

基于4G通信的高度集成智能照明管理系统

毛智伟

(浙江雷培德科技有限公司, 浙江 杭州 311103)

摘要:本文介绍了一种高度集成硬件的智能照明管理系统,包含集成4G通信的LED驱动电源、云端服务器、智能照明管理系统,用于道路照明、景观照明系统的控制和管理。它基于4G通信,采用MQTT协议连接物联网,可通过手机APP、电脑网页端进行实时监控,查看统计数据,实现数字化管理。

关键词:4G通信;集成式LED驱动电源;智能控制;物联网;MQTT协议

中图分类号:TP273;TM923

文献标识码:B

DOI:10.3969/j.issn.1002-6150.2025.01.027

Highly Integrated Intelligent Lighting Management System Based on 4G Communication

MAO Zhiwei

(Zhejiang Leipeide Technology Co., Ltd., Hangzhou 311103, China)

Abstract: This article introduces an intelligent lighting management system, which includes an LED driver integrated with 4G communication module, a cloud server, and an intelligent lighting management system for controlling and managing road lighting and landscape lighting systems. It is based on 4G communication and uses MQTT protocol to connect to the Internet. It can be monitored and controlled in real time through APP and computer.

Key words: 4G communication; integrated LED driver; intelligent control; IoT; MQTT

0 引言

随着信息化水平的提高,城市公共管理需求的增加以及节能环保要求的提高,对室内外照明设备进行自动控制和智能化管理成为新的需求,智能照明控制系统逐步兴起。

照明及其控制系统的发展是随着照明技术和控制技术的进步不断发展的。

白炽灯的发明开启了电力照明的崭新时代,以荧光灯为代表的气体放电灯的出现极大地提高了照明的效率,目前以LED为代表的第三代照明技术由于其更高的效率、寿命和安全性,已经在室内外照明领域得到普遍的应用。

随着光源技术的发展,人们对光照亮度和色温的调节需求也在不断提高。从白炽灯时代起就有工程

师开始在电灯回路中串联可调电阻进行调光。随着电子技术和半导体技术的发展,逐渐发展出切相调光、0/1—10V调光、PWM调光等调光技术^[1],结合DALI、DyNet、KNX等通信和控制技术^[2],实现本区域控制和调光控制功能,这就是早期的照明控制系统。

随着通信技术、软件技术的发展,照明控制进入物联网时代^[3]。照明设备通过485通信、电力线通信(PLC)、ROLA无线通信等与集中控制器进行通信组网,组网后将信息全部上传到集中控制器,集中控制器通过GPRS、WAN、WiFi等通信方式将信息上传到本地或者云端服务器,用户通过电脑、手机、平板访问服务器,实现了照明系统的远程控制和管理^[4-5]。

当前,随着通信技术的发展和电力电子半导体器件的进步,将4G通信模块、传感器元件、LED驱动电源进一步集成,实现了照明设备直接连接互联网,进

作者简介:毛智伟,硕士。研究方向:智能控制。

一步提高了系统的及时性和可靠性。照明控制进入了新的时代,主要表现为无线通信、实时控制、云端储存、智能化管理等特点。

照明控制系统是一种集成了光源技术、电源技术、传感器技术、通信技术和软件技术的智能化照明解决方案,旨在提高照明质量和能源效率,提供更多个性化控制选项,以及增强用户体验,实现按需调节照明的亮度和色彩,以适应用户不同环境和场景的使用需求^[6]。本文对照明控制系统的技术现状及发展趋势进行述评,介绍了基于4G通信的高度集成化智能照明管理系统方案的优点。

1 当前照明控制关键特点

当前智能照明系统的关键性能及特点包括以下方面。

1.1 照明质量

提供适合特定环境或任务的照明光线。好的照明质量能够提供合适的亮度、色温、色彩和均匀性,以满足人们的视觉需求,提高人们的舒适性。

1.2 能源效率

采用高效的光源,同时通过自动化控制和调节,智能照明系统可以根据环境光线、用户使用情况和习惯来调光光照,优化能源利用,降低能源消耗^[7]。

1.3 个性化控制

用户可以根据需求调整照明亮度、色温和色彩,对光照环境进行个性化设置,创建符合特定场景或偏好的照明效果,提高舒适度和工作效率。

1.4 自动化和智能化

借助传感器、定时器和自动化程序,系统可以自动调整照明设置,例如根据环境光线强度调节亮度,根据人员活动轨迹检测,自动开关相应区域照明等。

1.5 网络功能

智能照明系统可以连接到互联网,实现远程监控。用户可以利用手机、电脑等设备通过网络接口远程管理照明设备。一旦出现异常,服务器可根据预留手机号或者APP界面弹出报警信息,及时通知管理员。

1.6 数据收集和分析

系统可以收集用户使用数据,例如使用时间、能源消耗、开关频率、常用模式、维修间隔等,利用这些数据对照明系统进行分析 and 优化,进一步提升照明效率。同时通过对设备运行电参数的变化分析,进行预见性维护,提高系统可靠性。

2 智能照明控制系统组成

智能照明系统已经在商业、工业和家庭等各个领域得到广泛应用,其不断发展的技术和功能不仅提升了照明质量和效率,也为用户带来了更便捷、智能化的体验^[8]。它主要由硬件和软件两部分组成。硬件是实现照明和控制的基础,主要由光源、驱动电源、控制器、传感器、通信网关设备、服务器等组成。如图1所示。

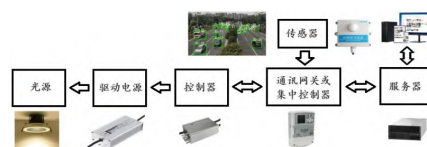


图1 智能照明系统图示

Fig. 1 Intelligent lighting system diagram

2.1 光源

目前的照明系统中,光源一般为LED光源,光效一般大于100 lm/W,寿命30000~50000 h,相比白炽灯、荧光灯等具有高效率、长寿命的特点。同时市场上有各种颜色、色温的LED灯珠,可满足客户多样化的需求,是当前市场的主流产品。

2.2 驱动电源

照明LED驱动电源一般为恒流开关电源,100 W以下的一般采用反激架构,效率一般85%~90%左右。大于100 W的多采用LLC架构,效率基本大于90%以上,能源效率较高。用于智能控制的LED驱动电源,一般带调光接口,可接收来自控制器的调光信号,具有调光功能。

2.3 控制器

控制器是实现智能控制的关键设备,它内置通信模块,通过有线通信或者无线通信与网关或集中控制器进行通信,可上传照明设备的状态信息,也可以接收来自服务器或控制终端的信息,向驱动电源下发调光信号。控制器一般内置继电器,用于控制驱动电源的输入,实现开关功能。

2.4 通信网关

通信网关有的也叫集中控制器,它用来实现通信中继功能。主要是早期的控制器采用485通信、电力线通信、ROLA通信等,不具备直接联网功能,需要集中控制器将数十或者上百的控制器进行组网,控制器将信息发送给集中控制器,然后集中控制器通过WAN、GPRS、4G等通信方式将信息发送给服务器^[9]。

目前由于 4G 芯片价格和通信费用的下降,采用 4G 通信的控制器逐步成为主流,通信网关或集中控制器不再是必需的。

2.5 传感器

传感器一般有环境光传感器、人体传感器、车流量传感器、温度传感器等,用于感知环境条件,实现客户需要的功能。比如检测到有人自动开灯,无人自动关灯。实现光照根据环境光强度自动调节等。

2.6 服务器和管理软件

服务器和客户端是控制系统的软件载体,用于对照明设备的信息进行采集显示和控制。

照明管理软件是系统的核心,一般采用前后端分离技术,分别选择适合的技术和框架来满足系统需求。可以有效增强适配性,提高响应速度,提高开发效率,增强代码的可维护性。

前端软件是指提供给管理员和用户的软件界面和操作接口。它一般指用户可以看到和操作的部分,如应用程序、网页界面、APP 小程序等。通过电脑端的监控软件和手机、平板端的 APP 软件,可以实时查看设备的信息,对每个设备进行点对点控制,设置控制策略进行自动化控制。

后端软件是控制系统运行的后台部分,包含运行环境、数据库、服务应用层、运行支持层、业务层等。主要处理协议解析、通信加解密、数据处理和储存、逻辑控制、决策执行等工作。后端软件安装在服务器端,一方面连接照明设备,另一方面连接客户端的软件,进行双向进行通信,将照明设备的信息发送给客户,也接收客户端的控制信号,传递给照明设备。物联网设备通信一般采用 MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) 协议,它是一种基于 TCP/IP 协议、发布/订阅模式的应用层传输协议,具有轻量简单,数据量小,异步通信,高效传输等特点,在物联网领域被广泛使用,也是目前阿里、腾讯、华为等各大物联网云平台最常用的通信协议。同时后端软件也可以根据客户定义的控制策略和传感器的信号,对照明设备进行自动化控制。软件架构如图 2 所示。

随着服务器算力、储存能力的提高和人工智能的发展,智能照明系统会朝着更加自动化、智能化方向发展。作者认为有以下几种应用场景可能会得到发展:

(1)分析和预测。未来的智能照明系统不仅仅能掌握照明设备当前状态,还能预测每个设备的预期寿命,当设备出现故障时,能根据出故障前后的电参

数信息,分析出现故障的原因。这一方面需要智能照明系统能分析各类设备的运行日志和运行参数,同时也需要其能自动与设备厂商进行联网通信,形成设备厂商和最终客户之间的互动反馈,促进设备的升级改进,提高分析预测的准确性。

(2)能提供与新设备连接的接口,不断扩充系统功能。比如随着清洁能源和动力储能的发展,根据电网低谷时段和储能状况,合理规划照明系统用电计划,在市电和储能之间自动切换,实现节能降本。特别是对于一些特殊使用场合,比如隧道照明,可以实现非常好的经济效益^[10]。

(3)与其他系统兼容互通,联动控制。智能照明系统能够与消防系统、监控系统、应急系统等进行通信,方便管理者能够将所有基础设施信息整合管理。当出现异常状态时,能自动及时启动或者关闭相关设备,保障安全。

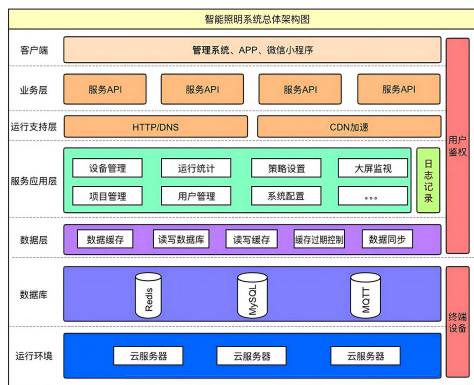


图 2 软件架构

Fig. 2 Software architecture

3 高度集成的 4G 照明方案

随着无线技术的发展,4G 通信技术的普及,使得智能照明系统中越来越多采用 4G 通信,特别是对于路灯照明、景观照明、商业照明等,采用 4G 通信更加方便快捷,成熟可靠。目前的 4G 通信芯片,内部集成了 32 位高性能 MCU,完全可以将其做成通信控制模组,安装到 LED 驱动电源中,可以进一步实现硬件的小型化和集成化,简化智能照明管理系统的硬件组成。其原理框图如图 3 所示。

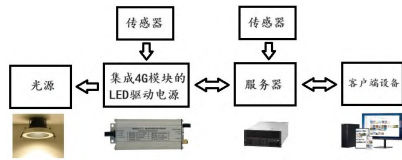


图 3 采用 4G 通信的高集成度智能照明系统

Fig. 3 Highly integrated intelligent lighting system using 4G communication

这种将传统照明系统中的LED驱动电源、控制通信模块、通信网关甚至一些传感器有机集成在一起,成为集成4G模块的智能LED驱动电源,相比传统方案,具有如下优点:

(1)高度集成化。相当于将传统的LED驱动电源、控制器、通信网关三个设备集成到了一起,减少了这几个设备相互间的连接和布线,提高了抗干扰性,安装方便,可靠性高。由于高度集成化,共用内部辅助电源、外壳,减少连线,极大地降低了总体成本。

(2)4G无线通信,覆盖面广。不受有线通信距离的限制,不受布线影响,具有成熟的生态系统和技术支持,有大量的设备和应用案例,便于开发者和制造商在全球范围内快速部署。相比485通信、电力线通信、NB-IoT等通信方式,4G通信具有更高的速度和稳定性,速度可达5~10 Mbps,同时具有较小的延迟。这使得它更适合需要较高带宽和更快速度的应用场景,比如需要快速传输数据的应用。同时4G LTE芯片价格下降迅速,目前已经低于20元,与其他通信芯片(PLC、ROLA、NB-IoT等)价格相差不大,也远低于5G芯片上百元的价格。同时终端流量资费的下降(目前物联网卡通信费用一般5年总共12元,每月流量30MB,基本能够满足每分钟上报一次设备状态信息),为其快速普及铺平了道路。同时由于4G通信是和服务器进行点对点通信,即使出现故障也是单点失联,不像早期采用集中控制器的方案,一旦集中控制器出现故障,其整个下属网络的控制器全部失联。

(3)维护方便简单。一旦出现故障,查找问题点很少,不用去判断是光源、驱动电源、控制器、连接线、还是集中控制器的问题,只需要判断是光源问题还是集成式驱动器的问题,查到问题直接替换,简单方便,可维护性较好。

(4)增强了整个系统的防雷性能。室外LED驱动电源内部一般都安装有气体放电管和MOV(Metal Oxide Varistor)等防雷元件,可抗6 kV~10 kV共模和

差模雷击浪涌,而控制器和网关一般没有这种抗浪涌能力,集成到一起后,通信模块和网关模块的防雷能力得到了加强。

(5)通过内部或者外部接口可以集成多种传感器和设备。比如集成温度传感器、人体传感器、电能计量传感器等,可实现精确的温度保护,输入输出电能计量,人员检测等,MCU通过采集这些环境和设备信息,初步判断是否存在故障及确定故障类型,使得设备具有一定的自检能力,提高了设备可维护性,同时为后续的智能化控制、可靠性分析、计划维护作业等提供了可靠的数据基础。

(6)通过多种设备的集成,提高系统本身的可靠性。比如LED开关灯控制,原来是智能控制器通过继电器的开关来对LED驱动电源的输入进行开关,这样每次开通时的浪涌电流都会经过继电器,容易造成继电器触点粘连,丧失关断能力。而集成式的智能LED驱动电源是通过控制电源模块的控制回路去开关电源模块的输出的,没有输入继电器,对于需要频繁开关设备的场合,可以极大提高可靠性。

该集成式智能LED驱动电源的组成框图如图4所示,其内部由传统的LED驱动电源加上4G通信控制模块、输入电能计量模块、辅助电源模块以及外部设备接口组成。4G模块内部集成MCU,可输出PWM信号和开关信号,对反馈电路的设定进行调节,因此间接调整了LED驱动电源的输出电压电流。MCU通过UART或SPI接口与计量模块进行通信,获得输入电压、电路和功率信息。

特别说明的是外部设备接口,通过该接口,4G模块可以与外部设备连接,给外部设备提供电源和联网服务。比如在智慧路灯上面,根据需要连接摄像头、LED屏、WiFi、温湿度传感器、行人感应器、报警喇叭等多种设备,实现各种功能。比如检测附近行人车辆,根据人流密度,进行照明亮度调节;通过接口连接LED广告牌,利用4G通信更新广告牌内容;通过连接摄像头识别车流量、车牌信息、人脸信息等,对主流监控系统形成良好补充。

这种基于4G的集成式智能LED驱动电源不仅本身集成度高,安装维护成本低,同时也具有良好的扩展性,是一种优秀的创新产品。

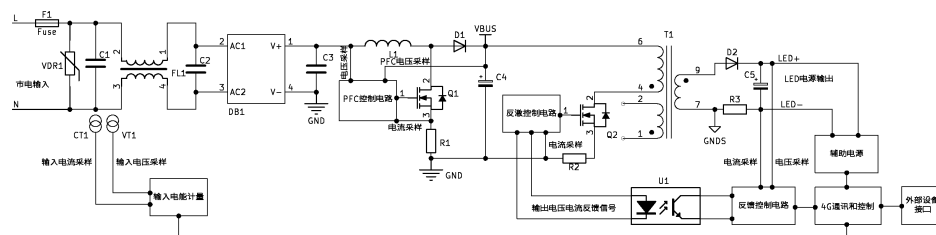


图4 集成式LED驱动电源
Fig.4 Integrated LED driver

4 结论

本文介绍了智能照明管理系统的发展和特点,详细介绍了其中软硬件的构成和功能,同时提到了一种采用了集成 4G 通信模块的 LED 驱动电源,具有集成度高、扩展性强、维护简单、通信快速可靠的优点,该类产品可能会成为未来市场和技术的发展方向。

参 考 文 献

[1] 陈琪,王旭. 智能照明工程手册[M]. 北京:中国电力出版社,2021.

[2] 张格凯,赵福聪. 智能建筑照明节能控制系统研究[J]. 光源与照明,2023(6):105-107.

[3] 韩彦明. 基于物联网技术的城市路灯系统的设计研究

[J]. 中国照明电器,2024(6):31-33.

[4] 张乐. 智能照明控制系统设计[J]. 光源与照明,2023(8):69-71.

[5] 李增勇,阮毅,萧倩美. 基于物联网技术的整套路灯管理系统设计[J]. 机电工程技术,2024(3):293-297.

[6] 李晓辉,刘伊生. 城市照明技术与管理[M]. 北京:机械工业出版社,2019.

[7] 王建. 基于物联网的智能照明控制系统研究[J]. 中国照明电器,2024(5):93-95.

[8] 张苏文. 城市智慧路灯建设的研究及实现[D]. 南昌:华东交通大学,2020.

[9] 张鹏飞,林雪山. 物联网技术在智能照明控制中的应用与性能分析[J]. 中国照明电器,2024(6):25-27.

[10] 黄路明. 高速公路隧道照明综合节能技术研究[J]. 光源与照明,2024(2):38-40.

(上接第 93 页)

(2)取 3 种不同表面处理工艺的 PCB 裸板各 6 拼板,用自动点胶机在 PCB 上点红胶后再用贴片机贴上事先准备好的器件,后通过回流焊炉用常规 FUJI 红胶固化温度曲线进行固化,再通过波峰焊接,用 X-RAY 收集焊接后的数据,如图 14 所示。



















	第 1 拼	第 2 拼	第 3 拼	第 4 拼	第 5 拼	第 6 拼	结论
化金							轻微空洞
OSP							轻微空洞
松香							严重空洞

图 14 X-RAY 下 3 种表面处理工艺焊接后的焊盘气泡孔洞对比

Fig. 14 Comparison of bubble holes in solder pads after welding with three surface treatment processes under X-RAY

3.2.2 实验结论

从上述实验结果可以看出:采用化金工艺处理的 PCB 焊接质量最佳,其次是 OSP 工艺,松香工艺最差。

4 结语

虽然 PCB 松香工艺仍在电子制造行业中有着广泛的应用,但由于其工艺缺陷明显,主要使用在低档次的单面板上。在照明领域,LED 驱动电源的 PCB 焊接不良会造成产品质量缺陷,降低产品可靠性,导致产品过早失效,这显然与 LED 照明产品具备“高可靠、长寿命”的特点不相符。随着时间的推移和技术的革新,OSP 工艺逐渐受到 PCB 厂家及 LED 照明企业的广泛青睐,成为应用最多的环保型表面处理工艺之一。

参 考 文 献

[1] 李晓璇. 印制电路互连图形表面处理技术及信号完整性的研究[D]. 成都:电子科技大学,2021.

[2] 巫中山,许伟廉,陈世金,等. 沉镍金制程镍腐蚀影响因素研究[J]. 印制电路资讯,2021(4):92-95.

[3] 沈新海. OSP 工艺和 SMT 应用指南[J]. 现代表面贴装资讯,2006(2):3.

[4] 陈强,王一雄. PCB 焊点焊接缺陷原因分析[J]. 印制电路信息,2014(3):68-71.

[5] 赵金亮. 关于 PCB 化学沉锡常见技术问题的分析研究与改善[J]. 中国新通信,2016(24):162.