

基于物联网的小区智能照明管理系统设计与实现

莫夫, 李超, 余亮, 聂军

(广东科技学院 计算机系, 广东 东莞 523083)

摘要: 针对国内中小型 LED 照明企业的艰难处境和政府倡导低碳, 绿色环保照明政策现状, 提出了一种基于电力载波通信技术的小区智能照明管理系统的设计方案; 采用微控制器、PLC 芯片和传感器构建智能控制终端, 实现对单灯电能、光强度等数据采集; 集中器集成 GPRS 通信模块负责与远程控制中心建立连接, 控制终端与集中器通过电力线相连, 实现 PC 端和移动端对 LED 照明设备的多平台控制; 重点阐述了智能控制终端的软硬件设计、系统的自定义通信协议和远程控制方法; 系统实测结果表明, 该系统数据传输可靠、响应时间短、成本低, 易于进行远程管理和控制。

关键词: 电力载波通讯; 集中器; 智能照明; 电能检测; PLC 芯片

Design and Implementation of Community Intelligent Lighting Management System Based on Internet of Things

Mo Fu, Li Chao, Yu Liang, Nie Jun

(School of Computer, Guangdong University of Science & Technology, Dongguan 523083, China)

Abstract: According to the difficult situation of domestic small and medium LED lighting enterprises and the status quo of government advocating the low-carbon and green lighting policy, a design scheme of residential intelligent lighting management system based on power line communication technology was proposed. The smart control terminal contains Micro-controllers, PLC chip and sensors, which can collect the power of single lamp and light intensity data. The concentrator integrated GPRS communication module is responsible for establishing a connection with the remote control center and the control terminal is connected to the concentrator through the power lines, to achieve PC and mobile terminal multiple platforms control for LED lighting. It focuses on the hardware and software design of intelligent control terminal, custom communication protocol and remote control method. The actual measured results show that the system has reliable data transmission, short response time, low cost, easy remote management and control.

Keywords: power line communication; concentrator; intelligent lighting; power detection; PLC chip

0 引言

目前, 随着能源紧张问题的凸显和政府对于低碳节能环保的高度重视, LED 照明管理智能化、人性化是小区、企业、学校面临的新问题之一。大多数的小区照明仍然沿用传统单一的控制方式, 存在电能浪费大, 远程操控不变, 故障巡查难度大等现象。因此, 采用现代化、智能化的照明管理方式越来越受到更多人的关注, 成为研究的热点。

近年来, 国内外科研人员在 LED 智能照明控制领域开展了大量的工作。总线式照明控制系统, 主要有基于分布式控制总线^[1-2]和现场控制总线^[3], 总线方式扩展性好、可靠性高, 但是总线式智能控制系统, 存在专业性太强、难以精准控制、综合布线麻烦, 很难普及^[4]。采用 ZigBee 技术的无线照明控制系统以功耗小、成本低、组网方便, 得到很多厂商的重视^[5]。但采用无线方式存在辐射大、稳定性不高、容易被障碍物阻挡等问题。国外, 电力载波技术已广泛应用于智能家居、智能照明控制方面^[6-7]。电力载波技术由于采用电力线作为载

波信号的传输媒介, 具有信号传输稳定可靠、无须铺设额外线路、健康环保等特点。由于小区照明控制范围小、数据量小, 电力线载波窄带宽和变压器阻断的缺点不突出, 使其具有明显优势。

在此背景下, 本文结合国内日渐兴起的电力载波技术, 提出了一种新型的智能照明控制系统。有效提升了小区照明管理的技术水平和服务水平, 减轻管理维护人员的负担, 节约能耗。

1 系统总体结构

本系统包含前端智能控制节点、集中控制器和远程控制端 3 个层次。节点与集中器通过电力线相连并进行载波通信, 5~10 个集中器即可覆盖中小型小区的照明区域。整个系统采用自定义的通信协议确保数据传输过程的可靠和安全。系统能够实现单灯节点的开关灯控制, 适时的提供光照, 适应多变的天气, 按需调节灯具光强、实时监测单灯的电压、电流、温度等状态, 自动检测故障并上报。系统引入 PC 控制端和移动端双重控制, 实现小区管理员与系统的交互, 如图 1 所示。

1.1 系统硬件设计

为了实现系统的各项功能和保证整个系统的稳定工作, 系统硬件的选型和设计显得尤为重要, 本文将从前端控制节点、集中器节点、智能调光模块和电量检测模块加以详细阐述。

1.1.1 前端控制节点设计

前端控制节点照明设备单灯控制器硬件系统包括微控制器

收稿日期: 2015-12-03; 修回日期: 2016-01-04。

基金项目: 基金项目广东科技学院 2014 年重点科研项目 (GKY-2014KYZD-5); 基金项目广东省普通高校特色创新项目 (广科【2015】27 号)。

作者简介: 莫夫 (1968-), 男, 广东阳江人, 硕士, 讲师, 主要从事信息系统, 无线技术方向的研究。

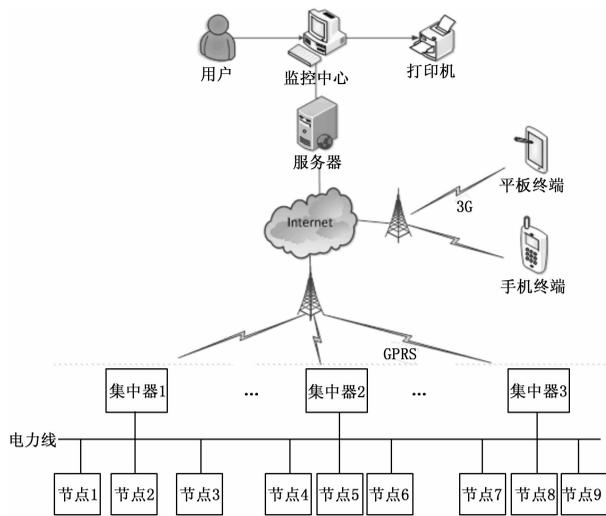


图 1 系统总体结构图

MCU、PLC 数据传输模块、CS5463 电能采集模块、光敏传感器、继电器、PWM 调光、AC/DC 电源等。单灯控制器直接从 5 芯 3 相电缆接入, PLC 模块接在指定的相位上, PWM 和继电器与照明设备所在相电力线连接。MCU 负责处理前端控制器节点的数据, 执行开关灯、亮度调节、回传电流电压等任务。光敏传感器采集光照强度传给微控制器, MCU 调整 PWM 的脉冲占空比达到调整驱动电压、电流、功率的目的, 从而调整 LED 照明设备的亮度。通过电能检测模块采集单灯的电压、电流, 不仅能及时统计和查询设备的能耗情况还可以主动实时上报故障和线路情况。如图 2 所示。

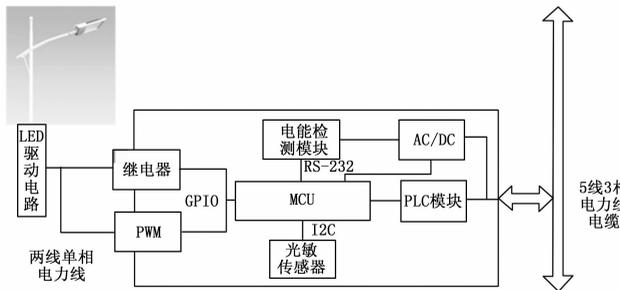


图 2 前端控制节点总体框图

1.1.2 集中器节点设计

集中控制器硬件则由 Cortex-M3 内核的 STM32 微控制器、PLC 数据传输模块和 GPRS 通信模块组成。微控制器通过串口与 PLC 电力载波模块和 GPRS 通信模块相连。GPRS 模块采用的是华为 GTM900C 模块, 内部支持 TCP/IP 协议。PLC 电力载波通讯模块包括收发电路和 PLC 通信协议处理部分。集中控制器主要有两个功能, 其一, 通过电力线与各个前端单灯控制器进行数据传输, 控制各个单灯控制器和单灯控制器进行数据交换; 其二, 通过 GPRS 与远程服务器建立无线连接, 实现数据的通信, 便于远程管理和控制。

1.1.3 智能调光模块设计

目前, LED 照明设备调光技术主要有可控硅调光、模拟调光和 PWM 调光 3 种技术, 本系统采用脉宽调制降压的设计思路, 通过改变 PWM 脉冲的占空比来调节输出电压、电流、

功率的大小实现调光。系统设置 4 个可调光档位, 支持手动调光和自动调光两种控制方式, 系统默认为自动调光模式, 可综合时钟、季节和光照强度信息自动设置亮度。光线最差时, 系统的 PWM 占空比接近百分之百, LED 的亮度最大且满足光照要求; 当环境的照度变化时, 系统根据光强度自动改变 PWM 的占空比值, 调整灯具亮度适应环境, 达到节能的目的。为实现这一目标, 选用好的光传感器至关重要。系统采用灵敏度高的 TLS2561 作为光敏传感器, 能实现光电信号的转换, 通过 I2C 与 STM32 相连, 通过 STM32 的 PWM 端口输出调光脉冲信号。LED 驱动电路中集成 PWM 调光电路, 电路如图 3 所示, 桥式电路的输出通过三极管来控制, 当电路的输入电压为一连串振幅相同而宽度不同的 PWM 脉冲时, 依照特定的规范调制 PWM 脉冲信号宽度, 即可获得等效的输出电压。此时, 电压的波形受到高频分量的干扰并非标准的正弦波, 需要在电路的输入输出两端分别串联一个电抗来实现平波, 缓解对电源产生的影响^[8]。

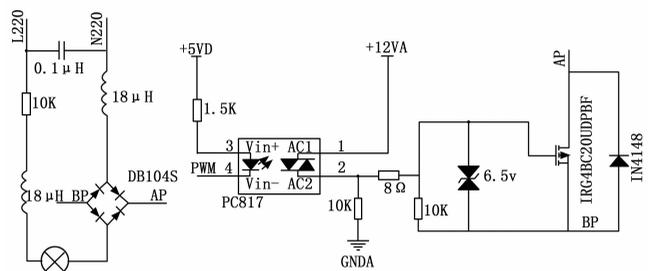


图 3 PWM 调光电路

1.1.4 电量检测模块设计

远程监控中心可以监测 LED 照明设备的工作状态, 如查询 LED 亮灯和能耗情况, 系统需要定时或者实时采集灯的电压、电流、功率和电能参数。用户通过手机 APP 查看所有灯的电压、电流、功率变化曲线图。电能模块提供 4 个 220 V 接口, 两个输入和两个输出以及一个串口数据收发端, 模块将采集到的数据通过串口传送到微控制器。系统采用电压互感器 HPT205、电流互感器 HCT204 分别检测 LED 灯两端的电压和流过 LED 灯的电流大小。HPT205 输出电压范围是 0~2 V, HCT204 输出的电流大小是 0~2.5 mA, 经过电阻的分压, 电压降低到 0~1 V 的范围, 经过 5 V 电压拉高之后, 通过运算放大器的电压维持在 2.5 V 左右。最后, 通过二极管 BAT54S 进行稳压保护 PLC 芯片。双运算放大器 LM358 起到射极跟随器的作用, 用以补偿内部功率^[9]。电压和电流的采集电路如图 4 所示。

1.2 系统软件设计与实现

小区智能照明管理系统下位机主要包括两部分: 集中控制器程序和前端控制器程序。本节主要对这两部分的程序流程进行详细设计。

1.2.1 前端控制器程序

前端控制节点的程序工作流程如下: 上电复位后, 系统初始化 (包括 MCU 串口、I2C、电能检测模块和光敏传感模块), 启动看门狗电路, 读取电力载波 PLC 模块 MAC 地址, 然后 MCU 开放总中断, 允许串行通信中断, 通过 I2C 发送采集光敏传感数据命令读取光强度, 采集实时时钟, 结束后进行

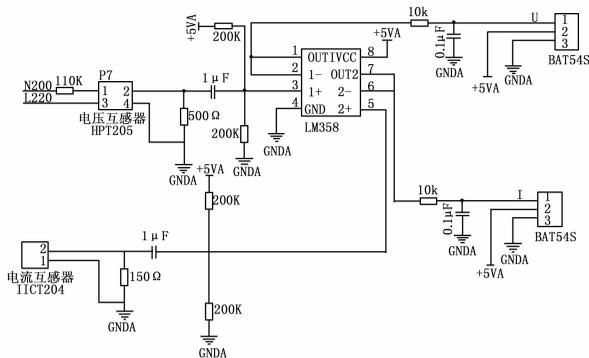


图 4 电压电流采集电路

数据处理，系统默认处于自动调光模式，自动判断开关灯时间是否已到和灯亮度档位，接收来自监控中心的命令，进行相应的处理等。

微控制器采用中断方式监听串口数据，电力载波模块 PLC 从电力线收到数据后，根据载波协议进行严格判断目的地址是否为本节点，然后进行相应的处理。载波模块将属于本节点的数据通过串口透传给微控制器，此时控制程序首先将接收到的数据放入一个定义好的数据缓冲区，然后在程序主循环检测缓存区是否为空，有数据则进行处理。微控制器将收到的数据按照自定义协议解析，分别调用子函数处理，并将操作结果逐级返回到控制端，自定义协议保证了数据的正确性，防止传输过程中数据帧的丢失。微控制器主程序如图 5 所示。

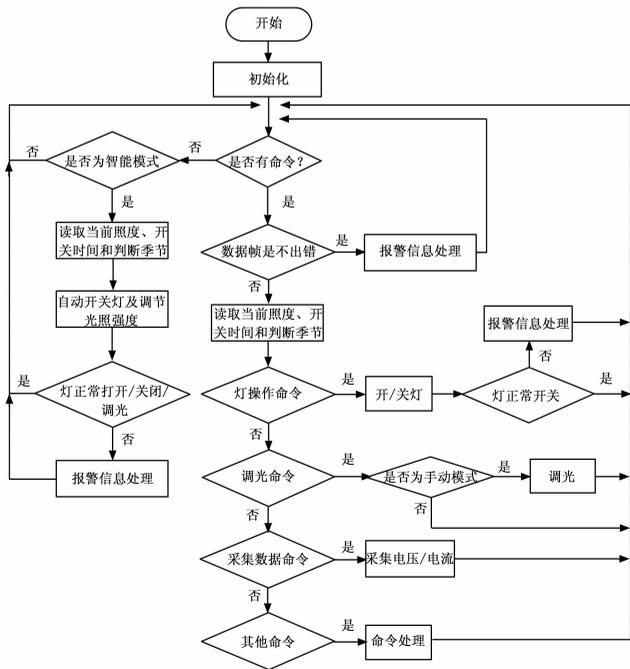


图 5 前端控制节点主程序流程图

1.2.2 集中控制器程序

集中控制器程序设计基于结构化程序设计思路，主要包含微控制器系统初始化模块、PLC 载波通信串口数据处理模块、GPRS 无线通信数据处理模块和中断服务程序处理模块。系统初始化主要包含系统时钟 (SYSCLOCK) 初始化、通用输入输出

端口 (GPIO) 初始化、串口 (RS-232) 初始化、向量中断控制寄存器 (NVIC) 初始化、SRAM 和 FLASH 初始化等工作。集中控制器的主架构流程如图 6 所示。系统初始化完成后，通过 GPRS 模块发送 AT 指令与远端的服务器建立连接，由于 GPRS 无线信号有可能出现短暂不稳定，导致连接断开，系统支持断线自动重连，然后打开定时器，使能总中断，系统进入主循环，循环检测 PLC 和 GPRS 模块的串口数据是否接收完全，如果收到 GPRS 的串口数据，系统调用 GPRS 数据处理子程序对数据进行解析，得到相应的操作和地址后采用点对点或者广播的方式控制前端控制节点来执行该命令；如果收到的是载波串口上的数据，则按照载波协议解析该命令，通过自定义协议封装上传结果；否则，系统返回主循环继续检测。

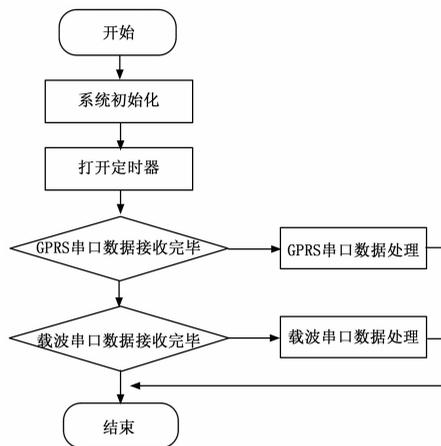


图 6 集中控制器主程序流程图

2 关键技术研究

2.1 电力载波技术

电力线载波通信指利用现成的电力线路，通过载波调制解调将模拟、数字信号进行远程传输。其优点是可靠性高、穿墙性好、辐射小，不需重新布线，节省资源。然而，作为开放信道，电力线通信信道呈现出衰减增强、噪声高、负荷变化剧烈等恶劣的性能。

本系统采用 BFSK 扩频方式^[10]的 PLC 芯片，外加时钟电路、陶瓷滤波接口电路、载波发射电路和载波接收电路。电源部分接入 220 V 交流电压，通过降压处理向模块供电，载波发射电压在 7~24 V 之间，其他芯片电路 5 V 供电。微控制器与 PLC 模块串口连接，如图 7 所示。

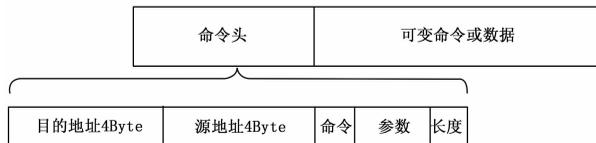


图 7 串口命令数据包格式

每个命令均由固定命令头和可变命令/数据组成。命令头包含 12 个字节，其中前 8 个字节为目的地址和源地址，访问设备均需要指定目标地址，或者提供组播地址、广播地址、地址的长度固定为 4 个字节，有 MAC 地址和动态 ID 两种表示方式，MAC 地址为设备唯一标识，始终可以访问到特定的设备，即使以无效的 MAC 地址为目标地址的数据包也会在载波

网络里传输和转发; 动态 ID 只有当载波网络组网完毕后才能使用, 访问无效的动态 ID 会立即返回错误, 不会将数据包发送到载波网络。如 FFFF FFFF 表示广播地址, 8000 0000-FFFF 0000 表示节点 MAC 地址等。命令字节表示模块支持的命令如获取节点路由表信息、向远程节点写入数据等。参数占 2 个字节与命令有关, 命令的长度用 1 个字节表示, 包含 12 字节的命令头和可变长度命令/数据。

2.2 自定义通信协议

智能照明系统移动端和服务器之间、服务器与集中器之间的通信均采用自定义内部通信协议方式实现: 系统内部通讯协议设定的目的是确保 B/S、C/S 结构下, 系统能够准确、可靠的通讯。所谓系统内部通讯协议是指由系统自己定义的, 是通讯双方要求对方传输固定格式的命令或指令。通信协议由帧头、目的地址、源地址、操作码、数据长度域、数据域、校验码、帧尾构成。数据域的长度可变。集中器与节点之间采用半双工通信方式, 单控节点为从模式, 集中器为主模式。单灯节点有唯一标识的 MAC 地址。自定义通信协议格式如表 1 所示。

表 1 自定义通信协议格式

序号	字节	含义	说明
1	2	帧头	0x55,0xAA
2	4	目的地址	MAC
3	4	源地址	MAC
4	1	操作码	C
5	2	数据长度域	L
6	N	数据域	DATA
7	2	校验码	CS
8	1	帧尾	0x0D

帧头由 'U' 的 ASCII 码和其反码构成, 网络中每个设备的 MAC 地址唯一; 操作码 C 表示系统可以操作的命令: 开灯、关灯、调光、电能查询、线路检测等; 数据长度 L 为数据域的长度, L=0 时表示数据域为空; DATA 为可变负载数据内容; 校验码 CS 是计算从目的地址开始到数据域的累加和和异或校验和。

3 实验结果

将各个模块连成一个系统, 模拟小区灯光环境, 选取远程控制开关灯、调光和获取电能参数几个重要功能和性能进行测试。测试环境为两个集中器、4 个 PLC 灯控节点、远程监控中心和移动控制平台, 两组分别接入 220 V 电力线。景观灯和路灯两两一组, 每个集中器控制一个类型的灯, 如集中器 1# 控制路灯节点 1# 和 2#。PC 控制中心和 Android 移动端可以远程控制单灯的开关、亮度调节、电能参数检测和线路防盗, 也可以选择性的开关部分灯。

搭建好测试环境后, 打开服务器网关和监控中心, 进入到调光的主界面。在组控方式下打开、滑动滚动条进行渐高渐低亮度调节, 关闭操作, 节点都达到预期的效果。在灯光强度的 4 个档位上分别查询灯具的电能参数, 对结果进行比较分析。每组重复测试 10 次, 统计分析路灯和景观灯在调光延时误差、远程控制平均延时和定时开关响应延时的误差。

从表 2 的检测结果表明, 远程控制延时时间控制在 0.5 s 以内, 定时开关响应延时在 3 s 以内, 输出电流大小和亮度基本上呈线性关系, 能够满足实际应用的要求。

表 2 小区智能照明系统测试计算表

测试设备	景观灯		路灯		景观灯		路灯	
	调光亮度		调光亮度		调光亮度		调光亮度	
亮度	1 档		2 档		3 档		4 档	
灯号	1	2	1	2	1	2	1	2
电流/mA	10.5	11.5	12.5	13.4	14.5	15.6	16.1	18.3
电压/V	19.96	20.06	22.99	23.56	25.99	24.56	27.04	26.66
功率/W	20.9	23	28	31	37	38	43	48
用电量(kW·h)	0.022		0.029		0.037		0.045	
节电量(kW·h)	0.023		0.016		0.008		0	
节电率/%	51.11		35.55		17.77		0	
测试次数	10		10		10		10	
调光平均延时误差(S)	<0.5		<0.5		<0.5		<0.5	
远程控制平均延时(S)	<0.6		<0.5		<0.8		<0.5	
定时开关响应延时(S)	2		1		3		1	

4 结束语

小区智能照明管理系统, 采用电力载波通信技术, 将小区各种 LED 灯的状态及时反馈到监控中心和手机移动端, 小区管理维护人员很容易了解到小区照明设备的开关灯情况及异常情况, 既省去了小区大幅度巡查的麻烦, 又很大程度缩短响应处理时间, 提高了响应实时性。系统可以开启智能模式, 自动根据季节定时和光照强度做到在合适的时间、以合适的亮度照明, 大大节约了电能。本系统具有安装简单、可靠性高、无需额外布线等优点, 加强了小区照明管理方式, 提高管理工作效率, 有效解决了中小型 LED 企业的生存困境, 值得推广应用。

参考文献:

- [1] 梁伟伟. 基于 CAN 总线的智能照明控制系统设计 [J]. 信息技术与信息化, 2008 (6): 72-74.
- [2] 杨学蒙. 基于 CAN 总线的工业园区智能照明控制系统设计 [D]. 西安: 长安大学, 2014.
- [3] 刘敏层, 杨子毛, 李 阳, 等. 基于 LonWorks 现场总线的智能照明监控系统设计 [J]. 现代建筑电气, 2014 (12): 34-37.
- [4] 梁人杰. 智能照明控制技术发展现状与未来展望 [J]. 照明工程学报, 2014 (2): 15-26, 31.
- [5] 周晓伟, 蔡建平, 郑增威等. 基于 ZigBee 传感网的楼宇智能照明控制系统的设计与实现 [J]. 计算机工程与科学, 2009, 31 (8): 150-152.
- [6] Jiang H, Lin J, Wu C. Design of Smart Home Monitoring System Based on ARM and Power Line Carrier Communication [J]. Safety, 2015, 10 (7).
- [7] Zhang C L, Wang W, Su X J. Design of Intelligent Lighting Control System Based on Power Line Carrier Communication Technology [J]. Advanced Materials Research. 2014, 1051: 937-941.
- [8] 廖惜春, 任敬哲, 杨志高. 基于电力载波的可寻址 LED 路灯智能监控系统设计 [J]. 照明工程学报, 2014 (2): 43-47.
- [9] 魏建伟, 左 飞, 张 宁, 等. 电力载波技术在电力线路故障监测中的应用研究 [J]. 微计算机信息, 2012 (4): 24-26.
- [10] 何志良, 张然, 陶维青. 窄带高速电力线载波通信发展现状分析 [J]. 电测与仪表, 2013, 50 (5): 68-71.