

基于物联网的城市路灯模糊智能调控策略研究

张少芳,王月春

(石家庄邮电职业技术学院,河北 石家庄 050021)

摘要:为提高城市路灯管理水平,节省电能消耗,在分析了物联网路灯等效模型的基础上,提出了一种适用于物联网路灯管理的模糊控制策略。当光照强度不高于 15 lx,模糊控制器可根据特定路段通行量大小对路灯端电压进行调节,调整对应路段路灯的亮度,节约电能,同时,通过模糊控制器中的电压、电流反馈,对路灯运行状态进行远程监控,提高了管理和维护效率。

关键词:城市路灯;物联网;模糊控制;光照强度

中图分类号:TP391.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5322(2015)04-0046-05

城市路灯管理是智能交通的重要组成部分,当前的路灯普遍采用人工定时控制,管理上存在较大的弊端^[1-2]:(1)灵活性较低,特别是在局部阴雨等突发状况时,路灯控制很难满足实际的应用需求,且当路灯出现故障时,由于无法及时维护,给行人及车辆安全带来一定隐患;(2)当供电电压变化时,路灯的自调节能力差,电能利用率低,路灯耗电约占电能总耗电量的 5% 左右,约为几百亿度^[3]。随着物联网技术在智能交通中应用的日益广泛,利用物联网方案实现路灯管理与控制已成为可能。为此,本文以物联网路灯为控制对象,通过多重化评价管理,给出一种适合不同路况路灯的管理与控制策略,通过该策略,实现路灯的远程管理和控制,达到节约电能消耗与路灯灵活控制的目的。

1 物联网路灯的等效模型

物联网强调对象的可控性,对物联网路灯模型的分析,有助于提出合理可靠的控制及管理方案。物联网路灯的管理和控制主要通过无线通信及对应的软硬件支持来实现。某路段物联网路灯无线控制等效模型如图 1 所示。

图 1 中,单个路灯由对应的终端节点控制,在一定的地域范围内,各控制终端节点通过无线路由联系在一起。同时,在该路段区域内设置路

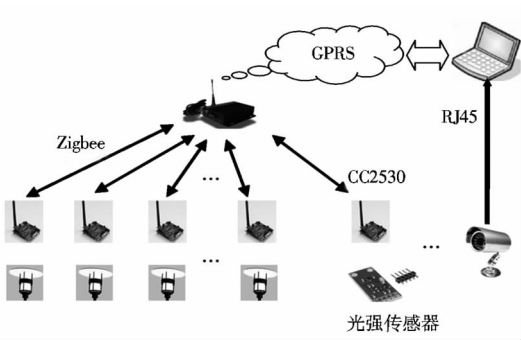


图 1 物联网路灯的等效模型

Fig. 1 Equivalent model of IOT street lamp

况信息采集装置,无线路由将所辖范围路况及路灯信息经 GPRS 传给管理计算机,管理计算机通过模糊控制算法,对不同区域的路灯进行动态调节。

为实现路灯的可控性,需注意:

(1)无线通信及协议规范。路灯的地理位置分散,采用无线通信实现路灯的远程控制是必要的。考虑当前无线通信的成本、传输速率、可靠性等,采用 ZigBee + GPRS 的通信模式^[4-5],与“一主多从”的应答管理方式。从站(某路段路由节点)利用 GPRS 通信向主站(监控计算机)发送路灯运行状况(端电压、电流检测数据)和路况数据(路段光照强度),监控计算机根据模糊控制算法及数据分析结果对各路由节点发送控制指令,经

Zigbee,由各路灯终端控制器调节路灯亮度。

(2)路况信息的采集和模糊知识库的建立。监控摄像头对特定路段进行通行量统计,并结合所在区域随季节变化的路灯开关时间、路灯开启所需光强要求等建立模糊知识库,为模糊控制提供参考阈值。光强检测、路灯端电压及电流大小通过 ZigBee + GPRS 网络传给监控计算机,监控计算机根据建立的模糊知识库,对采集到的数据信息进行模糊分析,适时对路灯亮度作出调节。

2 物联网路灯的模糊控制器设计

2.1 目标特征量的获取

目标特征量的获取主要是光照强度和路段通行量大小的确定。这里,光照强度具有较高的优先度,即若光照强度高于 15 lx,路段通行量大小不作为路灯开关状态的控制标准。

(1)光照强度信息的获取:利用专用的光照强度传感器可实现光照强度的获取。每个路由可根据覆盖面积大小选择一定数量的测量节点,当某个节点测量数据有误时,可剔除该节点测量值,利用其他节点对路灯进行调控。

(2)路段通行量信息的获取:当光强低于 15 lx 时,利用监控摄像头和高清卡口获取某路段行人、车辆的信息^[6],根据文献^[7]提供的组合预测算法,可实现该路段通行量的获取。

2.2 路灯模糊控制器设计

由图 1 路灯等效模型可知,路灯的模糊控制是通过分析通行量和光照强度来调节路灯端电压,实现路灯亮度控制。模糊规则表示为:

$$R_k: \text{if } (M_k \text{ is } A_k) \text{ and } (I_k \text{ is } B_k) \\ \text{then } U_k \text{ is } C_k$$

其中, M_k 、 I_k 、 U_k 分别为第 k 次采样通行量、光照强度、端电压; A_k 、 B_k 、 C_k 分别为第 k 次采样通行量量值、光照强度值、端电压大小。

根据模糊规则,路灯端电压 U_k 随采样通行量 M_k 、光照强度 I_k 变化规则如表 1 所示。

根据上述模糊规则,路灯的模糊控制器设计如图 2 示。由图 2,模糊控制器的关系运算为:

$$r = \bigvee_{k=1}^V \{M_k \wedge \Delta M_k \wedge I_k \wedge \Delta I_k \wedge U_k\}$$

对于多个路灯节点的控制,则有

$$\begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \vdots \\ U_k \end{pmatrix} = [M_k, \Delta M_k, I_k, \Delta I_k] \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1k} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2k} \\ r_{31} & r_{32} & \cdots & r_{3k} \\ r_{41} & r_{42} & \cdots & r_{4k} \end{bmatrix}$$

表 1 端电压 U_k 模糊控制规则表

Table 1 Table of Fuzzy Control Regulation

M_k	I_k						
	NB	NM	NS	O	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	PB	PB	PM	PS
NM	NB	NB	NB	PM	PM	PS	NO
NS	NB	NB	NM	PS	PS	NO	NS
NO	NM	NM	NS	NO	NO	NM	NS
PS	NS	NO	PS	PS	NM	NB	NE
PM	NO	PS	PM	PM	NB	NB	NB
PB	PS	PM	PB	PB	NB	NB	NB

注:NB(负大),NM(负中),NS(负小),NO(零),PS(正小),PM(正中),PB(正大)。

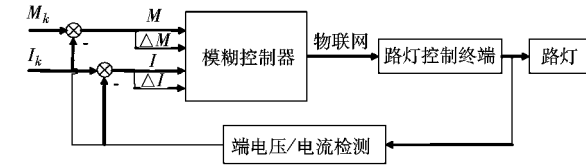


图 2 物联网路灯的模糊控制器

Fig. 2 Fuzzy Logic Controller for IOT Street Lamp

2.3 路灯模糊控制流程

路灯模糊控制的目的在于通过计算机语言实现端电压控制,其基本控制流程如图 3 所示。开始时,首先对无线路由节点进行初始化,采取试探法,确保每个路灯节点连接到 ZigBee 网络上;然后进行光照强度检测,当光强不高于 15 lx 时,进行路段通行量检测,最后由模糊控制器输出对应路灯的控制端电压,终端控制器根据模糊控制器指令,调节端电压值。

3 控制策略合理化分析与仿真

3.1 路灯模糊控制的合理性分析

控制策略的合理性分析,可通过路灯的模糊控制算法与传统的定时控制进行对比来实现。下面以重庆路灯管理为例进行分析。

(1)耗电量分析。重庆夏季晚上 19:30 开灯、次日早上 5:30 关灯,主城区主干道约 1.2×10^5 盏路灯,单盏路灯以 400 W 计算,单日共计耗电 $4.8 \times 10^5 \text{ kW}$;而采用模糊控制器,对整夜路灯亮度按通行量大小进行调整,19:30 - 24:30 和 4:30 - 5:30 为预计的通行高峰,此时段路灯调节处在额定功率范围,而其他时段,通行量较少,可调压至 200 W 照明,这样单日耗电约为 $3.8 \times 10^5 \text{ kW}$ 。与传统调控方式相比,模糊控制策略单日耗电节省约 $1.0 \times 10^5 \text{ kW}$ 。

(2)路灯维护、管理分析。对重庆主城区主干道约 1.2×10^5 盏路灯逐一进行故障排查,将耗费

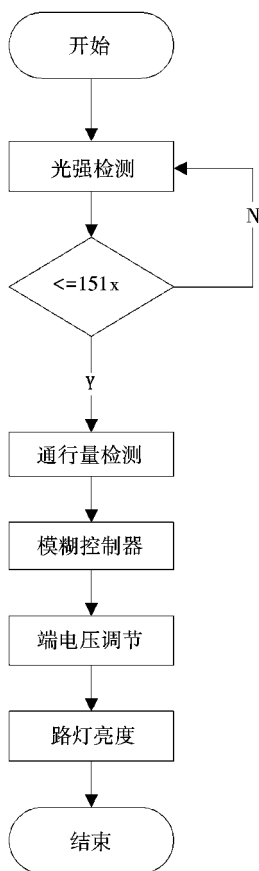


图 3 路灯的模糊控制流程

Fig. 3 Flow Chart of Fuzzy Logic Controller for Street Lamp

大量的人力物力,且实时性较差,如采用如图 2 所示的模糊控制器,在控制器的反馈回路检测路灯的电流、端电压值,在监控计算机终端设置路灯状态监控,对于存在异常的电流电压值可自动提取,按照路灯的编号,快速确定故障路灯所在位置,提高路灯的管理和维护效率。

3.2 模糊智能控制仿真

对路灯模糊智能控制的仿真,主要是为了验证当通行量改变时,模糊智能控制器是否能对端电压进行及时恰当地调整。本文通过 MATLAB 中的 Fuzzy Logic(模糊逻辑)工具箱对上述模糊智能控制方法进行仿真验证。仿真过程除了添加一个通行量判别组件,其他部分与文献[8]中“智能算法的 MATLAB 仿真”相似。

本文设计如下 3 组对比数据:(1) $I_1 = 120 \text{ lx}$; $M_1 = 400 \text{ 人(辆)/h}$; (2) $I_2 = 10 \text{ lx}$; $M_2 = 400 \text{ 人(辆)/h}$; (3) $I_3 = 0.03 \text{ lx}$; $M_3 = 4 \text{ 人(辆)/h}$ 。对应三组数据的调压值如图 4 所示,其中(2)组数据对应的端电压波形用“·”划线表示,(3)组数据

对应的端电压波形通过“*”划线表示,(1)组数据对应的端电压波形以实线表示。图 4 中,(1)组数据光强大于 15 lx ,路灯保持关闭状态,端电压值始终为 0;(2)组数据光强度低于 15 lx ,且人(车)流量比较大,端电压为 220 V 正弦电压;(3)组数据数据光强度很低,远低于 15 lx ,但由于人(车)流量很小,端电压也为 200 V 的正弦电压。

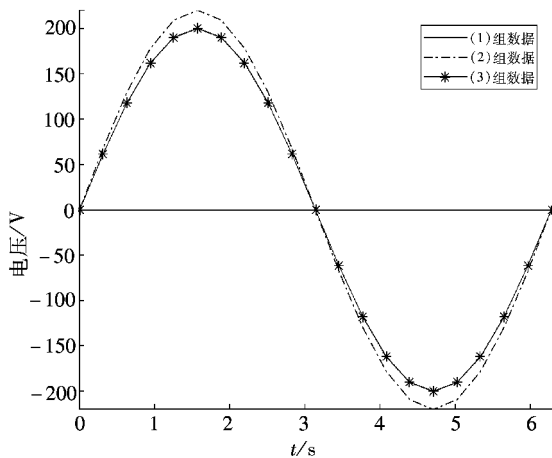


图 4 不同数据下的调压结果

Fig. 4 Adjusting Result of different data

通过对比发现,本文提出的路灯控制方法能够根据光强度和车流量大小对端电压进行很好地调节,有力地证明了本文提出方法的有效性和实用性。

为了进一步验证本文算法的有效性和可靠性,对城市路灯模糊智能控制策略进行验证,对传递函数 $G = \frac{5}{(s+1)(s^2+2s+3)} \cdot e^{-0.5s}$,选取量化因子 $k_e = 1.7$, $k_{ec} = 0.5$,选取比例因子: $k_u = 0.171$,模糊控制框图和模糊控制响应曲线分别如图 5 和图 6 所示。

图 5 中,阶跃信号通过 Fuzzy Logic 控制器实现信号的模糊控制;由图 6 可知,模糊控制器控制 3 s 后,输入信号和响应信号趋于一致,实现信号的输入和响应的同步控制,效果较好。

在模糊控制器的设计过程中,选择合适的论域和量化因子、比例因子是至关重要的。量化因子 k_e 选择过大,系统超调较大,过渡过程较长; k_{ec} 选择过大,系统超调较小,但是响应速度变慢;比例因子 k_u 选择过大导致系统振荡,过小时系统响应过程变长。

3.3 不同状态下的模糊控制结果对比

(1) 加死区非线性响应曲线比较

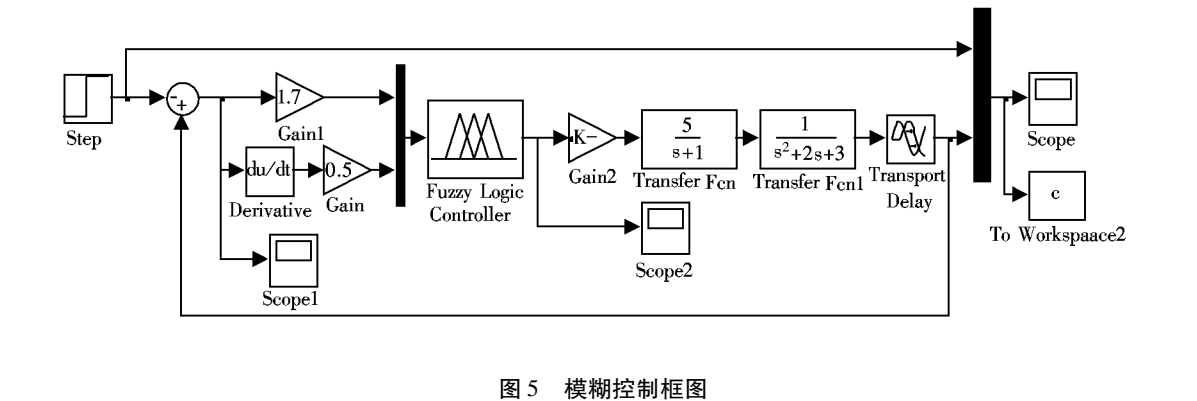


图 5 模糊控制框图

Fig. 5 Chart for Fuzzy Logic Control

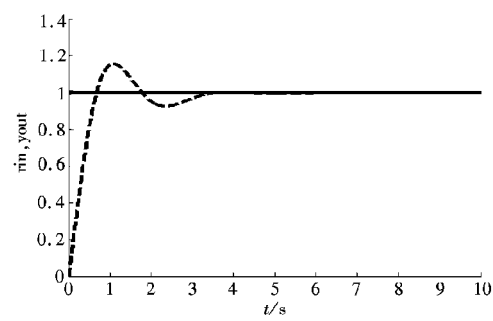


图 6 模糊控制响应曲线

Fig. 6 Response Curve for Fuzzy Logic Control

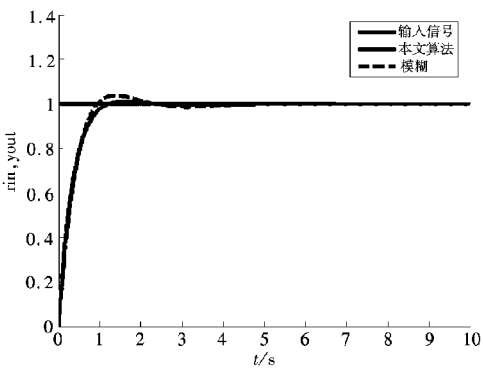


图 7 本文算法与模糊控制加死区后的响应曲线

Fig. 7 Response Curve for Proposed Algorithm and Fuzzy Logic Control with dead Area

本文算法和模糊控制对比结果如图 7 所示,路灯控制策略死区参数为 $(-0.5,0.5)$ 。由图 7 可知,本文算法具有更低的响应幅度和更低的震荡幅值,控制结果优于模糊控制的结果。

(2)加饱和和非线性响应曲线比较

本文算法和模糊控制的对比结果如图 8 所示,路灯控制策略的饱和参数为 $(-0.6,0.6)$,本文算法具有更低的响应幅度和更低的震荡幅值,

而模糊控制则出现 2 次较大幅度的震荡,控制结果不如本文算法稳定,同步性较差。

(3)改变时滞大小响应曲线比较

本文算法和模糊控制的对比结果如图 9 所示,路灯控制策略的时滞为 1.5。由图 9 可知,

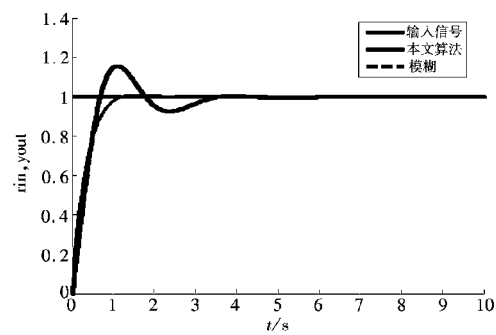


图 8 本文算法与模糊控制加饱和后的响应曲线

Fig. 8 Response Curve for Proposed Algorithm and Fuzzy Logic Control with full Area

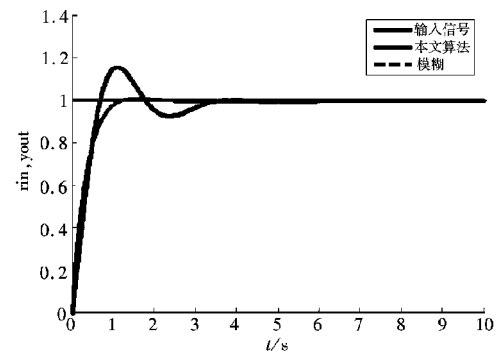


图 9 改变时滞大小的本文算法与模糊控制响应曲线

Fig. 9 Response Curve for Proposed Algorithm and Fuzzy Logic Control with changed delaying Area

改变时滞大小以后,模糊控制的控制效果明显变差,而本文算法的控制效果则相对较好,说明本文算法较模糊控制有更好的抗时滞能力。

4 结论

(1)提出了一种可实现城市路灯智能调控和管理的模糊算法,该模糊算法具有较高的合理性。通过端电压和电流检测,及时准确地发现路灯故障,

在满足通行的前提下,节约大量电能(以 1.2×10^5 只 400 W 路灯计算,模糊控制器调节的路灯单日耗电量约节省 1.0×10^5 w/h),减轻路灯维护人员巡查负担,提高维护管理的效率;

(2)通过调压仿真,论述了模糊控制下路灯端电压调节的可行性(光强不高于 15 lx 时,模糊控制器能够根据路段人流状况适当调节路灯端电压)。

参考文献:

[1] 张伟,王宏刚,程培温. 基于 GPRS 的智能路灯远程监控系统研究[J]. 计算机测量与控制,2010,18(9):2 104 – 2 106.

[2] 贺一鸣,王崇贵,刘进宇. 智能路灯控制系统设计与应用研究[J]. 现代电子技术,2010(1):207 – 210.

[3] Akyildiz I F, Su W. Wireless Sensor Networks: A Survey[J]. Computer Networks, 2002,38(4):393 – 422.

[4] Caponetto R, Dongola G, Fortuna L, et al. Power consumption reduction in a remote controlled street lighting system[J]. International Symposium, 2008,6:428 – 433.

[5] Lin J, Jin X, Mao Q. Wireless Monitoring System of Street Lamps Based on ZigBee[C] //WiCom '09 5th International Conference, 2009:1 – 3.

[6] 吴冬. 模式识别技术在智慧城市安防领域的应用[J]. 计算机应用与软件,2013,30(7):331 – 333.

[7] 彭昊. 基于城市交通流量组合预测模型的模糊控制系统研究[D]. 长沙:中南大学,2009.

[8] 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.

Research on Fuzzy Intelligent Control Strategy of City Street Lamp Based on IOT

ZHANG Shaofang, WANG Yuechun

(Shijiazhuang Posts and Telecommunications Technical College, Shijiazhuang Hebei 050021, China)

Abstract:In order to improve the level for the management of street lights and reduce energy consumption, we put forward t one fuzzy control strategy for the IOT street lighting system based on analysis of the equivalent model for IOT street lighting system. When the light intensity is not higher than 15 lx, the fuzzy controller can adjust the terminal voltage of the street lamp according to the traffic volume of a specific section, adjusting the brightness of the corresponding section of street lamp for saving energy. At the same time, through the voltage and current feedback of the fuzzy controller, the running status of the street lamp is remote monitoring, which improves the efficiency of management and maintenance.

Keywords:City street lights; IOT; Fuzzy control; Light intensity

(责任编辑:李华云)