

文章编号: 1000-5862(2017)06-0656-05

基于 DAG-SVM 算法的城市路灯照明系统的研究

王飞文, 王忠华*

(南昌航空大学信息工程学院, 江西 南昌 330063)

摘要: 针对目前城市路灯照明采用手动、感应式和定时控制等路灯控制方式引起电能浪费及智能化程度低的问题, 设计了一个新的城市路灯照明系统. 该系统由路灯节点控制器、集中控制器、云服务器和后台管理系统共 4 层结构组成. 依托该系统结构, 提出有向无环图支持向量机(DAG-SVM)的 6 分类调光算法. 实验结果表明: 与手动、感应式和定时控制方式相比, 采用 DAG-SVM 算法的路灯照明系统不仅调光更智能准确, 而且节能效率分别提升 57.5%、14.5% 和 5.0%, 且系统节能达到 63%.

关键词: 路灯照明; 控制器; DAG-SVM; 后台管理系统

中图分类号: TP 311 文献标志码: A DOI: 10.16357/j.cnki.issn1000-5862.2017.06.20

0 引言

据工信部统计, 我国总体能源利用率仅有 33%, 远低于世界平均水平, 而城市道路照明耗电在我国整体照明用电中占 30% 左右^[1], 由此可见路灯的节能升级具有较大的经济效益^[2]. 当前绝大部分地区的路灯开关控制方式仍然是手动^[3]、定时^[4]和感应式控制^[5] 3 种方式. 其中手动控制方式容易造成电能浪费及照明智能化程度偏低的问题; 依据不同时间段的车流量定时控制调光等级的方式尽管提高了节能效果, 但仍然具有较大的提升空间; 与前 2 种控制方式相比, 感应式控制方法结合了光控和车流量感应, 照明智能化程度有所提高, 但由于调光等级单一, 电能存在不同程度的浪费.

因此, 本文提出基于有向无环图支持向量机控制算法的城市路灯照明系统. 该系统采用 DAG-SVM (Directed Acyclic Graph-Support Vector Machine) 算法对路灯节点控制器采集的环境数据进行分类, 而不同环境的分类映射不同的路灯调光等级, 从而实现在复杂交通环境下路灯的智能调光和节能.

1 照明系统设计

照明系统主要由路灯节点控制器、集中控制器、云服务器和后台管理系统 4 个部分组成. 其中多个路灯节点控制器与集中控制器组成 ZigBee 区域网,

并通过 ZigBee 实现无线数据传输; 集中控制器则采用 GPRS 与云服务器远程无线通信; 云服务器与后台管理系统的通信协议是 TCP/IP 协议. 本系统在路灯灯杆安装路灯节点控制器, 其负责控制路灯调光和采集电量、光强、车流量等信息; 然后将采集的信息发送到集中控制器, 集中控制器收到上传的数据后, 再通过 GPRS 传给云服务器; 而云服务器是虚拟服务器, 能将接收的数据存储在云端, 保证数据不丢失; 之后云服务器再将数据发给后台管理系统, 后台管理系统采用 DAG-SVM 算法对上传的数据分析处理后, 自动将处理结果反馈给路灯节点控制器并对路灯调光或显示在后台界面上. 若是故障信息, 则系统会发出告警. 照明系统结构框架如图 1 所示.

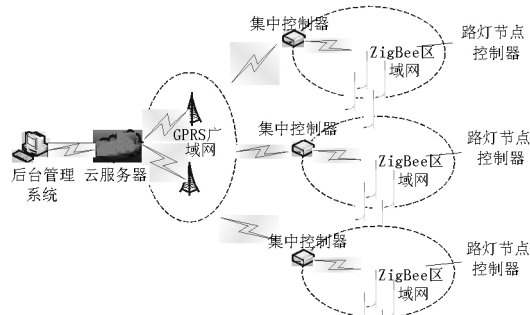


图 1 照明系统结构框架

2 照明系统硬件电路设计

照明系统的硬件由路灯节点控制器与集中控制器构成. 路灯节点控制器具备单灯数据采集、单灯联

收稿日期: 2017-08-16

基金项目: 国家自然科学基金(61362036)和研究生创新专项基金(YC2016045)资助项目.

通信作者: 王忠华(1977-), 男, 江西吉安人, 副教授, 博士, 主要从事电子技术、人工智能和图像处理的研究. E-mail: wang-zhonghuawzh@126.com

网、单灯控制和单灯节能等功能. 微处理器采用 TI 公司的 CC2530 芯片^[6]. 如图 2 所示, 路灯节点控制器的外围电路主要包括光强检测电路、车流量感应电路、功率检测电路、调光电路、外部存储电路、电源转换电路、掉电识别电路和掉电切换电路等. 光强检测电路采用 BH1750FVI 芯片, 该传感器能采集 1 ~ 65 535 lx 的光照强度, 车流量感应电路采用 24 GHz 微波移动检测传感器 K-LC6. K-LC6 对车辆的探测距离为 60 m, 探测天线的最大角度为 80°, 当车辆以 60 km · h⁻¹ 的速度经过时, 60 m 的距离车辆需要 3.6 s, 而系统从检测到车辆然后亮灯的响应时间为 2 s, 当车辆快速经过, 路灯照明控制系统完全能及时亮灯.

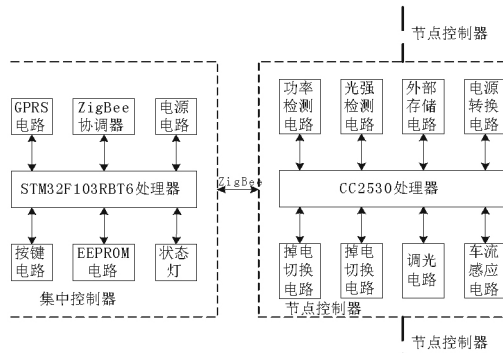


图 2 照明系统硬件框图

如图 2 所示, 一个集中控制器可以管理多个路灯节点控制器, 同时连接 ZigBee 和 GPRS 网络, 其核心处理器采用 STM32F103RBT6 芯片, 结合 GPRS 通信电路、ZigBee 协调器电路和电源电路等外围电路, 实现远程无线通信功能. GPRS 通信电路选用 MG301 芯片, 通过安装移动 SIM 手机卡连接网络; ZigBee 协调器核心芯片同样是 CC2530, 并利用高效 ZigBee 路由算法^[7-8]与路灯节点控制器实现组网及数据传输.

3 云服务器与后台管理系统的设计

本文采用云服务器作为数据传输的平台, 该云服务器高效、方便、安全、稳定以及处理数据能力强, 将数据备份在云端. 该云服务器为华南一区的经典网络, 实例为通用型 n1.4 核 8 GB、4 M 带宽, 公共镜像为 Windows 2008 R2 64 位企业版. 在云服务器上映射一个端口号, 后台管理系统和 GPRS 模块可通过云服务器的公网 IP 和端口号访问云服务器, 然后云服务器将 GPRS 模块上传的数据备份并转发给后台管理系统, 后台管理系统也可以通过云服务器发送指令给 GPRS 模块, 再控制路灯. 后台管理系统基

于 QT 平台开发, 主要具备的功能包括: 故障信息报警、历史记录、路灯状态信息、账户管理和路灯地图定位等, 并通过嵌入 DAG-SVM 算法, 实现路灯智能调光. 后台管理系统调光流程如图 3 所示.

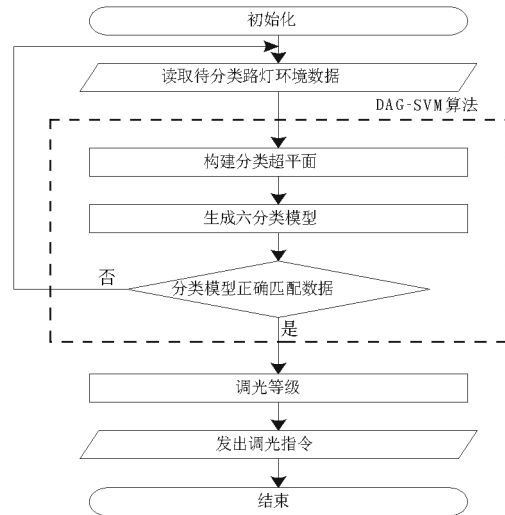


图 3 后台管理系统调光流程

4 DAG-SVM 多分类调光算法的应用

在现实生活中, 传统的 SVM^[9-11] 已经无法满足工作的需要. 为此, 本文引入有向无环图支持向量机 (DAG-SVM) 方法^[12-13], 实现对路灯调光等级多分类.

4.1 DAG-SVM 多分类原理

DAG-SVM 多分类是基于 SVM 2 分类来实现的, 而 SVM 算法根据样本数据可分为线性可分和非线性可分的 SVM^[14]. SVM 基本原理是通过一个分类超平面将正负样本分成 2 类, 找出最优分类超平面实现准确分类, 具体的步骤本文就不一一列出. 对于非线性可分的样本, 可引入核函数代替线性算法的内积^[15-16], 通过核函数将低维特征空间映射到高维空间使其变得线性可分. 本文 DAG-SVM 算法采用 5 阶多项式核函数: $K(x, x^i) = ((x \cdot x^i) + 1)^5$. 有向无环图支持向量机算法的多分类原理是在每 2 个类别之间构造一个分类超平面, 若样本有 K 类, 则分类超平面有 $K(K-1)/2$ 个, 并将这些分类超平面构造成一个有向无环图结构, 其中 1V6、2V6、3V6、4V6、5V6 等每个节点都代表 1 个分类超平面. 6 分类决策过程如图 4 所示.

在图 4 中 {1 2 3 4 5 6} 代表待分类样本, 其中 1、2、3、4、5 和 6 表示 6 个类别标签, 1V6 代表能将 1 类和 6 类区分开来的分类器, 该算法先通过 1V6 分类器将 6 分类样本分成 2 类, 如果不是 1 类

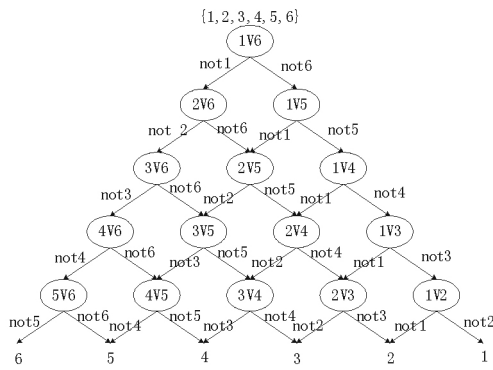


图4 DAG-SVM 6 分类样本决策过程

则判断输出为{2 3 4 5 6} ,并把{2 3 4 5 6} 输入下一个2V6 的分类器 ,如果是1类不是6类则判断输出为{1 2 3 4 5} ,并将其输入到下一个1V5 分类器 ,以此类推 ,直到将样本分成6类.

4.2 DAG-SVM 算法在路灯调光中的应用

本文将 DAG-SVM 算法应用于路灯调光 ,首先把路灯节点控制器采集的不同时间段路灯环境光照强度和车流量等大量数据作为 DAG-SVM 算法的输入样本;然后通过样本数据训练 DAG-SVM 6 分类模型 ,分类模型训练成功后 ,后台管理系统可用该模型分析处理接收到的路灯数据;最后后台管理系统根据分类情况判定路灯调光等级.不同时间段路灯环境光照强度和车流量作为样本数据 $x_i = \{ a_1, a_2, a_3 \}$ 特征属性 a_1, a_2, a_3 分别代表时间段、光照强度和车流量.根据测量值赋予调光等级标签 $y_i = \{ 1, 2, 3, 4, 5, 6 \}$,其中{1 2 3 4 5 6} 依次表示关灯、20%、40%、60%、80%和100%共6种调光等级标签集合.依据人们一般出行要求 ,晚上6点到12点 ,

路灯必须亮灯 ,车辆多的路段 ,路灯的亮度等级应更高;而到了后半夜 ,车辆少时 ,路灯亮度应当调低或者关灯;白天一般关灯 ,但遭遇暴雨雷电天气 ,光照强度低时 ,需及时开灯 ,所以本文针对以上情况对路灯调光等级作了适当调整 ,以满足不同路灯环境的需求.当路灯节点控制器采集到路灯周围的光照强度和车流量后 ,上传至后台管理系统 ,后台管理系统通过6 分类模型判定调光等级标签 ,然后根据调光等级下发相应的调光指令 ,从而迅速完成对路灯准确调光.

5 照明系统测试

为测试系统整体智能化程度和节能性能 ,在全长约500 m 的道路两侧安装不同的照明系统进行测试对比.左侧安装具有 DAG-SVM 算法的路灯照明系统 ,每隔50 m 安置一个80 W 的LED灯 ,共10盏;每盏灯都安装了路灯节点控制器 ,它们由一个集中控制器控制 ,且通过云服务器连接后台管理系统.右侧安装具备简单定时开关控制功能的传统照明系统 ,同样每隔50 m 安置一个80 W 的LED灯 ,共10盏 ,但没有安装路灯节点控制器 ,从晚上6点开始亮灯 ,直到第2天早晨6点关闭 ,总共亮灯12 h.为避免路灯本身发出的光对光强感应芯片的干扰 ,光强感应芯片安装在LED灯的背面.不同天气的光照强度表示如下 ,夜晚:0.001 ~ 5;雨天:5 ~ 300;阴天:50 ~ 1 000;晴天:1 000 ~ 30 000.通过1天24 h对2个不同路灯照明系统测试 ,结果如表1所示.

表1 系统测试结果

时间/h	光强/lx	车流/辆	调光等级	时间/h	光强/lx	车流/辆	调光等级
1	1	3	2	13	8 800	24	1
2	2	2	2	14	8 000	78	1
3	2	0	1	15	7 880	35	1
4	2	5	2	16	2 100	36	1
5	40	0	1	17	1 000	65	1
6	100	15	2	18	60	150	4
7	500	32	2	19	1	200	6
8	2 000	102	1	20	1	70	4
9	4 000	88	1	21	1	50	3
10	5 000	40	1	22	1	30	3
11	8 000	24	1	23	1	10	2
12	9 040	43	1	24	1	3	2

由表1可知 ,应用了 DAG-SVM 算法的路灯照明系统可以随光强、车流量的环境改变实时调整路灯亮度;分析其节能效率 ,DAG-SVM 路灯照明系统

10盏80 W 的LED灯24 h消耗3.52 度电 ,而只具备简单定时开关控制功能的传统照明系统10盏80 W 的LED灯24 h消耗9.6 kW.由此可见 ,运用

DAG-SVM 控制的路灯照明系统比传统照明系统节能 63.33%,节能效率有较明显的提升.与文献[3-

5]中的路灯控制方式和节能效果的比较,结果如表 2 所示.

表 2 不同系统控制方式和节能效果

路灯控制方式	DAG-SVM	人工控制 ^[3]	定时控制 ^[4]	感应式控制 ^[5]
具体控制方法	DAG-SVM 随路灯环境 改变实时自动控制	远程手动控制调光	根据搜集不同时间 点的路段车流量信 息,制定调光时间表	人车到则亮,人车走则灭
节能效果/%	63.33	40.00	60.50	55.00

由表 2 可知,文献[3]的路灯控制方式是手动控制,只能远程手动对路灯调光,节能上效果不理想;文献[4]采用定时控制,根据每天不同时间点该路段的车流量来实现对路灯开关灯的定时控制,车多开灯,车少关灯,该控制方式不灵活,属于经验式控制;文献[5]的路灯控制方式是感应式控制,当人和车辆靠近路灯时灯亮,人和车量远离路灯时灯灭,且该控制方式路灯调光等级单一,同样造成电能浪

费.本文的路灯控制方式与文献[3-5]相比,采用 DAG-SVM 算法能够更加精确分类路灯环境数据和准确判定调光等级,且路灯照明能够随着路灯环境的变化而自动调整调光等级,智能化程度较高,实现了更好的节能效果.

为验证采用 DAG-SVM 控制方式的照明系统性能,与手动控制、定时控制和感应式控制的处理耗时进行对比,不同控制方式的处理耗时如表 3 所示.

表 3 数据分类及调光判定处理时间

ms

路灯控制方式	DAG-SVM	人工控制 ^[3]	定时控制 ^[4]	感应式控制 ^[5]
算法运行时间	1	0	<1	<1

由表 3 可知,从接收数据到判定调光等级,DAG-SVM 算法所用的时间为 1 ms 左右;手动控制方式没有算法,因此时间为 0 ms;定时控制和感应式控制处理耗时都小于 1 ms.尽管本文算法在判定调光等级上所花时间比其他控制方式稍微长,但 1 ms 对于在街道行驶的车辆和相对系统调光响应时间以秒为单位度量而言可忽略不计.因此,DAG-SVM 算法在不影响车辆行驶的情况下牺牲极少的时间换取电能的大量节约是值得的.

6 结论

本文提出一种基于 DAG-SVM 控制算法的路灯照明系统的设计方法,并详细论述了该系统结构和 DAG-SVM 算法实现过程.与手动、定时和感应式路灯控制方式相比,本文算法能在复杂多变的路灯环境下迅速确定最优调光等级,且遇到突发状况还能自动实时调整调光等级,从而实现路灯的有效节能和智能控制,而且具备较强的实用价值,能够有效提高能源利用率.

7 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.

[2] Pandharipande A, Caicedo D. Adaptive illumination rendering in led lighting systems [J]. IEEE Transactions on Systems Man & Cybernetics Systems, 2013, 43(5): 1052-1062.

[3] Rajput K Y, Gargeyee Khatav, Monica Pujari, et al. Intelligent street lighting system using gsm [J]. International Journal of Engineering Science Invention, 2013, 2(3): 60-69.

[4] Popa M, Cepisca C, Popa M. Energy consumption saving solutions based on intelligent street lighting control system [J]. Upb Scientific Bulletin, 2011, 73(4): 297-308.

[5] 黎山峰,杨雷,孙建军.基于动态控制算法的路灯路灯系统的设计与实现[J].南昌大学学报:理科版,2016,40(3):303-306.

[6] Shahzad G, Yang H, Ahmad A W, et al. Energy-efficient intelligent street lighting system using traffic-adaptive control [J]. IEEE Sensors Journal, 2016, 16(13): 1.

[7] 曹建玲,孙希胜,索建伟,等.基于梯度信息的 ZigBee 网络 PAN 间混合路由算法[J].华中科技大学学报:自然科学版,2014,6:79-84.

[8] Leccese F. Remote-control system of high efficiency and intelligent street lighting using a ZigBee network of devices and sensors [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2013, 28(1): 21-28.

[9] Leccese F, Leonowicz Z. Intelligent wireless street lighting system [C]. IEEE International Conference on Environ-

- ment and Electrical Engineering 2012: 958-961.
- [10] 沈健,蒋芸,邹丽,等. 基于节点选择优化的 DAG-SVM 多类别分类 [J]. 计算机工程 2015 41(6): 143-146.
- [11] 连可,黄建国,王厚军,等. 一种基于遗传算法的 SVM 决策树多分类策略研究 [J]. 电子学报 2008 36(8): 1502-1507.
- [12] Platt J C, Cristianini N, Shawe-Taylor J. Large margin DAGs for multiclass classification [J]. Advances in Neural Information Processing Systems, 2000, 12(3): 547-553.
- [13] Guo Husheng, Wang Wenjian. An active learning-based SVM multiclass classification model [J]. Pattern Recognition 2015 48(5): 1577-1597.
- [14] 何东健,乔永亮,李攀,等. 基于 SVM-DS 多特征融合的杂草识别 [J]. 农业机械学报 2013 44(2): 182-187.
- [15] Zhang Yudong, Wu Lenan. Classification of fruits using computer vision and a multiclass support vector machine [J]. Sensors 2012 12(9): 12489-12505.
- [16] Yi Hui, Song Xiaofeng, Jiang Bin. Structure selection for DAG-SVM based on misclassification cost minimization [J]. International Journal of Innovative Computing Information & Control, 2011 7(9): 5133-5143.

The Study on Lighting System of Urban Street Lamp Based on DAG-SVM Algorithm

WANG Feiwen, WANG Zhonghua*

(School of Information Engineering, Nanchang Hangkong University, Nanchang Jiangxi 330063, China)

Abstract: Aiming at the power waste and low intelligent degree after using the manual, inductive and timing control methods, the lighting system of urban street lamp is studied. The system consists of four-tier structures of street node controller, centralized controller, cloud server and backstage management system. Depended on the system structure, the six classification dimming of directed acyclic graph support vector machine (DAG-SVM) algorithm is proposed. Firstly, the six classification hyperplanes are constructed according to the different environment data around street lamps; secondly, the six classification dimming model by using the classification hyperplane training is used to judge the dimming level of street lamps. Experimental results show that compared with the manual, inductive and timing control methods, the street lighting system adopted DAG-SVM algorithm can not only be more intelligent and accurate, but also improve the system energy efficiency increased by 57.5 percent, 14.5 percent and 5.0 percent, saved up to 63 percent.

Key words: lighting; controller; DAG-SVM; backstage management system

(责任编辑:冉小晓)