

基于 GPRS 和 ZigBee 的节能型 LED 路灯智能控制系统

经伟¹, 许堃¹, 余建波²

(1. 上海大学 机电工程与自动化学院, 上海 200072;

2. 同济大学 机械与能源工程学院, 上海 200092)

摘要: 针对现有城市路灯控制系统路灯使用寿命短、无法远程操控、不能自动识别故障路灯的问题, 提出一种基于 GPRS 网络技术和 ZigBee 无线通信技术的节能型 LED 路灯智能控制系统, 使用 ZigBee 无线网络与 LED 路灯控制终端通信, 并通过 GPRS 通讯模块接入 GPRS 网络与远程控制中心相连, 实现远程控制 LED 路灯, 此外, 通过 LED 路灯控制终端实时采集路灯电压和电流, 实现 LED 路灯的远程监控; 具体阐述了 GPRS 通讯模块、ZigBee 无线网络模块、LED 控制终端的硬件设计方案, 软件设计流程, 系统通信协议和远程控制实现方法; 测试结果证明此系统数据传输可靠、响应及时、成本低、易于实现 LED 路灯的远程控制和远程监控, 具有较大的实用性和推广价值。

关键词: 节能照明; 远程控制; 远程监控; LED 路灯; GPRS; ZigBee

GPRS and ZigBee Based Energy—Efficient LED Lights Intelligent Control System

Jing Wei¹, Xu Kun¹, Yu Jianbo²

(1. School of Mechatronics Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China;

2. School of Mechanical and Energy Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: An energy-saving LED lights intelligent control system is put forward which is based on GPRS and ZigBee, to solve the problems of the short life, unable to remote control, and can not automatically identify the fault lights in the city street light control system. Remote Control LED lights is realized by ZigBee and LED Streetlights Communications and remote control center is accessed. In addition, voltage and current are collected by LED lights intelligent control terminal. The hardware design and the software design of GPRS communication module, ZigBee wireless LAN module and LED control terminal are elaborated. System communication protocol and remote control implementation are also elaborated. This system has reliable data transmission, fast response, low cost, easy to implement LED lights remote control and remote monitoring which are tested. The system has greater practicality and promotional value.

Keywords: energy-efficient lighting; remote control; remote monitoring; LED streetlights; GPRS; ZigBee

0 引言

随着中国城市化建设的不断深入, 经济高速持续发展, 能源短缺和环境污染问题日益严重, 由此政府提出了“低碳经济”的口号。传统的道路照明灯具主要是白炽灯、高压钠灯、水银汞灯等, 这些灯具普遍存在能耗高、发光效率低、寿命短、不可调光的缺点, 与此相比 LED 灯具是一种新型的、高效的现代照明灯具, 具有寿命长、体积小、结构紧凑、启动速度快, 绿色环保等优点, 因此, 近年来 LED 灯具越来越多地应用在城市道路照明上。

采用 LED 灯具代替传统的道路照明灯具在节约能源方面起到了重要作用, 但是现有的路灯控制技术却成为道路照明进

一步节约能源的新的瓶颈。当前, 路灯控制技术存在两大难题: 即路灯管理问题和路灯维护问题。路灯管理: 传统的路灯控制常采用定时器控制方式, 让路灯在规定的时间内亮和灭, 无法做到与路灯控制中心的通信, 不便于远程通信和管理; 路灯维护: 当前路灯的维护主要依靠人工排查的方法, 费时、费力、效率低下。为了解决上述难题, 近些年来, 路灯控制技术已经成为了研究热点, 文献 [1] 提出了一种基于电力载波通信技术的路灯控制系统, 电力载波以电力线作为信号传输总线, 能够实现智能化监控和管理, 但随着传输距离的增大, 载波信号衰减, 且抗干扰能力差, 会造成控制不稳定, 出现控制失败。文献 [2] 提出了一种利用光纤通信来控制和管理路灯的方案, 解决了信号衰减的问题, 但是光纤通信成本较高。

针对现有城市道路照明控制系统存在的缺陷, 为了远程实时有效的对路灯进行管理和维护, 节约成本, 本文设计了基于 GPRS 网络技术和 ZigBee 无线通信技术的智能路灯控制系统, 该智能控制系统不但可以对区域内任何一盏路灯进行单灯控制, 而且可以对区域内所有路灯进行集中控制, 并且可以对区域内路灯进行远程监控, 数据传输不但受距离限制, 而且大大减少了故障路灯的维修时间, 除此之外, 本系统还结合

收稿日期: 2014-09-02 ; 修回日期: 2014-10-17。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51375290, 71001060); 上海市教育委员会科研创新项目(13YZ002)。

作者简介: 经伟(1989-), 男, 江苏扬州人, 硕士研究生, 主要从事灯光智能控制、设备远程控制等方向的研究。

余建波(1978-), 男, 浙江宁波人, 副教授, 硕士研究生导师, 主要从事设备智能预诊、质量控制、机器学习、人工智能等方向的研究。

GPS 导航技术将获取的当前时间与系统配置的时间相比较, 利用 PWM 调光技术, 可以在定时模式下自动响应路灯开关以及在不同的时间段响应不同的亮度, 从而进一步节约能源。

1 系统结构

基于 GPRS 网络技术和 ZigBee 无线通信技术的智能路灯控制系统架构图如图 1 所示, 系统主要由控制终端、通信系统 (ZigBee 局域通信、GPRS 远程通信) 和远程控制中心组成。其中控制终端与 LED 灯管连接, 包括电源接口、LED 灯管连接接口、485 通讯接口; 通信系统包括 ZigBee 局域通信和 GPRS 远程通信, GPRS 网络模块和 ZigBee 协调器通过 RS485 串口连接, 放在每一个路灯分站控制柜里, GPRS 与远程控制中心直接通信, 而 ZigBee 协调器与下级路灯控制终端进行通信; 远程控制中心通过上位机软件系统对 LED 路灯进行远程控制和监控。

此系统采用 GPRS 远程无线通信和 ZigBee 局域无线通信相结合的方式实现远程控制和监控 LED 路灯, 整个系统无需布线, 成本低, 数据传输速率快, 传输距离远。远程控制中心根据需要发出控制指令, 经 GPRS 模块透明传输至 ZigBee 协调器, 再由 ZigBee 协调器发送至控制终端, 控制终端接收命令控制 LED 路灯的亮暗, 同时, 可以在线采集 LED 单个路灯的工作电压和电流, 通过远程控制中心监控电压和电流信息, 从而可以判断 LED 路灯是否损坏。

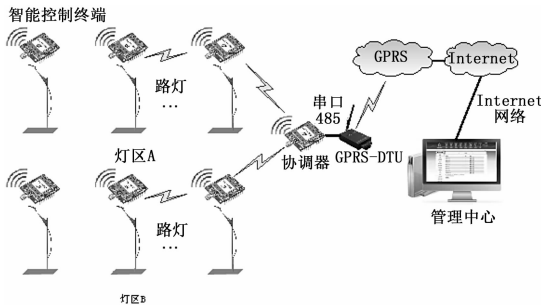


图 1 系统架构图

2 硬件系统设计

2.1 GPRS 远程通讯模块

GPRS 远程通讯模块指的是带有 GPRS 功能的 GSM 模块, 它可以利用 GPRS 网进行数据通信^[8]。为了适应路灯作业环境以及简化接口电路, 本系统采用 GPRS 远程通信模块主要由 SIM908 模块、SIM SOCKET 模块、RS485 \ RS232 串口模块以及电源模块等构成, 其中 SIM908 模块又是其中的核心, SIM908 是 SIMCOM 公司开发的一款集成 GPS 导航技术的可编程 GSM/GPRS 模块, 由于该模块内嵌 GPS, 因此可以大大节约开发时间和成本, 模块支持 GPRS 数据传输、SMS 控制、内嵌 TCP/IP 协议栈, 通过 AT 命令建立连接, 并且留出了 SIM 卡接口引脚和一系列外部接口引脚, 从而大大降低了设计的难度, SIM908 远程通信模块硬件结构如图 2 所示。

2.2 ZigBee 无线组网模块

本系统采用 Chipcon 公司推出的无线传感器网络应用芯片 CC2430, 进行节点数据处理及通信, 该芯片是符合 ZigBee 技术标准的高集成工业级芯片, 它基于 IEEE802.15.4 通信协议, 工作于 2.4 GHz 免执照频段, 无线通信部分采用直接序

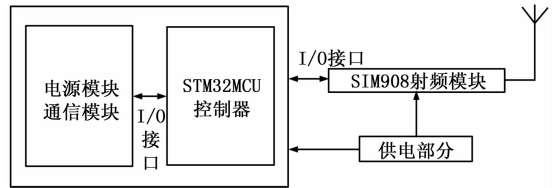


图 2 SIM908 硬件结构图

列扩频 (DSSS) 射频收发器, 可以有效防止信号干扰, CC2430 还集成了一颗工业级小巧而高效的 8051 处理器, 128 KB 闪存和 8 KB 的 RAM, 以及模拟数字转换器 (ADC), 定时器 (Timer), AES128 协处理器, 看门狗定时器 (Watchdog timer), 可编程 I/O 引脚等电路^[4]。CC2430 采用低功耗设计, 其工作时的电流损耗为 27 mA, 在接收和发射模式下, 电流损耗分别低于 27 mA 或 25 mA, CC2430 的休眠模式和转换到主动模式的超短时间特性, 特别适合那些要求电池寿命非常长的应用^[5]。

该 LED 路灯智能控制系统中, ZigBee 无线组网模块分为协调器节点模块和路由节点模块, 其中, ZigBee 协调器节点为网络中心节点, 在网络中主要承担组建网络以及网络管理的角色, 同时它是控制指令和数据采集传输的汇聚中心节点; 路由节点主要负责路由和转发, 本系统中路由节点同时作为 LED 路灯终端节点进行数据采集; 在硬件结构上, 本系统中 ZigBee 协调器节点与 ZigBee 路由节点相比没有 A/D 转换驱动模块、电压采集模块、电流采集模块、PWM 输出模块。图 3 是 ZigBee 路由器硬件系统结构框图。

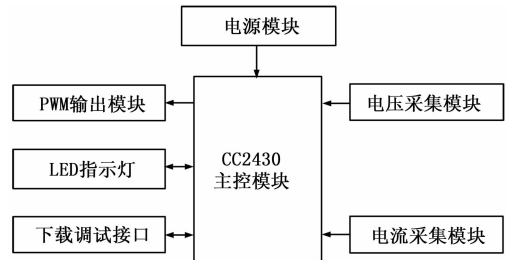


图 3 ZigBee 路由器硬件系统结构框图

3 软件系统设计

3.1 ZigBee 组网软件设计及实现

ZigBee 网络标准支持三种网络拓扑, 即星型拓扑、树形拓扑和网状拓扑^[6]。如图 4 所示, 星型网络由一个协调器和若干终端设备节点组成, 终端设备节点之间不能直接进行相互通信, 而都只能与协调器直接进行通信; 网状网络通常由一个协调器和若干路由器和终端设备节点组成, 各个路由器节点和协调器节点之间都可以进行直接或间接的数据收发及通信, 该拓扑结构网络通信性能出众且具有一定的自愈能力, 但单个协调器节点或路由器节点所占用系统资源更多, 且其网络构建也相对繁琐; 树形拓扑结构其网络构建比网状网络简单很多, 同样能完成网络路由转发的功能, 从而增大通信距离。考虑到 LED 路灯控制系统节点数量有限, 位置也相对固定, 因而采用较为简单的树形网络, 这样不但可以延伸传输距离, 而且可以降低节点开发成本, 方便管理。

本系统 ZigBee 网络组网协议采用的是美国密西西比大学

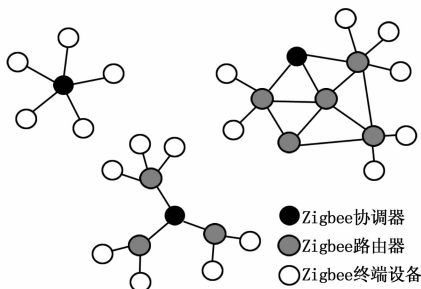


图 4 ZigBee 网络拓扑结构图

的 R. Reese 教授开发的 MSSTATE_LRWPAN 协议栈^[7]，这是一款精简的开源 ZigBee 协议，虽然是精简的 ZigBee 协议，但是基本的 ZigBee 功能都已经具备，并且与 TI 公司的 Z-Stack 协议栈相比，具有组网迅速、源码开放、调试方便、生成代码容量小等优点。

3.1.1 ZigBee 自组网

MSSTATE_LRWPAN 协议栈支持自组网的功能，首先协调器节点在应用层调用 `aplFormNetwork()` 开启组网过程，然后进入 APS 层设置网络层状态机服务命令为 `LRWPAN_SVC_NWK_FORM_NETWORK`，并进入 APS 层状态机循环，APS 层不做处理 (PASSTHRU) 直接转入网络层进行组网操作。入网动作由与路灯相连接的路由器节点完成，在应用层调用函数 `aplJoinNetwork()` 设置 APS 状态机服务命令为 `LRWPAN_SVC_APS_NWK_PASSTHRU` 和网络层状态机服务命令为 `LRWPAN_SVC_NWK_JOIN_NETWORK`，然后进入 APS 层状态机循环程序，同样 APS 层不做处理直接转入网络层进入入网操作，根据协议栈内部的算法机制，最终组成我们所需要的树形网络。

ZigBee 协调器节点工作流程图如图 5 所示，路由节点工作流程图如图 6 所示。

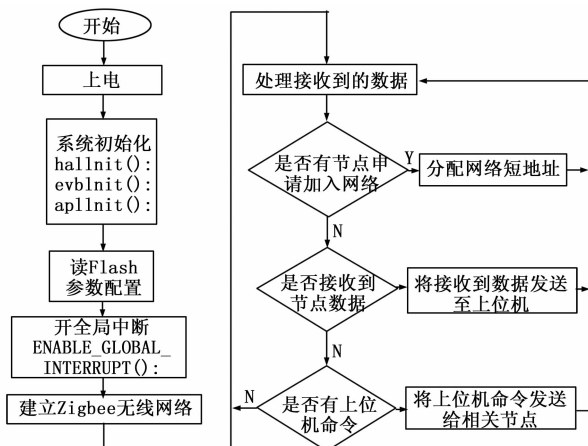


图 5 ZigBee 协调器工作流程图

3.1.2 ZigBee 自愈

在路灯实际应用情况下，如节点过多，节点所处环境不稳定，都将会引起节点丢失或者新增节点的情况，当遇到此种情况时，ZigBee 网络可以自动修复，图 7 是路灯控制系统所组的一个树形网络拓扑，以下将从理论方面分析三种情况下路灯节点自愈的情况，实验验证将在最后给予说明。

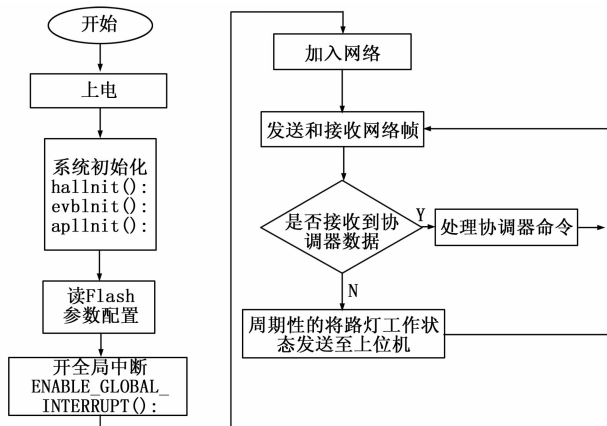


图 6 ZigBee 路由器工作流程图

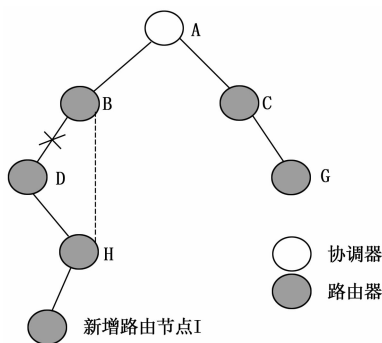


图 7 树形网络拓扑图

情况 1：路由节点因所处环境不稳定，暂时性与父节点失去连接。

假设当路由节点 D 与其父节点 B 失去连接的时候，这时候函数 `aplReJoinNetwork()` 使节点发送一个孤儿通知，然后就等待第一个来自父节点的重加入应答，第一个收到孤儿通知的父节点就去邻居表核查这个子节点，如果找到这个子节点，就发送包含这个子节点的短地址和网络 PANID 的重加入应答。

情况 2：路由节点坏死。

当网络正常时，协调器 A 将数据发送到路由节点 H 要经过 A-B-D-H 这一路径，假设当路由节点 D 坏死，此时它的子节点 H 就会与其父节点断开连接，这时候节点 H 通过函数 `aplJoinNetwork()` 重新加入网络，加入所有父节点中响应信标信号最强的那个 B，此时数据传输路径为：A-B-H，从而恢复网络的运行。

情况 3：新增加路由节点。

假设网络新增加路由节点 I，此时路由节点就会发起加入网络的请求，通过函数 `aplJoinNetwork()` 加入网络，节点 I 将加入所有父节点中响应信标信号最强的那个 H，此时，路由节点 I 的加入，使得整个网络拓扑的网络深度增加。

3.2 远程控制中心

该系统采用两种方式控制 LED 路灯，一种是手动模式，另一种是定时模式。远程控制中心通过 GPRS 网络接入因特网，系统采用 Visual C 语言开发上位机软件，包括通讯连接、LED 路灯远程控制（单灯控制和集中控制）、远程状态监测。

当开启手动控制路灯的模式, 首先, 远程控制中心可以实时获取每个分站控制柜中 GPRS 模块对应的 IP 地址和端口号, 根据一天中不同的时间段, 可以手动向不同的灯区发出灯光控制命令, 远程控制中心可以集中控制所有灯区的路灯, 也可以通过 LED 路灯编号单独控制某个灯区的任意一盏路灯, 同时, 通过电压、电流采集电路, 可以监测 LED 路灯的工作状态, 以曲线方式在上位机界面显示出来; 当开启定时控制路灯的模式, 它是利用 GPS 导航技术获取精确时间与设置时间比较, 从而自动去控制路灯的开关以及亮度值。

3.3 系统通信协议

远程控制中心将带有目的地址、控制命令等内容的数据包发往 LED 控制终端, 在数据包传输过程中, 每一个路由节点将对目的地址进行解析, 从而判断数据跳转流向, 最终 LED 控制终端在接收到属于自己的数据包后, 将对该数据包进行解析, 从而灵活的控制该路灯的开关、亮度。系统通信数据包协议如下表 1 所示。

表 1 系统通信数据包协议

字节编号	内容	意义
D0	FA	帧头
D1	09	长度码
D2	01	事件号
D3	00	上/下行
D4	04	长度
D5	00	源端点
D6	00	目的端点
D7	00	控制功能位
D8	00	调光控制位
D9	XX	目的地址高字节
D10	XX	目的地址低字节
D11	00	帧尾

4 实验验证

本实验通过 LED 灯管模拟 LED 路灯对开发的 LED 路灯智能照明控制系统进行了验证测试, 主要包括 GPRS 通信网络建立、ZigBee 树形无线传感器网络的自行组建以及网络的自愈、上位机实时控制 LED 灯的开关, 亮暗以及电参数的采集功能的实现。测试系统包括一台 PC 机 (作为服务器)、一个 GPRS 模块 (作为客户端)、一个 ZigBee 协调器、六个 ZigBee 路由器、四个 LED 灯管。系统测试将分为单灯控制和集中控制分别进行实验。系统测试实验连接方式: LED 灯管连接 ZigBee 路由器控制终端的 LED 接口, ZigBee 协调器与 GPRS 网络透传模块通过 RS485 连接。测试流程: 首先设置 GPRS 通讯模块的 IP 地址或者域名, 通讯端口号, 串口波特率等, 设置成功后发起与服务器建立连接, 通过服务器操作界面可以看到是否连接成功, 然后给 ZigBee 协调器上电, 依次给 ZigBee 路由器上电, 即可组成所需的树形网络, 其中为了验证 ZigBee 的三种自愈情况, 我们分别将图 7 中路由由节点 B 用物体遮挡住; 将节点 D 断电; 增加节点 I。测试结果: GPRS 在接入 Internet 网络时, 有大约 30 s 的延迟, 连接成功后 PC 和 GPRS 模块可以准确无误的双向通信; ZigBee 网络: 协调器上

电即可组网, 感觉不到延迟, 使用外接天线, 空旷无障碍时候通讯距离在 100 m 左右, 完全符合路灯控制现场的距离要求 (一般路灯间隔为 30 m), 当路由节点 B 和 D 之间用物体遮挡住, 路由节点 D 失去与 B 的连接, 此时将遮挡物拿开, 节点 D 又自行恢复与节点 B 的连接; 当路由由节点 D 断电, 此时接在节点 D 后面的节点 H 将自行接入节点 B, 组成新的网络; 当新增加节点 I, 由于节点加入网络与接收信号强度有关 (RSSI), 此时节点 I 加入了节点 H。电参数采集: 通过远程控制中心可以实时监测采集的电压和电流。本系统通过远程控制中心, 能够准确的控制 LED 灯的开、关和亮度并且可以实时采集 LED 灯的电流和电压值, 控制可靠, 响应及时。

5 结束语

基于 GPRS 网络传输距离远、传输速率快以及 ZigBee 技术低功耗、短时延、组网容易等特点, 本文设计了基于 GPRS 和 ZigBee 的 LED 路灯智能控制系统, 该系统满足了 LED 路灯远程控制和远程监控的要求, 实验结果表明此系统控制方便、可靠性高、易于实现。经过反复测试, 该系统目前实现的功能如下: 1) PC 机与 GPRS 模块间数据通信安全可靠, 可以通过 PC 机直接向 GPRS 模块发送控制信息; 2) ZigBee 协调器、路由器组建 ZigBee 树形无线传感器网络, 控制灵活可靠; 3) LED 控制终端 (ZigBee 路由器) 可以实时准确的采集当前路灯的电压和电流信息; 4) 可通过 PC 上位机控制软件手动实现远程 LED 路灯的开关以及亮度的调节, 也可以定时自动控制 LED 路灯的开关以及亮度的调节。

在此基础上, 今后的研究工作将从以下几个方面深入下去: 1) 应用程序代码优化, 提高系统运行速度, 减少误码率等; 2) 组建更加复杂的 ZigBee 网络, 多协调器, 不同的 ZigBee 网络之间可以互相通信, 从而更加灵活的控制不同路况的 LED 路灯; 3) 本系统 LED 控制终端目前只能实现不同时间分区的亮度值变化, 今后将在 LED 控制终端上设计传感器模块, 如红外传感器、视觉传感器等, 使得 LED 路灯根据传感器感知人或者车的到来以及离去, 从而及时的打开及关闭路灯, 达到最大限度的节能。

参考文献:

- [1] 汪建伟. 浅谈基于电力载波技术的智能路灯控制系统 [J]. 照明工程学报, 2012, 23 (5): 128-130.
- [2] 孙 敏. 基于电力通信网络的智能路灯控制系统设计 [J]. 电力系统通信, 2011, 32 (221): 58-61.
- [3] 黄作维, 周 明, 张喜梅. GPS/GPRS 支持下的嵌入式车载终端的实现 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 17 (11): 2205-2208.
- [4] 宋剑飞. 基于 ZigBee 的智能路灯控制研究 [D]. 石家庄: 河北科技大学, 2011.
- [5] 李立扬, 王华斌, 白凤山. 基于 ZigBee 和 GPRS 网络的温室大棚无线监测系统的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (12): 3148-3150.
- [6] 罗中良, 汪华斌, 刘 刚. 无线传感器 ZigBee 网络的路由协议研究 [J]. 信息与通信安全, 2011, 32 (6): 67-69.
- [7] 孙凯明, 石 磊, 邓广龙, 等. 基于 msstatePAN 协议栈的无线传感器网络设计 [J]. 自动化技术与应用, 2010, 29 (11): 58-60.