

基于物联网的高速公路隧道照明节能系统^{*}

张伟刚¹ 许天一¹ 瞿少成¹ 刘高²

(1. 华中师范大学 物理科学与技术学院 电子信息工程系 武汉 430079;

2. 广州小兵过河信息科技有限公司 广州 510641)

摘要: 基于物联网技术设计了高速公路隧道照明节能系统。通过对隧道内、外光照度的采集以及埋地线圈对隧道实时车流量的监控,实现了数据采集、存储与发送为一体的 ARM 系统,并通过 TCP/IP 协议完成了远程数据服务器的采集与管理;基于模糊控制理论,实现了实时车流量与光照度对隧道内灯具开关数量的有效控制,有效降低了隧道照明系统的能耗。系统实际运行表明,基于物联网的高速公路隧道照明系统运行稳定,年平均降低照明能耗达 20%,具有良好的推广价值。

关键词: 隧道照明, 能源节约, 物联网

中图分类号: TP273 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.8060

Energy saving application of highway tunnel lighting system based on internet of things

Zhang Weigang¹ Xu Tianyi¹ Qu Shaocheng¹ Liu Gao²

(1. Department of Electronics and Information Engineering, College of Physical Science and Technology, Central China Normal University, Wuhan 430079, China; 2. Guangzhou BingoTech Co., Ltd. Guangzhou 510641, China)

Abstract: Based on the technology of internet of things, an energy saving system of highway tunnel lighting is designed. Through collecting the illumination intensity of the tunnel and monitoring the vehicle flow rate, a data manage ARM system which can collect, save and send dates are constructed, and a remote data server based on TCP/IP is built. By using fuzzy strategy, the lighting control system in tunnel is realized according to the real-time vehicle flow rate and the illumination intensity, which can save the energy of tunnel lighting. Practical system shows that the proposed system based on the Internet of things is stable, it also can lower 20% lighting energy, and it is easy to promote to other cases.

Keywords: tunnel lighting; energy saving; internet of things

1 引言

近些年来,我国的高速公路建设迅猛发展,给人们的交通出行带来了很大的便利,而高速公路的隧道照明系统对保障公路的运载能力和交通安全具有重要作用。调查表明,已经运营的高速公路其电费支出占总支出的 80%,而电费支出中 80%又用于高速公路隧道照明用电。因此,如何营造高速公路隧道良好的驾驶视觉环境,同时达到节能减排,是一个值得研究和探讨的问题^[1]。

根据高速公路隧道照明系统的实际情况,通过对隧道内、外光照度的采集以及埋地线圈对隧道实时车流量的监控,实现了数据采集、存储、发送为一体的 ARM 系统。通

通过对光照度的强弱与车流量的模糊化,基于模糊控制理论,设计了“车流量高多开灯,车流量少少开灯”的节能控制策略。通过 TCP/IP 协议完成了远程数据服务器的数据采集与分析,基于模糊控制策略,完成了基于物联网技术的高速公路隧道照明节能系统设计,实现了隧道内每盏灯的开关以及亮度的有效控制,从而达到节能的目的。经过严格的测试与系统实际运行,系统既能满足高速公路隧道照明需求,同时有效地降低了照明能耗,具有良好的推广价值。

2 基于光照度与隧道车流量的模糊控制

根据国家《公路隧道照明设计细则》(JTG/T D70/2-01-2014),高速公路隧道通常被分为入口段、过渡段、中间

段与出口段等,不同段所对应的灯具具有不同的控制方式。通常,在入口段和出口段,通过感知外界自然环境的光照度来调整此两段中灯具的开关数量;而在中间段,往往通过采集车流量来控制其照明灯具的开关数量^[3]。

在入口段,当司机从隧道外自然光的环境下突然进入到隧道内时,如果光照不充足,司机往往会无法快速适应隧道内的暗光环境而造成短暂的失明,这就是隧道的“黑洞效应”^[2]。因此,隧道入口段照明效果要与外界环境亮度相似。同理,在出口段,由于司机习惯于隧道内的黑暗环境,在出隧道时,外界强光会使司机的眼前出现白亮的一片,这就是所谓的隧道的“白洞效应”^[2]。

为防止隧道事故,目前国内隧道入口段与出口段的光照设计主要依据经验设计灯具数目,灯具开启数量固定,不能根据外界自然光强来自适应调节,一方面容易造成隧道的“黑洞效应”与“白洞效应”,另一方面造成了能源浪费。

根据模糊控制思想,当外界自然光很弱时,在入口段与出口段开启较少的隧道入口段灯具;当自然光照充足时,在入口段与出口段开启较多的隧道入口段灯具。这样就避免了进入隧道时的“黑洞效应”与驶出隧道时的“白洞效应”,同时实现了节能。

在中间段,由于司机适应了隧道内昏暗的环境,车流量将成为实现节能的关键。通常,一年的不同时期,1条隧道里的车流量是不同的,即使一天中,隧道内的车流量也是变化的。为了防止隧道事故,目前国内隧道中间段的光照强度按照车流量最大情况来设计,造成了能源的浪费。根据模糊控制策略,当隧道车流量教小时,隧道中间段可开启较少的灯具;当车流量很大时,隧道中间段开启较多的灯具,以满足照明要求,同时实现节能。

基于以上分析,通过对某隧道实际测量与观察,在入口段和出口段,可以采集隧道外的光照度来实时调整各段灯具的开关数量;在中间段,通过对车流量的监控来自适应调整隧道内中间段的灯具数。这样既避免了入口段的“黑洞效应”与出口段的“白洞效应”,又实现了有效地节能。据此制定模糊控制规则如表1所示。

表1 隧道照明系统模糊控制规则表

光照度 \ 车流量	车流量				
	很大	较大	一般	较小	很小
很强	很多	很多	较多	一般	较少
较强	很多	较多	一般	一般	一般
一般	较多	较多	一般	较少	较少
较暗	较多	一般	较少	较少	很少
很暗	一般	较少	较少	很少	很少

3 基于物联网的隧道照明节能系统

整个系统包括对光照度、车流量的数据采集;对光照

度、车流量数据的上传;以及通过电能数据采集系统对耗电量进行分析。系统框图如图1所示^[4]。

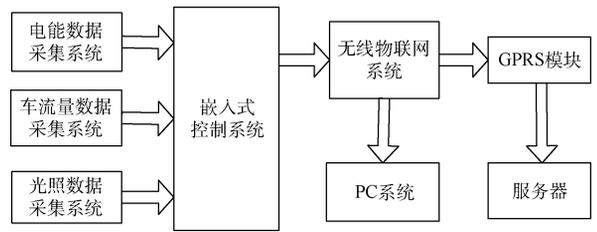


图1 隧道照明系统节能系统框图

3.1 数据采集系统

由前面分析可知,通过采集隧道外环境的光照度以及实时车流量来控制隧道内灯具的开关个数以达到节能的目的。在此,使用STM32配合光照度传感器来采集光照度^[5];使用道路部门建造隧道时在隧道口埋下的线圈检测是否有车辆通过,从而采集车流信息。

STM32除了采集光照信息,还会采集当前温度、湿度等信息,所以将这些需要测量的信息所对应的传感器与STM32控制芯片设计于1块PCB上。STM32以“被动”的方式采集这些信息,即由嵌入式控制系统定时向STM32发送请求,当STM32收到由嵌入式控制系统发来的命令后,再获取当前各个传感器读到的值响应嵌入式控制系统。9块基于STM32的光照度、温度、湿度感测器如图2所示。

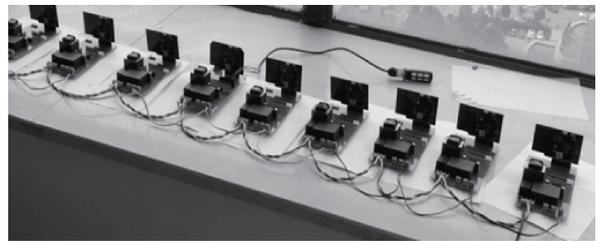


图2 基于STM32的多功能感测器

车流信息由隧道入口处已经埋好的线圈检测,线圈的长度即是高速公路的路宽。埋地线圈有1个RS232的输出,当有车辆压过线圈时,RS232输出1串16进制数。此时,嵌入式控制系统会读到此串数据,对照线圈输出的协议,可解析出当前的车速,且记录下时间;比对相邻两辆车经过的时间差来判断实时车流量大小。

3.2 嵌入式控制系统

嵌入式控制系统起“调度”与“枢纽”的作用,在整个节能系统中扮演了至关重要的角色^[6]。总的来说,嵌入式控制系统起到了读取、存储与上传的作用。在此使用CPU为S3C2416的ARM9作为嵌入式主控设备完成调度工作。

如3.1节所述,ARM板经过485总线定时主动的向STM32发送请求,以获取当前传感器读到的值。由图2可见,1条485总线上会连接9个基于STM32的感测器,而

且每个感测器上又需要测量多种环境参数。如何实现 1 条总线上同时获取多个测量值,这就需要依靠 modbus 协议。作为一种主从网络协议,modbus 允许 1 个主方和 1 个或多个从方通信^[7]。

将图 2 中 9 个感测器编号,把 1~9 号作为它们的地址,若此时需要读取 1 号的光照度、温度与湿度,则 ARM 发送以[01]开头的命令。在此,用不同地址实现了对感测器的区分。而且实现运用 1 条命令读出 1 个感测器的光照度、湿度、温度值也是基于 modbus 协议,modbus 协议的标准可简单的描述如下:

[地址码][功能码][数据区][校验码]

modbus 协议使读取数据变的简单,但在控制系统中,如何调度才能使多传感器、感测器之间没有影响。在此,使用分离的线程(detached thread)去调度^[8]。控制系统做的每一件事都独立为一个单独的线程,当满足条件时,即可触发此线程。分离的线程最大的好处就是简化了逻辑,减少了不同事件间的联系,使逻辑清晰。

嵌入式控制系统除了定时获取各传感器所读到的值,还要将读到的值保存在 ARM 的本地,FLASH 中,即数据的存储功能。在存储 STM32 读到数据的同时,ARM 也会将数据通过 TCP/IP 协议上传到远程服务器端,并存储这些数据^[9]。通过调用这些数据,利用模糊控制算法^[10],即可确定当前情况下隧道中适合开启灯具的数量。

3.3 电能数据采集系统

运用对比光照度和检测车流量来调节隧道内灯具的开关数量,但如何体现耗电量的减少、节能效果的好与坏,以及如何用真实的数据来展示,在此需通过电能数据采集系统来证明此系统确实起到了节能的作用。

电能数据采集系统的核心设备是一款智能电表,也被称为智能电测终端。将此款电表接入隧道照明的供电电路,可测隧道照明电路实时的各相电流、电压、功率、功率因素、耗电量等数据。如图 3 所示,4 块智能电表正在监测某一隧道的 4 条供电电路电能数据。

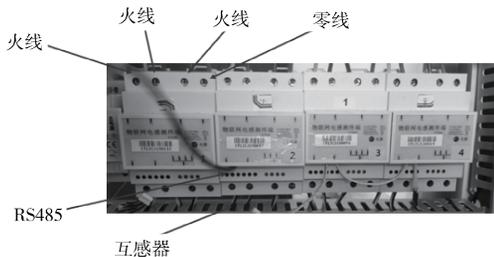


图 3 测量用的智能电表

如图 3 所示,电表的上部接火线与零线,用于测量 3 相电压;电表的下部有 3 个互感器,将互感器分别夹于供电电路的 3 条输出线路,测量 3 相电流。经过智能电表的测量与计算,可供嵌入式控制系统获取希望获得的电能参数。

正如 3.2 节所述,ARM 板定时获取传感器参数;在此,

ARM 同样依据 modbus 协议,采取定时查询的方式,通过图 3 中所示的 RS485,读取、存储与上传由不同地址的智能电表获取的电能信息。通过对比控制前与控制后的照明供电电路耗电情况,可确定本系统是否能达到节能的目的,通过测算节能效率可看出实际的节能效果。

3.4 传感器数据分析

如 3.1 节与 3.2 节所述,ARM 定时向 STM32 查询,读取各种传感器信息。以图 4 为例,分析 ARM 读到的传感器数据。

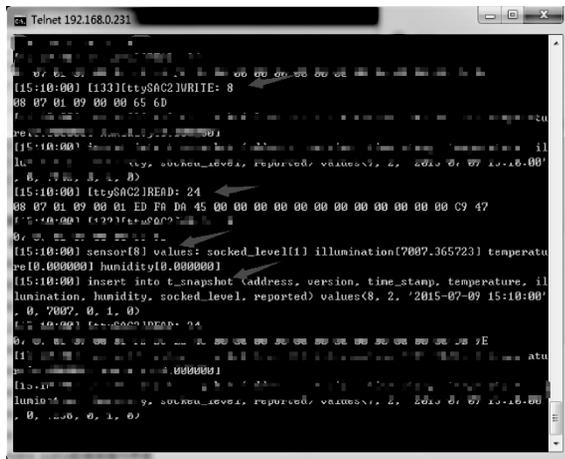


图 4 传感器数据截图

如第 1 个箭头所指,此串 16 进制命令以[08]开头,而且打印信息是“WRITE 8”,代表 ARM 向 8 号基于 STM32 的感测器发送了 8 字节数据。第 2 个箭头处打印了“READ 24”,且下 1 行以[08]开头,表示 ARM 读到了 8 号感测器传回的数据。参照 modbus 协议去解析这些数据,可获得第 3 个箭头所指处的信息:8 号感测器(sensor 8)的光照、温度、湿度值。最后,如第 4 个箭头所指所示,代表 ARM 将读到的数据存于本地数据库中。由此分析可见,传感器设备与 ARM 按预期设计正常工作。

3.5 车流量数据分析

车流信息也由嵌入式控制系统采集。ARM 会以定时轮询的方式检查与埋地线圈相连的串口。当车量压过线圈时,ARM 可捕获到由线圈经 RS232 输出的 23 个字节车流信号。如图 5 所示,ARM 读到 RS232 发来的数据,经解析,可知当天 22:13:19 有一车速为 107 km/h 的车经过隧道;22:13:28 的时候,又有一辆车速为 62 km/h 的车通过隧道。由此可见,ARM 获取车流量信息准确,达到预期设计效果。

3.6 智能电表数据分析

3.3 节介绍了电能数据采集系统,采集结果如本节图 6 所示,电能数据的采集也是基于 modbus 协议。如图 6 第 1 个箭头所指,ARM 向智能电表的 RS485 发送一串数据,[68]为引导码,紧跟其后的[06]代表 6 号电表,此串命

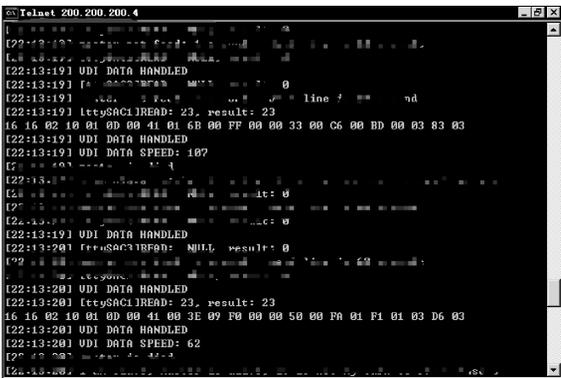


图5 车流量数据截图

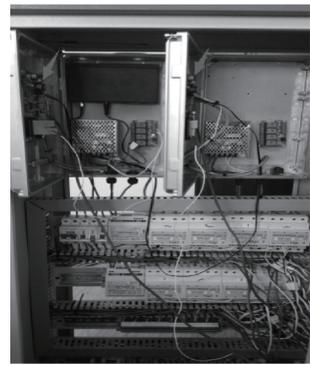


图7 隧道照明系统现场安装

令是希望获取电表的各相电压、电流和功率信息。第2个箭头所指代表智能电表传回的数据,包含了以上信息;第3个箭头则是解析后的结果。由于测试时还未接负载,所以测得这些数据都为0。第4个箭头所指表示ARM希望获取电表的耗电量,智能电表回应ARM的请求,解析得各相能耗为0 kW·h。由此可见,ARM与智能电表也按预期设计正常工作。

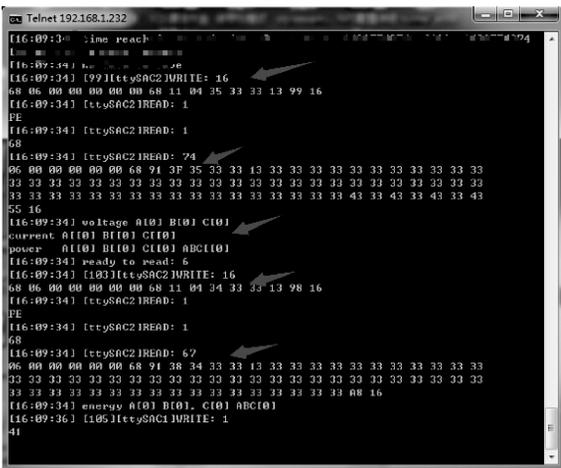


图6 智能电表数据截图

4 结论

为确保系统稳定与安全,嵌入式控制系统采用了两套设备冗余。当一台ARM不工作时,另一台ARM会接替其工作,如图7所示。图中两个箭头所指是两块ARM板;ARM板的右边则是系统电源和继电器以及无线路由器;图中下半部分是8块智能电表,用于监测隧道照明能耗。

系统半年实际运行表明,系统采集数据准确,智能电表读数准确,嵌入式控制系统调度合理,数据上传服务器正常,PC端与服务器数据均正常,整个系统稳定;对比历史同期时间段能耗,本系统节能达20%,具有良好的推广价值。

参考文献

- [1] 何鹏,董敏娥.基于智能控制的隧道照明系统研究[J].制造业自动化,2009,31(9):107-110.
- [2] LI S. An optimal model for tunnel lighting control systems[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2015(49):328-335.
- [3] DANIEL G. A new methodology for calculating roadway lighting design based on a multi-objective evolutionary algorithm[J]. Expert Systems with Applications, 2013,40(6):2156-2164.
- [4] ZHANG J, QIAO G F, SONG G M, et al. Group decision making based autonomous control system for street lighting[J]. Measurement, 2013,46(1):108-111.
- [5] 张旭,亓学广.基于STM32电力数据采集系统的设计[J].电子测量技术,2010,33(11):90-93.
- [6] 张万金,汪玉凤,覃荆伟.基于S3C2440嵌入式智能倒闸装置[J].计算机系统应用,2011,20(8):233-236.
- [7] 单星,林晓煊,郭丹蕊.基于ModBus协议的负载模拟系统设计[J].国外电子测量技术,2015,34(7):72-74.
- [8] 宋执环,杜往泽,李斌.基于图像检测的除尘风机嵌入式控制系统[J].仪器仪表学报,2014,35(5):1192-1200.
- [9] 卢庆林.基于单片机MPS430F的无线通信系统设计[J].国外电子测量技术,2014,33(12):74-77.
- [10] 谢宏,杨鹏,陈海滨.遗传优化模糊PID融合算法的5自由度机械手控制[J].电子测量与仪器学报,2015,29(1):21-30.

作者简介

张伟刚,1992年出生,硕士研究生,主要研究方向为嵌入式技术。

瞿少成,1971年出生,教授,博导,主要研究方向为智能信息处理与控制。

E-mail: qushaocheng@mail.ccnu.edu.cn