

远程分布式无线智能路灯监控系统设计

朱向庆, 廖桂明, 崔廷佐, 苏超益, 丘祖国

(嘉应学院 电子信息工程学院, 广东 梅州 514015)

摘要: 提出一种融合无线传感器网络、GPRS/GSM 网络和 Internet 的智能路灯监控系统设计方案, 该系统由远程计算机终端、手机、无线网关及路灯子节点组成; 在智能模式下, 路灯能够根据周围环境光照度自动亮灭或调整亮度; 在控制模式下, 值班人员可通过计算机实现对路灯进行单独、部分或整体定时开关灯控制及亮度调节, 或通过手机查询系统运行状况; 实验结果表明, 操作者可远程监控路灯, 使其工作于智能模式或控制模式; 系统具备路灯故障自动检测功能, 确保故障路灯得到及时修复; 路灯电源则可在市电和太阳能蓄电池供电两种方式间自动切换以节约电能; 系统具有人性化, 智能化, 性能稳定, 成本低廉, 节能降耗的特点, 值得推广使用。

关键词: 智能路灯; 远程监控; 无线传感器网络; GPRS/GSM 网络

Design of Remote Distributed Wireless Intelligent Street Lamp Monitoring System

Zhu Xiangqing, Liao Guiming, Cui Tingzuo, Su Chaoyi, Qiu Zuguo

(School of Electronic & Information Engineering, Jiaying University, Meizhou 514015, China)

Abstract: This paper proposes a design scheme for the intelligent street lamp monitoring system merging wireless sensor networks, GPRS/GSM network and Internet. This system composes of a remote computer terminal, a mobile, a wireless gateway and some street lamp nodes. In intelligent mode, the street lamps can be put on or off, or be adjusted the brightness automatically according to the surrounding environmental illumination. In control mode, the operator on duty is able to control individual, part or global street lamps, let them be timing on or off, adjust their brightness, and require the working status of the system via mobile. The experiment result shows that the operator can remote monitor the street lamps, let them work in intelligent mode or control mode. This system has the function of detecting the failure lamp automatically which ensure the failure lamp to be repaired in time, the power supply of the lamps can be switching in city electric mode and solar battery mode automatically to save electric power. This system is characterized by its humanity, intelligence, stable performance, low cost and low energy consumption, it is worth being used widely.

Keywords: intelligent street lamp; remote monitoring; wireless sensor network; GPRS/GSM network

0 引言

路灯照明系统是城市自动化管理的一个重要方面, 它既影响到市民夜间出行的安全, 又关系到城市夜景的亮化美化。传统的定时控制方式固定各个路灯通断时间长度, 不能满足智能化城市的发展需要, 有可能影响市民夜间出行, 或浪费电能; 一旦路灯出现故障, 路政人员往往不能及时发现并处理。

从建设智慧城市的角度出发, 设计一种具有智能模式的路灯控制系统。本系统引入无线传感器网络 (wireless sensor networks, WSNs), 对路灯周围环境的亮度进行实时采集, 再自动开关灯或调节灯光亮度, 以自适应的控制方式最大限度地保证市民出行安全, 保证城市照明, 实现路灯控制系统的最优控制。同时, 可实现路灯故障自动报警功能, 从而减少巡查人员的工作量, 确保故障路灯得到及时抢修, 保障市民的出行安全。而市电和太阳能电池互补的供电方式, 可节约城市照明用电。

本设计秉承现代化城市绿色、节能的发展理念, 符合城市智能化发展的趋势, 可为城市路灯建设和管理提供一种参考方案。

收稿日期: 2014-05-27; 修回日期: 2014-07-07。

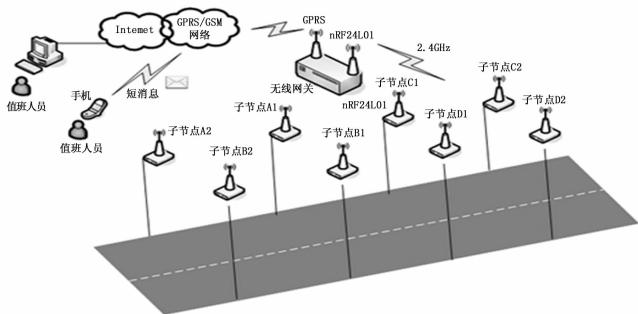
基金项目: 广东省教育部产学研结合项目(2012B090700016); 国家级大学生创新创业训练计划项目(201310582010); 广东省大学生创新创业训练计划项目(1058213022)。

作者简介: 朱向庆(1979-), 男, 副教授, 主要从事短距离无线通信、单片机与嵌入式系统方向的研究。

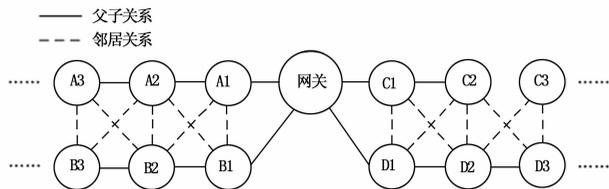
1 系统结构

系统由图 1 (a) 所示的远程计算机监控终端、无线网关、路灯子节点及手机组成。每个 LED 路灯上面安装一个无线监控节点, 无线网关放置在道路的中间位置, 从网关开始往道路两侧 (含道路对面) 的所有无线监控节点组成 4 条直线拓扑的 WSNs。由网关和路灯子节点组成的 WSNs 拓扑结构如图 1 (b) 所示, 它工作于 2.4 GHz 全球免许可证的 ISM (Industrial Scientific Medical, 工业、科学、医学) 频段, 可与其他网络共存。在网关附近的路灯子节点, 网关通过 nRF24L01 无线模块直接与其通信; 对于不能直接进行通信的子节点, 则经过其同侧直线上的子节点中继转发。如果某个路灯出现故障, 网关不能通过直线连接访问故障节点远端的节点时, 网关可启动 AODVjr-PB 路由算法^[1], 通过洪泛 (Flooding) 机制查找一条至该子节点的最短路由。如节点 A2 出现故障, 则网关可通过路径“网关→A1→B2→A3”访问 A3 及其后续节点。通过这种动静结合的路由算法, 网关能够以最低的路由代价 (延时、中继节点数) 和较高的成功率与目的子节点通信, 以保证网络的可靠运行。

网关中的 GPRS 模块可连接 GPRS/GSM 网络和 Internet, GPRS 具有实时在线、按量计费、快捷登录和高速传输的功能, 可实现 WSNs 与外网的互通互联。联网计算机可通过网关对路灯进行监控, 如出现故障, 网关可将路灯系统的状态通过短消息即时发送给值班人员的手机^[2-4]。



(a) 系统组成框图



(b) 网关及子节点组成的WSNs拓扑结构
图 1 系统框架及网络拓扑

2 硬件设计

智能路灯控制系统的硬件主要由无线网关及路灯监控子节点组成。网关以 ARM9 芯片 S3C2440A 和嵌入式 Linux 操作系统为核心平台，通过 WSNs 获取各路灯的状态信息并将其传输至远程计算机终端。

2.1 网关硬件设计

如图 2 所示，网关由 S3C2440A 嵌入式系统、GPRS/GSM 无线模块、nRF24L01 短距离无线通信模块、矩阵键盘、TFT 真彩色液晶屏和电源等构成。S3C2440A 是一款 16/32 位 RISC 微处理器，采用 ARM920t 的内核，最高工作频率是 400MHz，具有低价格、低功耗和高性能等特点。具有独立的 16 kB 指令 Cache 和 16KB 数据 Cache，提供一套完整的通用系统外设，无需配置额外的组件，从而减少系统整体成本^[5]。S3C2440A 通过 SPI 总线控制 nRF24L01 短距离无线通信模块，实现与路灯子节点的通信；通过 UART2 连接 GPRS/GSM 无线模块，实现与远程计算机监控终端及手机的连接。网关还通过 GPIO 连接矩阵键盘及 TFT 真彩色液晶屏，当操作者在一定时间内不再触摸键盘或液晶屏时，S3C2440A 可主动关闭显示屏以节约电能。

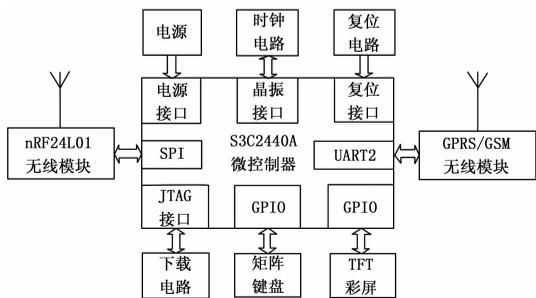


图 2 网关硬件框图

2.1.1 短距离无线通信接口

网关通过 Nordic Semiconductor 公司生产的单片高速无线收发器 nRF24L01 与子节点通信。nRF24L01 的功耗低，在以 -6 dBm 的功率发射时，工作电流只有 9 mA；接收时，工作

电流只有 12.3 mA，多种低功耗工作模式（掉电模式和空闲模式）使节能设计更方便^[6]。S3C2440A 通过 SPI 总线访问 nRF24L01，可将其配置为发射、接收、空闲和掉电模式。通信时，S3C2440A 是主机，nRF24L01 为从机；当 nRF24L01 接收到有效的地址和数据时，通过 IRQ 告知 S3C2440A，后者可将接收到的数据从 RX FIFO 寄存器中读出。

2.1.2 GPRS/GSM 通信接口

网关通过谱泰通信公司的 GPRS/GSM 模块 PTM105 与远程的计算机或者手机通信。PTM105 支持全球 GSM 网络，可工作在 850/900/1800/1900 MHz 这四个频段，除了语音、短信功能外，还具备 TCP/IP 连接功能。PTM105 提供 3 线制 2.8 V TTL 电平 UART 接口，可串联一个小电阻后直接与 S3C2440A 的 UART2 相连，串口通信波特率为 9 600 bps。

2.2 路灯子节点硬件设计

路灯子节点硬件框架如图 3 所示，它由 STC12C5A60S2 单片机、nRF24L01 无线模块、光强检测传感器 BH1750、蓄电池电量检测及充放电控制模块、LED 驱动模块 MBI5026 等构成。

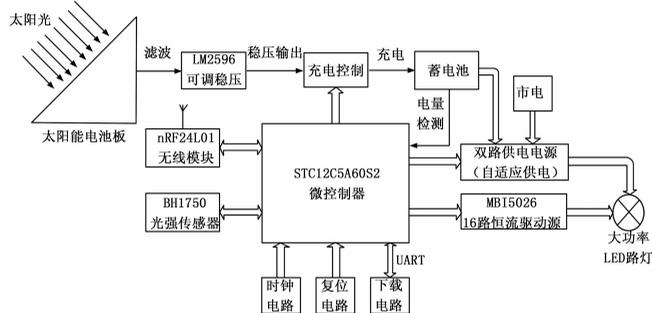


图 3 路灯子节点硬件框图

电源系统是路灯的重要组成部分，路灯可采用太阳能电池和市电相结合的两种供电形式。白天，太阳能电池板输出的直流电经降压开关型集成稳压芯片 LM2596 稳压后，对蓄电池进行充电。晚上须要打开路灯时，先检测蓄电池电量是否充足，充足则由其给路灯供电；反之则通过市电直接给路灯供电。

要想实现路灯照明亮度自动调节，首先要采集其周围光照强度，因此路灯子节点配置光强传感器 BH1750。它采集到的数据经过微处理器处理，通过无线模块和主控制器进行数据交换，再控制 LED 驱动源，可实现对路灯智能控制。MBI5026 芯片作为 LED 驱动器，它能够精准地控制路灯所需的照明亮度，芯片的输出级耐压值可达到 17 V，因此可以串联多个 LED 以满足实际应用的需要。同时，恒流驱动方案有利于延长 LED 路灯使用寿命。

3 软件设计

软件设计的任务是在尽可能短的时间内编写移植性好，可读性强，代码效率高的程序。系统软件主要分为网关嵌入式系统程序、子节点单片机程序和计算机监控软件三大部分。网关的嵌入式系统运行 Linux 操作系统，通过 SJF2440 软件或者 H-JTAG 软件烧写系统引导程序和应用程序。子节点单片机程序主要使用 Keil 公司的 Keil uVision 设计，采用 C51 语言编写，再编译生成 HEX 文件，通过 STC-ISP 烧录软件下载到系统的硬件芯片。计算机控制软件使用美国国家仪器 (national

instruments, NI 公司的 LabVIEW 软件开发。

3.1 网关嵌入式主控制器程序流程

如图 4 所示, 网关上电后, 嵌入式主控制器对 GPRS/GSM 模块和 nRF24L01 无线通信模块等进行初始化, 随后系统进入数据接收状态, 等待由远程监控中心发送的控制指令和无线子节点返回的路灯工作状态数据。当主控制器接收到数据后, 能够自动分析数据, 并执行相应操作。

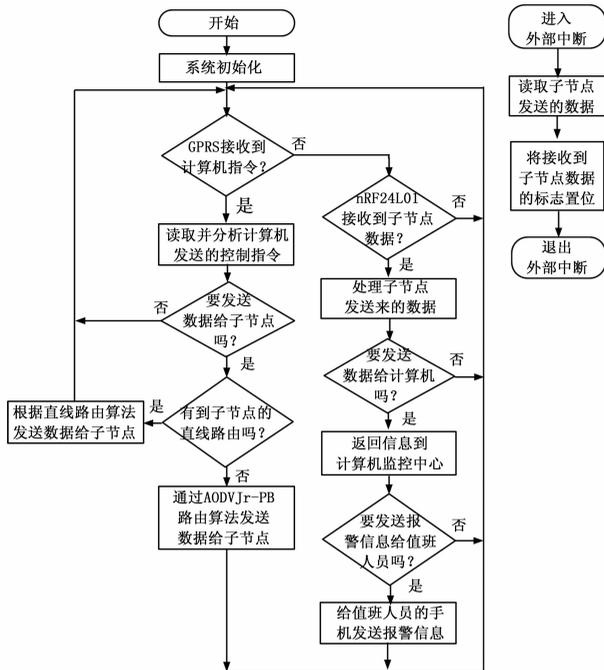


图 4 网关嵌入式主控制器程序流程

网关可通过 GPRS 网络与远程计算机建立 TCP/IP 连接, 由值班人员通过计算机监控路灯状况。GPRS/GSM 模块可通过 GSM 网络发送短消息到值班人员的手机, 即时向其告知故障的路灯的相关信息。

GPRS/GSM 模块通过 GPRS 网络和 Internet 连接远程计算机前, 须要 SIM 卡开通 GPRS 流量功能。通过 AT+CIP-START 指令与远程计算机建立连接后, 再用 AT+CIPODM 指令让模块以透明传输方式与计算机连接, 进行大数据量传输。表 1 是 PTM105 模块常用的 TCP/IP 指令^[7]。

表 2 是 GPRS/GSM 模块收发短信息常用 AT 指令^[7]。发送短信息主要操作步骤: 1) 通过 AT+CMGF 指令设置短信息模式, 主要有 PUD 模式和 TEXT 模式, PUD 模式可以传送文字, TEXT 模式只能传送数字和字母; 2) 通过 AT+CSCA 指令设置短信息中心, 即短信发送的对象; 3) 通过 AT+CMGW 指令编辑短信; 4) 通过 AT+CMSS 指令发送短消息。接收短信时, 根据接收到新信息时提示的信息序号, 通过 AT+CMGR 指令读取对应序号的短信息。

3.2 子节点单片机程序流程

如图 5 所示, 子节点控制器对 nRF24L01 无线模块进行初始化后, 在主函数中循环执行环境光强检测, 路灯故障检测, 接收控制指令等任务。当节点控制器接收到主控制的控制指令时, 用中断方式读取控制指令, 分析指令后执行对应操作; 当节点控制器检测到路灯故障时, 能够将故障信息通过无线模块发送给主控制器。

表 1 TCP/IP 指令

指令格式	指令功能
AT+CIPSTART=<TCP>,<SERVER IP /DN>,<PORT>	与目标服务器建立 TCP 连接
AT+CIPSEND=<data string>	发送小数据量 ASCII 字符数据
AT+CIPSENDHEX=<data string>	发送小数据量 16 进制数据
AT+CIPSTATUS	查询当前连接状态
AT+CIFSR	查询当前 IP 和 PORT
AT+CIPCLOSE	关闭 TCP 连接
AT+CIPODM=<TCP>,<SERVER IP /DN>,<PORT>	透明传输方式连接服务器
AT+CIPODMCLOSE	退出透明传输模式

表 2 收发短信常用 AT 指令

AT 指令	指令功能
AT+CSCS	查询/设置电话簿和短消息发送的字符集格式
AT+CSCA	设置短消息服务中心号码(SMSC)
AT+CMGF	设置短消息模式
AT+CNMI	设置新来短消息提醒方式
AT+CPMS	设置短消息存储器
AT+CMGL	列出所有短消息
AT+CMGR	读取某条短消息
AT+CMGW	写短消息到短消息存储区
AT+CMSS	发送存储区中保存的短消息
AT+CMGS	直接发送短消息而不存储
AT+CMGD	删除短消息

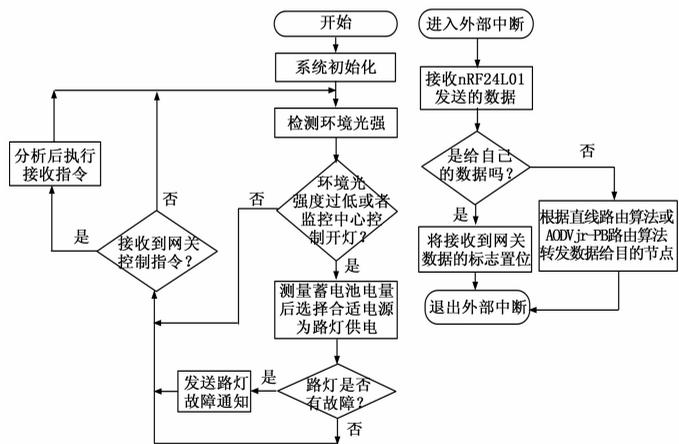


图 5 子节点单片机程序流程

3.3 计算机监控软件

采用美国 NI 公司虚拟仪器开发平台 LabVIEW 设计的计算机人机交互界面, 其可操作性强, 功能扩展方便, 界面友好。通过软件界面可显示电池电量, 其模式选择列表可以选择对路灯的控制方式, 主要实现路灯故障检测、路灯光照亮度调节、路灯光照亮度数据采集、路灯定时控制等功能。

LabVIEW 利用计算机强大的图形环境, 采用可视化的图形编程语言 (G 语言) 和平台, 在计算机屏幕上建立图形化软面板, 实现“软件即是仪器”^[8]。LabVIEW 中为网络通信提供基于 TCP/UDP 的通信函数供用户调用, 用户直接调用 TCP 模块中已发布的 TCP VI 及相关的子 VI 来完成流程的编写,

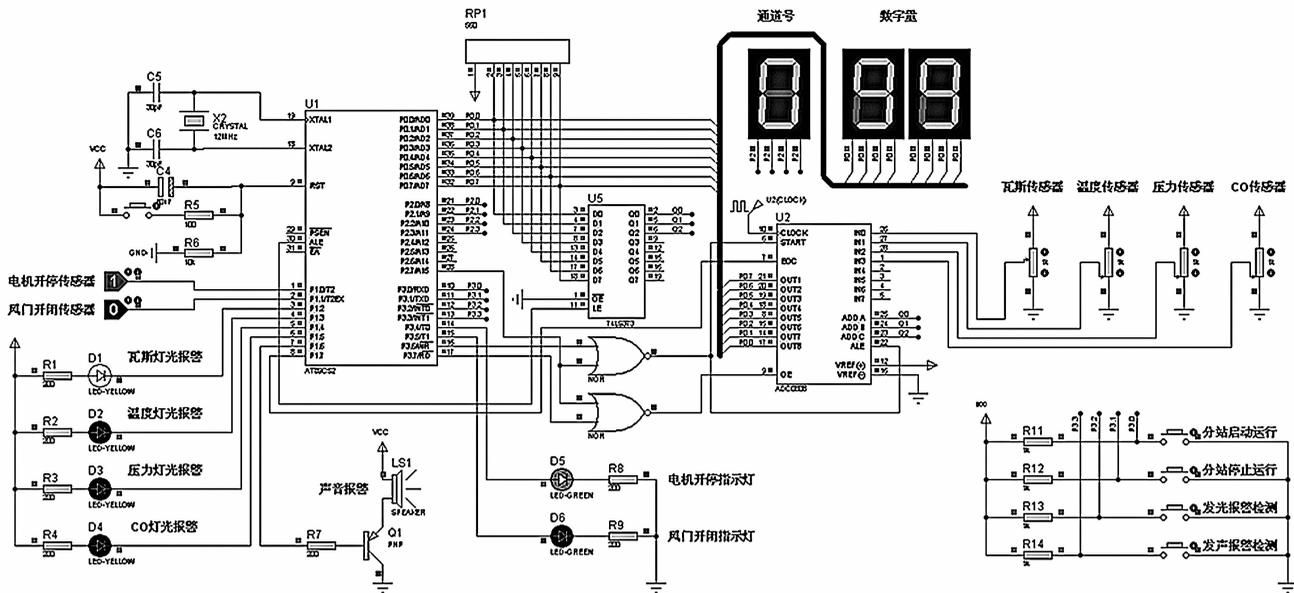


图 6 煤矿井下安全监控分站的瓦斯超标报警状态

煤矿井下安全监控分站的设计功能，具有一定的实际应用价值。

参考文献：

[1] 薛鹏骞, 潘玉民, 张 涛, 等. 煤矿安全检测技术与监控系统 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2010.

[2] 张 涛, 潘玉民. 自动控制系统实验实践教程 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2010.

[3] 李 彬, 袁建平, 岳晓奎. 基于远程操作的多路信号采集与开关控制系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2011 (4): 829-831.

[4] 朱前伟, 刘春霞. 高可靠性矿用分站的设计 [J]. 工矿自动化, 2011, 37 (3): 67-70.

[5] 赵忠宪, 高宗华, 陈玉明, 等. KJ70 煤矿安全监控分站的设计与

研究 [J]. 自动化与仪器仪表, 2011 (1): 141-143.

[6] 陈 健. 基于微控制器 LPC2101 的煤矿安全监控系统分站的设计 [J]. 中国矿业, 2009, 18 (1): 104-108.

[7] 齐亚峰, 周德华. 基于超低功耗单片机的 CAN 总线通信方案的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2007 (4): 531-532.

[8] 张 涛, 薛鹏骞, 蒋静坪. 基于 CAN 总线的煤矿安全监测监控系统的设计 [J]. 煤炭科学技术, 2007, 35 (6): 46-48.

[9] 朱 雄, 张 涛. 基于 CAN 总线的煤矿安全智能测控节点的设计 [A]. 第 18 届全国煤矿自动化与信息化学术会议论文集 [C]. 北京: 煤炭工业出版社, 2008.

[10] 张 涛, 薛鹏骞, 蒋静坪. 基于 LON 总线的煤矿安全生产监控系统 [A]. 煤矿安全发展战略学术研讨会论文集 [C]. 北京: 煤炭工业出版社, 2008.

(上接第 85 页)

而无须考虑网络的底层实现，计算机监控终端即可通过 Internet 与网关建立通信功能。

4 实验结果

计算机程序工作正常，能够实现操作者指令的发送和路灯运行状态数据的采集，可以实时显示各个路灯的工作情况，计算机与网关的通信延迟不超过 2 s。值班人员可通过计算机软件对路灯进行远程监控，实现对路灯的单灯控制、整体控制、定时控制、亮度调节、照明亮度数据采集等功能。当路灯出现故障时，网关可以主动报告故障路灯的信息给远程计算机和值班人员手机，以便故障路灯得到及时维修。路灯能根据其周围环境的亮度自动调整 LED 灯的驱动电流，以降低路灯功耗，节约电源。

5 结束语

无线智能路灯监控系统的设计有利于实现城市路灯的智能监控，提供节能高效的照明，缓解城市用电压力，更好地服务社会，符合现代化城市的发展方向。

本系统从开始设计到实物制作，一直遵循“智能化、人性化”的理念，一切从实际出发。该控制系统性能良好，成本低

廉，其包含的核心技术经过企业消化后，可直接投入市场，有望产生较好的经济效益和社会效应，推动现代化智慧城市的建设。

参考文献：

[1] Zhu X Q, Chen Z X, Zeng H, et al. An Environmental Monitoring Network with AODVjr-PB Routing Algorithm [J]. Journal of Computers, 2013, 8 (9): 2217-2224.

[2] 程世友. 路灯远程监控装置 [P]. 中国: ZL200720200392. 1, 2008-04-02.

[3] 李宏超. 智能路灯远程控制系统 [D]. 郑州: 郑州大学, 2010.

[4] 张 伟, 王宏刚, 程培温. 基于 GPRS 的智能路灯远程监控系统的研究 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (9): 2104-2106.

[5] 孙 戈. 基于 S3C2440 的嵌入式 Linux 开发实例 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2010.

[6] 丛 林, 杨 凯, 胡文东, 等. 基于 nRF24L01 和 STM32L152RD 超低功耗无线通信系统 [J]. 电视技术, 2013, 37 (17): 66-69.

[7] 谱泰通信公司. PTM105 GSM/GPRS 模块 AT 指令集 [Z]. 2014.

[8] 张兰勇. LabVIEW 程序设计基础与提高 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2013.