数计算代价函数对权重 w 和偏差 b 的偏导数, 从而修正权重 w 和偏差 b 。

把单个样本的代价函数定义为:

$$L(x, y) = -[y \cdot \log x + (1 - y) \cdot \log(1 - x)] \quad (3)$$

引入一个中间变量 δ_{j+1} , 把它叫作神经元的输出层误差。反向传播能够计算出误差 δ_{j+1} , 然后再将其对应回代价函数对权重 w 和偏差 b 的偏导数。添加一个扰动 Δd_{j+1} 使得代价函数变小, 通过梯度下降法原理, 计算出误差 δ_{j+1} 。误差 δ_{j+1} 为:

$$\delta_{j+1} = \frac{\partial L(x_j, y_k)}{\partial d_{j+1}} \quad (4)$$

对 d_{j+1} 求偏导为:

$$\delta_{j+1} = \frac{\partial L}{\partial x_j} \sigma'(d_{j+1}) \quad (5)$$

再通过梯度下降法原理, 计算出神经元的隐层误差 δ_j 。误差 δ_j 为:

$$\delta_j = \sum_k w_j \cdot \delta_{j+1} \cdot \sigma'(d_{j+1}) \quad (6)$$

再通过反向传播得代价函数对权重 w 和偏差 b 的偏导数, 其偏导数为:

$$\frac{\partial L}{\partial b_j} = \delta_j, \quad \frac{\partial L}{\partial w_j} = x_j \cdot \delta_j \quad (7)$$

再根据梯度下降法原理, 反方向更新权重 w 和偏差 b 。最终权重 w 和偏差 b 为:

$$b_j = b_j - \alpha \cdot \frac{\partial L}{\partial b_j}, \quad w_j = w_j - \alpha \cdot \frac{\partial L}{\partial w_j} \quad (8)$$

式中, α 是神经网络的学习度。

最后通过所求得的连接权值 w 与神经元的偏差值 b , 来修正控制器终端节点的数据帧接收神经元的输出 y 的数据值, 从而使 ZigBee 无线网络的数据传输达到准确无误。

3.3 照明中心管理模块设计

考虑到照明控制系统在投入使用后, 将会有不同类别人员使用上位机管理软件, 本文在上位机设计基于角色的权限控制机制, 使不同类别的用户具有不同权限。管理人员可以通过管理中心软件界面查看终端节点上传的实时数据, 根据对数据的分析可以手动或者自动对灯具的运行状态进行设定。同时可以看到当前路灯的实际运行状态, 当灯具发生故障时, 管理中心软件会发出报警, 同时照明管理中心根据软件的照明灯具管理图信息, 在管理图中标出不同区域灯具的具体位置, 能够在管理图上查看到报警灯具的定位信息, 方便维护人员准确到达路灯损坏位置。

4 实验测试与分析

4.1 照明中心管理模块测试与分析

本文使用 3 000 m² 的地下车库作为实验中心, 用来检测本文开发的 ZigBee 无线网络技术与神经网络算法的智能节能照明控制系统的节能与自组网稳定情况。

照明中心管理模块可以观察地下车库灯具分布情况, 以及人或车辆来往过程中灯具的照明情况。照明中心管理模块中地下车库照明灯具部分分布图如图9所示。图9中所有灯具为熄灭状态。

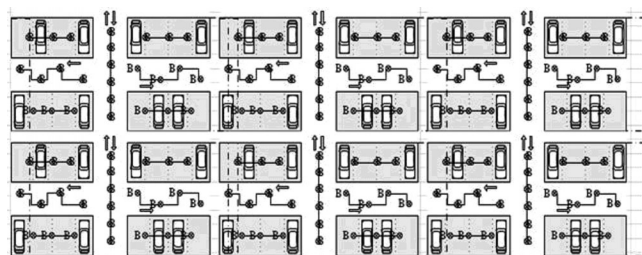


图9 地下车库照明灯具部分分布图

根据该分布图, 测试车辆移动与停靠时, 地下车库灯具照明情况。车辆移动与停靠的灯具照明情况图如

图10所示。图中,黑色箭头方向为车辆移动方向,红色圆点为灯具点亮状态,白色圆圈为灯具熄灭状态。当测试车辆停靠5 min后,地下车库灯具相应熄灭,灯具回到图9的状态。

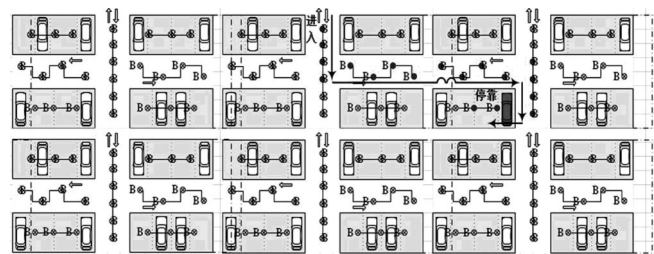


图10 车辆移动与停靠的灯具照明情况图

以图9、图10中灯具的照明情况分析,当车辆在行驶过程中,本文的 ZigBee 无线网络技术与神经网络算法的智能节能照明控制系统,可以保证在车辆经过时,车辆周边的灯具点亮;车辆停靠后,地下车库灯具相应熄灭。因此,该系统是切实可行的。

4.2 系统的 ZigBee 网络稳定性测试与分析

用本文的 ZigBee 网络传输距离,与传统的 ZigBee 网络传输距离进行比较。实验以不同间距的传感器节点模块与控制器节点模块组成,传感器节点模块发射信号给控制器节点模块,当控制器节点模块的继电器闭合时,该继电器所控制的灯具点亮。实验结果以灯具的亮灭为标准,来测量本文的 ZigBee 网络数据帧传输准确个数与传统的 ZigBee 网络数据帧传输准确个数。

实验采用 1 000 盏荧光灯,在本文使用的 3 000 m² 的地下车库,进行数据帧传输准确数目的比较。本文在传感器节点模块与控制器节点模块距离为 70 m,130 m,分别进行 10 次测量。其测量后所得的 ZigBee 网络数据帧传输准确数目比较图,如图 11、图 12 所示。

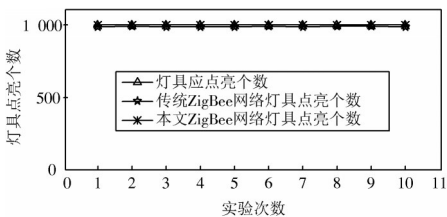


图11 70 m ZigBee 网络数据帧传输准确数目比较图

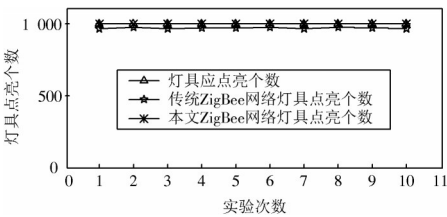


图12 130 m ZigBee 网络数据帧传输准确数目比较图

在传感器节点模块与控制器节点模块不同距离范

围内,进行一次测量,得到 ZigBee 网络数据帧传输准确数目比较表,如表 1 所示。

表 1 ZigBee 网络数据帧传输准确数目比较表

实验节点模块 间距 /m	传统 ZigBee 网络 的数据帧准确数	本文 ZigBee 网络 的数据帧准确数
60	995	1 000
70	991	1 000
80	990	1 000
90	988	1 000
100	987	1 000
110	985	1 000
120	983	1 000
130	980	1 000

综合考虑图 11、图 12 与表 1 数据,本文的 ZigBee 网络稳定性较强,尤其是在远距离传送数据帧上,有着较强的优势。以图 11,表 1 的 70 m 传送距离为例,在本文 ZigBee 网络传送数据帧的准确度为 100% 时,传统 ZigBee 网络传送数据帧的准确度下降为 99%,虽然百分比变化不大,但是在有 1 000 盏照明荧光灯的地下车库,就意味着灯具间在 90 m 的相对距离时,传统 ZigBee 网络系统所控制的灯具,会有 9~11 盏灯具在应该点亮而未点亮,这会造成一定的安全性问题发生。因此,本文的 ZigBee 网络系统在保证 ZigBee 网络系统稳定性的同时,也减少了一定的不安全因素。

4.3 系统的节能检测与分析

本文对该 3 000 m² 的地下车库进行了 1 个月的无 ZigBee 网络、有传统 ZigBee 网络、有本文 ZigBee 网络的灯具用电量的预估统计。预估统计中灯具的用电量,是按照每天每盏灯具平均照明时长乘以灯具总数乘以灯具功率乘以 30 天来计算的。地下车库的灯具距离为 70 m。节能预估统计检测结果如表 2 所示。

表 2 节能预估统计检测表

灯具参量	无 ZigBee 网络 的车库	传统 ZigBee 网络的车库	本文 ZigBee 网络的车库
灯具类型	荧光灯	荧光灯	荧光灯
灯具数量 /个	1 000	1 000	1 000
灯具功率 /W	42	42	42
灯具照度 /lx	150	150	150
每天每盏灯具 照明时长 /h	24	8	8
1 月内该车库灯具 总用电量 /(kW·h)	30 240	10 080	10 080

根据表 2 的实验数据比较,本文所设计开发的 ZigBee 无线网络技术与神经网络算法的智能节能照明控制系统,与所使长明荧光灯的一般中型地下车库比较,一个月节省能源消耗约 30 240 kW·h,可节省用电量约 66%;与所使传统 ZigBee 网络的一般中型地下车库

比较,在一个月节省能源消耗上基本持平。虽然在实际生活中,用电量是梯度计算,但本文所用的预估统计方法所计算出的可节约电量的百分比,与梯度计算可节约电量的百分比相比较,二者的比值应该是波动不大的。因此,本文所设计开发的 ZigBee 无线网络技术与神经网络算法的智能节能照明控制系统,在节约能源的问题上也是切实可行的。

5 结 语

针对长明灯的能源消耗大与 ZigBee 无线网络的稳定性问题,本文利用 CC2530 芯片设计开发了基于 ZigBee 无线网络技术与神经网络算法的智能节能照明控制系统。本文首先设计智能照明系统硬件通信协议;然后开发了无线网络协调器节点、传感器终端节点以及照明控制终端节点,并以上位机为控制中心,并协调、绑定各个节点,完成组网配置功能;最后利用 BP 神经网络进行了终端节点数据帧检测,优化 ZigBee 网络传输的稳定性。实验结果表明,所开发的 ZigBee 网络与神经网络算法的照明智能节能控制系统成功解决了长明灯控制系统能源消耗大、传统 ZigBee 智能节能照明控制系统在较远距离传输数据不稳定等问题。

作者简介:霍 一(1989—),男,北京人,硕士,主要研究方向为机器学习、硬件开发。

马晓轩(1977—),男,北京人,博士,副教授,主要研究方向为机器学习、网络检测。

(上接第 60 页)

他变换器的软开关设计具有一定的参考价值。

参 考 文 献

- [1] 罗辞勇,魏欣欣,王卫耀,等.基于耦合电感的零电压零电流软开关 Buck 变换器[J].浙江大学学报(工学版),2016,50(4):663-670.
- [2] SAHIN Y, TING N S, AKSOY I. A highly efficient ZVT-ZCT PWM boost converter with direct power transfer [J]. Electrical engineering, 2018, 100(2): 1113-1123.
- [3] 韦莉,刘帅,尤伟玉,等.一种新型非谐振型软开关交错并联 Boost 电路[J].电工技术学报,2017,32(3):172-183.
- [4] 于仲安,何俊杰.新型无源无损 Boost APFC 电路设计与仿真[J].现代电子技术,2018,41(16):43-46.
- [5] ZHANG X, JIANG L, DENG J J, et al. Analysis and design of a new soft-switching boost converter with a coupled inductor [J]. IEEE transactions on power electronics, 2014, 29(8): 4270-4277.

作者简介:王少斌(1995—),男,山西晋城人,硕士研究生,主要研究方向为电路与系统、信号与处理。

苏淑靖(1971—),女,山西太原人,硕士生导师,教授,主要研究方向为感知与探测、信号与处理。

参 考 文 献

- [1] 张屹.既有建筑地下车库照明节能减排的探讨[J].照明工程学报,2013,24(4):48-54.
- [2] 陈晓莉,王志铎.基于 ZigBee 的道路智能照明控制系统设计[J].现代电子技术,2019,42(12):72-75.
- [3] 春江锋.舒适性节能照明控制策略的研究[D].西安:陕西科技大学,2018.
- [4] 许果栗.交通节能照明设施控制系统研究[D].重庆:重庆交通大学,2012.
- [5] 朱广华.BP 神经网络和卡尔曼滤波相结合的船舶运动跟踪[J].舰船科学技术,2016,38(20):82-84.
- [6] 杨超,魏东,庄俊华.基于 ZigBee 无线网络技术的地下车库照明节能控制系统研发[J].电工技术学报,2015,30(z1):490-495.
- [7] KATO S, TAKEUCHI E, ISHIGURO Y, et al. An open approach to autonomous vehicles [J]. IEEE micro, 2015, 35(6):60-68.
- [8] 陈晓莉,王志铎.基于 ZigBee 的道路智能照明控制系统设计[J].现代电子技术,2019,42(12):72-75.
- [9] 闻新,张兴旺,朱亚萍,等.智能故障诊断技术:MATLAB 应用[M].北京:北京航空航天大学出版社,2015.
- [10] MCCLISH D K, WILK A R, SCHUBERT C M. Choosing between the BP and BN sequential strategies [J]. Pharmaceutical statistics, 2019(3): 533-545.
- [6] AKIN B. An improved ZVT-ZCT PWM DC-DC Boost converter with increased efficiency [J]. IEEE transactions on power electronics, 2013, 29(4): 1919-1926.
- [7] 赵文辉,沈艳霞,赵芝璞.无损软开关无桥 Boost PFC 变换器的研究[J].电力电子技术,2019,53(1):117-120.
- [8] TING N S, ALTINTAS N. A soft switching single phase power factor correction AC-DC boost converter with passive snubber [C]// International Conference on Electrical & Electronic Engineering. Ankara: IEEE, 2017: 13-17.
- [9] 韩哲,刘竞雄.基于耦合电感的新型 Boost 软开关的研究[J].电力电子技术,2016(4):92-93.
- [10] 刘帅,韦莉,张逸成,等.耦合电感式新型交错 Boost 软开关变换器研究[J].电子测量与仪器学报,2014,28(12):1340-1347.
- [11] 李鹏程,张纯江,阚志忠,等.软开关高增益 Buck-Boost 集成 CLLC 型直流双向变换器[J].中国电机工程学报,2018,38(11):3295-3305.
- [12] 张建丰,许建平,周翔,等.一种基于辅助网络的软开关二次型 Boost 高增益变换器[J].电工技术学报,2017,32(24):71-79.