

基于物联网的路灯可视化监控系统设计^①

董玉德^{②*} 丁保勇^{③*} 张昌浩^{*} 刘蒙蒙^{*} 权循华^{**} 杜庆朋^{**}

(^{*} 合肥工业大学机械与汽车工程学院 合肥 230009)

(^{**} 合肥大明电子科技有限公司 合肥 230088)

摘要 为了实现城市路灯的自动、实时监控,为路灯管理提供可视化的智能操作平台,提出基于物联网的路灯监测和控制方案。根据这一方案,基于物联网城市技术,应用 GIS 技术设计和实现了一种新的路灯可视化监控系统。该系统采用大功率电子镇流器实现信息采集和控制功能,利用 ZigBee 和 GPRS 技术构建短距离通信与长距离通信相结合的物联通信网络解决数据传输的问题,引入百度地图 API 实现照明终端可视化布局和监控,采取 C/S 和 B/S 混合架构模式降低同时接收、解析、存储和查询数据的负担和提高运作效率。该系统已成功应用于某市政工程,其可行性和有效性已得到验证。

关键词 物联网(IOT), ZigBee, GPRS, 路灯监控, 可视化管理

0 引言

路灯作为城市中密度最大、数量最多的基础设施之一^[1],对提高城市功能有重大意义。路灯需要实时监控,然而随着“智慧城市体”^[2]、“信息化”^[3]、“节能化”^[4,5]的提出和实施,城市道路照明的传统手动或半自动管理模式自动化程度低、实时监控困难、管理效率低的问题日益显现。本研究针对这种情况,综合利用计算机技术、网络通信技术、地理信息技术和现代管理方法等跨平台多领域技术,构建了基于物联网(internet of things, IOT)的城市路灯监控系统,并开发了 B/S 与 C/S 混合模式的系统监控平台。该系统综合考虑了照明终端设备的特点,利用基于物联网的通信网络,实现了科学、高效、实时的信息传输,同时采用 GIS 技术实现了监控单元的可视化监测和控制。

1 技术现状分析及对策

概括地讲,目前路灯监控技术存在以下不足:

(1) 终端采集单元信息采集滞后、传输不稳定。随着照明设备数量的急剧增加和功能日趋复杂化,路灯监控信息呈现离散分布及海量特征。由于对终端监控单元的自动感知和识别缺少有效的信息采集和传输的系统解决方案,使得终端信息在获取时出现感知不灵活、采集严重滞后、数据传输丢包、错包等现象。

(2) 未实现终端设备可视化显示和实时监控。在照明监控单元数量多、布局纵横交错、地理位置特征明显的情况下,缺少直观地展示路灯等终端设备的运行状态和空间位置的关系,实现运行过程中的实时监测和控制的功能,不能通过系统平台接口直观地掌握照明终端设备的实际运行情况。

(3) 监控方式落后、控制柔性差。传统监控方式以时钟控制、光电控制、电感控制为主,以手动或半自动化的方式对某片区路灯进行集中管理,无法

① 国家自然科学基金(51275145)资助项目。

② 男,1966 年生,教授;研究方向:制造业信息化;E-mail: dydjiashou@126.com

③ 通讯作者,E-mail: dby1019@163.com

(收稿日期:2015-03-28)

实现对单灯的管控,欠缺管控柔性和精确性。

目前,用于路灯控制技术主要有电力载波通信技术和 ZigBee 无线通信技术,早在上个世纪,美国某公司在道路照明系统中使用电力载波技术构建智能控制系统,但仅适用于线路电压稳定、信号波纯净的短距离通信^[6]。传统的电力载波通信方式有如下的缺点:随着距离增大信号衰减,工作谐波干扰大,负载变动带来电噪声大,不能跨变压器通信。而 ZigBee 是一种短距离、低功耗的无线通信技术,具有低功耗、低成本、网络容量大、传输可靠、安全的特点,克服了电力载波通信的上述缺点,从而大大提高了路灯监控系统的可靠性^[7]。在国内,各高校和研究院越来越多的分别应用通用无线分组业务(GPRS)^[8,9] 和 ZigBee^[10,11] 技术构建路灯监控系统。在可视化方面,如果采用图形挂接数据库的方法,借助 MapInfo、AutoCAD Map 等系统开发平台,关联图形和属性,但二者松散耦合关系维护的复杂性导致系统难以深入和大规模应用,而基于网络的百度电子地图具有功能强大、开发接口友好、界面美观的特点,从功能性、开放性、维护性等角度来讲,都能满足项目的需求。

本研究将物联网(IoT)^[12,13] 用于监控系统的构建。IoT 是指将传感技术和互联网结合起来形成的巨大网络,它联结系统上层软件和底层设备,使管理者能及时、准确地获得系统运行情况^[14]。在借鉴现有研究成果和先进技术的基础上,本研究设计了基于物联网的路灯可视化监控体系,构建了 B/S 和 C/S 混合模式结构,从以下三个方面构建了智能化路灯管理平台:(1)借助 ZigBee、GPRS 和 Internet 构建信息高效传输的物联通信网络;(2)运用地理信息系统(GIS)^[15] 实现终端监控单元的可视化监测和控制;(3)设计高效合理的监控方案和软件程序,实现及时、准确的信息采集、传输和快速响应。

2 基于物联网的分层体系架构

本文提出的基于物联网的路灯可视化监控系统通过引入物联网技术,形成照明系统各单元中物和人的实时互感、互联,在此基础上采用 GIS 可视化技

术实现照明终端监控单元实时运行状态信息、控制操作和可视化布局的关联,根据系统的需求分析搭建基于物联网的路灯可视化监控系统分层体系架构。如图 1 所示,系统具体可分为 8 个层次:设备层、传感层、网络层、数据层、支持服务层、业务应用层、展示层以及用户层。

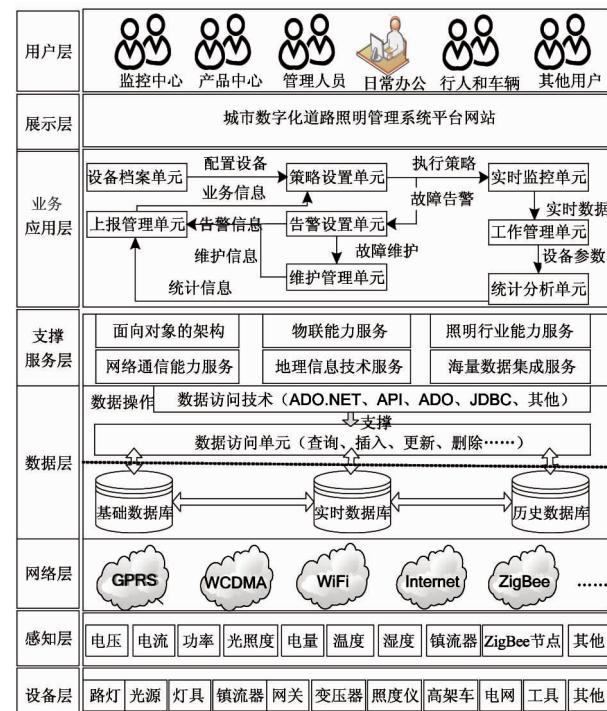


图 1 基于物联网的城市道路照明管理系统模型

2.1 监控体系硬件组成

本研究设计了如图 2 所示的监控体系硬件架构图,系统硬件架构主要分为三层,底层是数据采集和

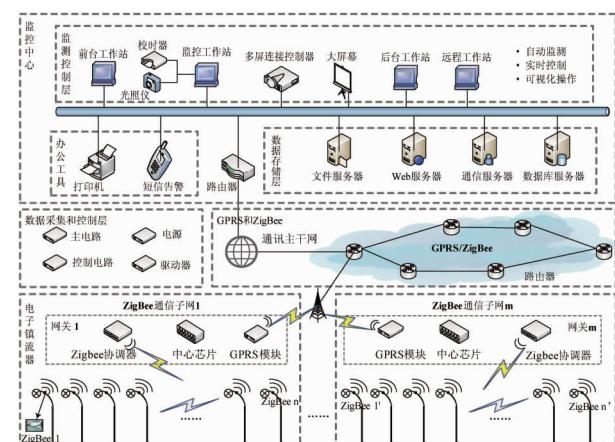


图 2 监控体系硬件架构图

控制层,中间层为网络通信层,上层为系统监控中心,构成了分布式无线遥测、遥信、遥控的自动化“三遥”功能,实现对路灯系统的遥测变量参数、遥信设备状态信息、遥控路灯启/闭、调光。该设计目的在于保证信息实时性、操作可视化和管理的科学性。

2.2 分布式系统的数据集成方案

监控系统采用B/S和C/S混合架构的分布式系统,前者反应数据信息,后者处理数据信息,采用中间数据库的方式实现二者之间的通信和交互,利用数据接口适配、通信协议转换、异构网络传输等技

术集成的网络化数据操作平台,实现监控单元实时数据的观测和共享。系统数据库指系统正常运行和管理所需的所有数据和对数据的操作,本系统将数据划分为系统管理基础数据、实时数据和历史数据。基础数据指终端监控单元设备的基本身份信息、基本参数信息等,在配置设备时即添加进数据库;实时数据指电压、电流、功率、温度、状态等运行时的数据;历史数据是指过去某段时间内的系统数据,做数据分析和数据备份之用。系统数据库架构如图3所示。

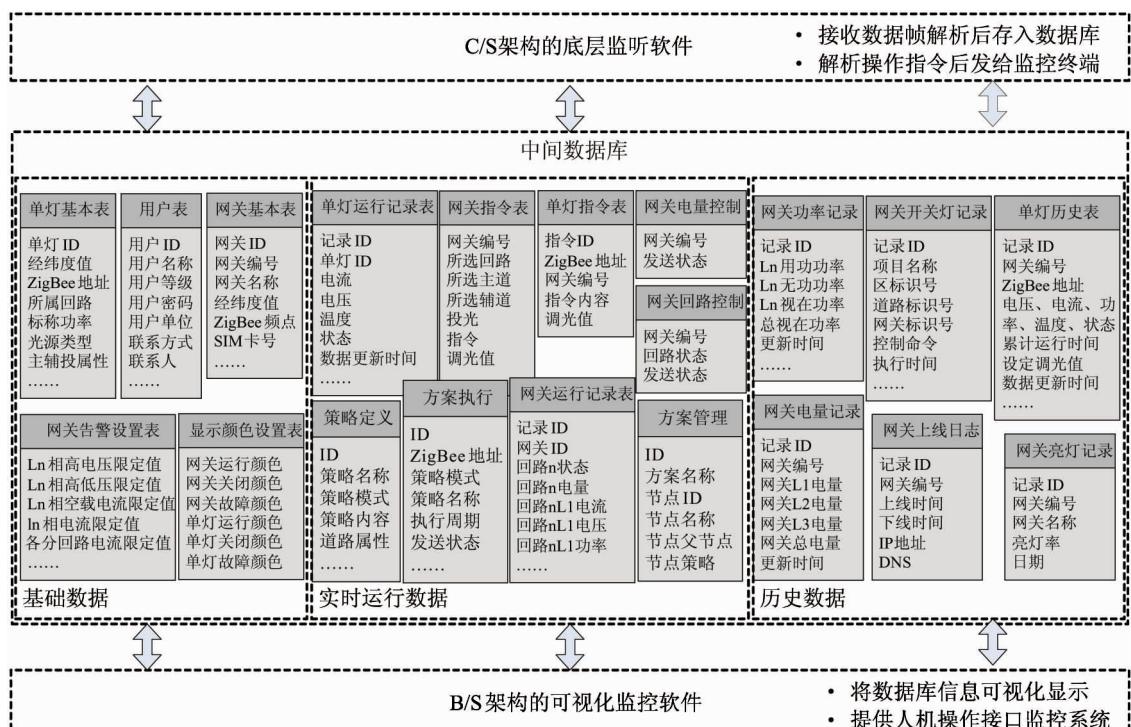


图3 监控系统数据库架构图

3 系统通信网络方案

3.1 通信网络架构

照明系统中路灯星罗棋布地分布在城市的大街小巷,整个路灯网络与系统间的数据传输量很大而单灯与系统间的数据传输量却很少,从功能和成本因素的角度出发,设计了一个通信网络,它能兼顾远程控制的长距离通信和道路层次的短距离通信,达

到降低应用成本的目的。系统通信网络架构如图4所示。

从系统通信角度,系统可分为ZigBee通信层、GPRS通信层和Internet通信层。在短距离通信的底层照明终端,网关和单灯中分别嵌入了充当协调器节点和路由节点的ZigBee模块,当网关上电后,具有相同信道和网络标识的路灯加入网关组成一个具有网络拓扑结构的ZigBee通信子网^[16]。各单灯的运行参数由单灯中的单片机采集后,经ZigBee子

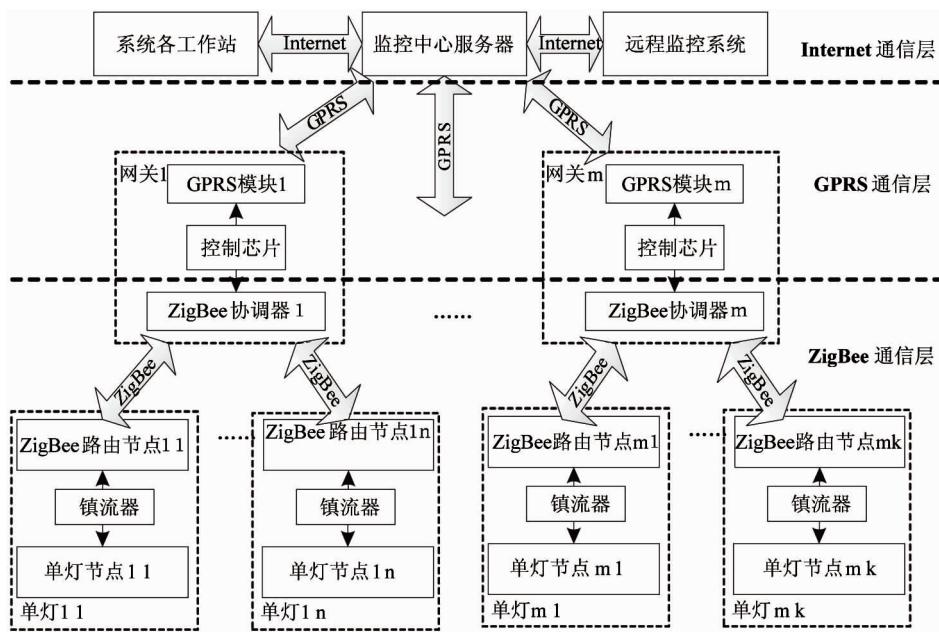


图 4 系统通信网络架构

网传输至网关,网关接收后经 STM32 控制模块处理和打包后发给监控中心服务器。根据控制的实时性要求,为了解决长时间连接被移动网络中断的问题,网关和监控中心采用基于 TCP 协议的 GPRS 无线数据专线长连接方式,正常通信情况下,为保证 GPRS 网络连接的长连接,网关定时向服务器发送带有时间验证的“心跳包”,当服务器收到心跳包时,及时做出含有当前时间信息的应答,否则 3 次不响应则视为“通信失败”,系统会立即建立新的连

接。

3.2 通信协议

为了保证系统运行处理的高效性、实时性,需要合理地设计系统信息流的处理过程和通信数据的协议规范。C/S 模式的监听软件采用多线程数据处理技术,开辟多个数据处理通道实现下位机端数据采集和控制与上位机端可视化监测和控制间的信息流并发处理过程,如图 5 所示。

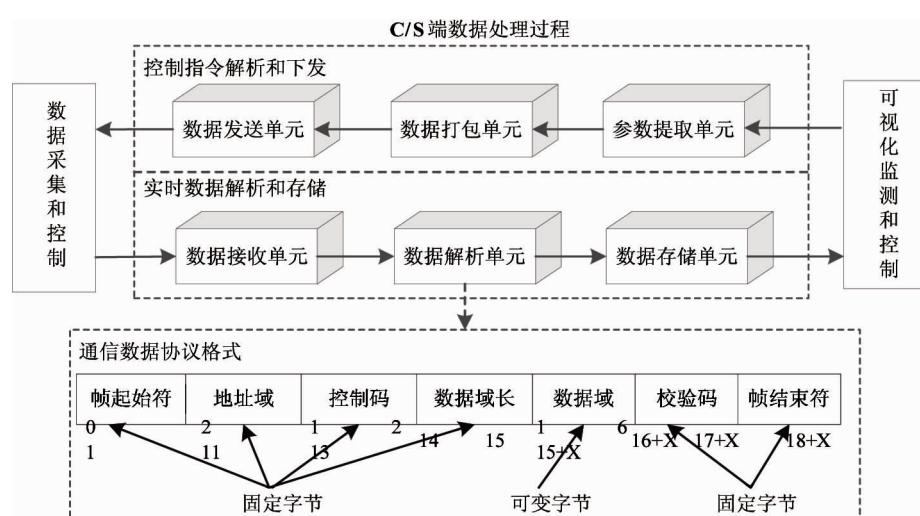


图 5 通信协议

C/S 端的通信网络信息流包括上行和下行两条处理过程。上行信息流始于照明终端采集的实时运行数据,数据信息完全按照系统制定的协议格式,经过 BCC 算法校验,打包成通信协议帧,监听软件监测到经 ZigBee 网络和 GPRS 网络上传的数据流,该数据流经 ASCII 加密,保证了数据的安全性和增加了通信的可靠性。首先由数据接收单元做数据流截取处理,放入存储和解析交替进行的数据缓存区进入数据解析单元,解析后的终端运行参数以字符型数据经存储单元存入数据库,供上位机软件共享。反之,下行信息流则为上行信息流的逆过程:提取用户操作的指令参数—打包数据参数一下发至网关控制单元。

数据解析单元依据的数据协议格式如图 6 所示,该数据帧由“0”、“1”表示的二进制数据组成。

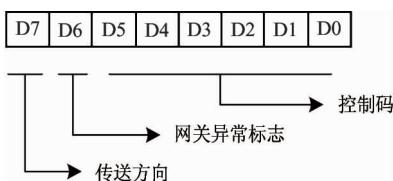


图 6 数据协议格式

数据帧各部分设计如下:

(1) 帧起始符:标识一帧信息的开始;

(2) 地址域:信息接收子站的编码地址,根据情况定义;

(3) 控制码:2 字节字符控制码转换为 1 字节 16 进制,做判断使用,解析后不做存储,如下所示:

D7 = 0:由主站发出的命令帧,D7 = 1:由从站发出的应答帧;

D6 = 0:从站正确应答,D6 = 1:从站对异常信息的应答;

D5-D0:请求及应答功能码,比如“000001”和“000010”分别表示“网关参数下载”和“灯参数下载”指令;

(4) 数据域长度:数据长度由 2 个字节构成;

(5) 数据域:包括数据标识和数据等,其结构随控制码的功能而改变;

(6) 校验码:BCC 异或;

(7) 帧结束符:0x03,标识一帧信息的结束。

4 可视化监测和控制

4.1 系统功能

相对于 C/S 端的数据处理过程,B/S 端的可视化监测和控制软件主要负责组织数据结构和建立应用模型。根据系统开发目标规划和确定系统各组成模块及其之间的联系,系统的功能模型如图 7 所示,旨在满足应用的要求,保证系统总体目标的实现。图形管理与数据管理二者既独立又统一,相互影响相互依存。图形管理是指用电子地图和图形元素形象地表示照明终端监控单元的地理位置、设施布局和运行参数,达到可视化的目的。总结其基本操作有地图的显示类型、鹰眼全览、控件导航、平移拖拽、放大缩小、图像元素的定位、形状、大小和显示颜色等。数据管理是图形可视化显示和操作的核心支撑,数据管理包括照明终端监控单元基础参数配置和下位机端上传的实时运行数据的管理。图形管理是系统可视化表达的躯壳,数据管理相当于系统运行的灵魂,二者共同作用的结果是系统的可视化监测和控制,可分为八大模块:实时监控、设备档案、策略设置、告警设置、维护管理、统计分析、用户管理和系统帮助。

4.2 GIS 的可视化应用

照明终端设备的可视化显示不仅提高了管理效率、减少错误率,还能够对终端设备布局、地理位置和运行状态进行实时可视化监控管理。系统利用 BMap API 调用百度地图实现终端设备可视化监控。分析照明终端设备特性,发现系统中网关数量不多,但需要展示的各类信息参数很多,而单灯需要展示的信息不多,但数量达到万级别。因此,系统分别采用普通标注 Marker 类和海量加载 PointCollection 类定义网关和路灯单元,并通过其属性和方法设置确定图标大小、显示颜色、监听事件、右键菜单、悬浮窗口等图元可视化属性。

系统的图形信息和数据信息采用分开存储的方式,通过实体监控单元的 ID 这一唯一性的标识,在图形数据和属性数据间建立联系,从而实现由图形

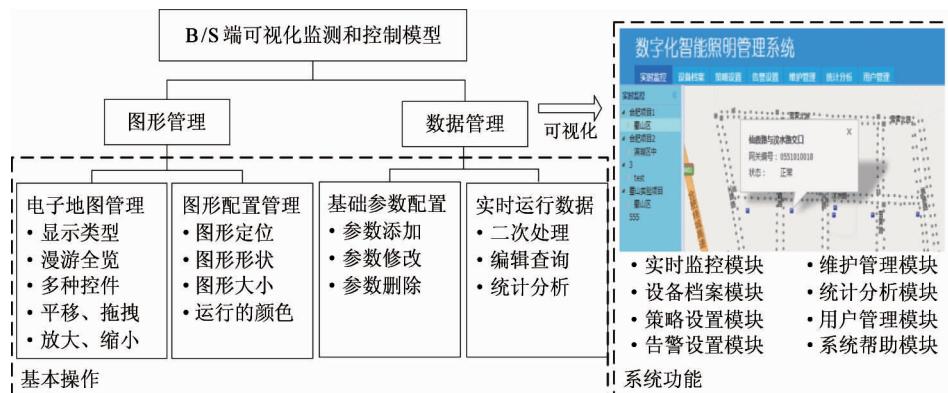


图 7 可视化监测和控制功能模型

到属性和由属性到图形的关联查询^[17]。GIS 可视化功能如图 8 所示,系统以网关和单灯为监控基础单元,将从物联网末端接收到的终端参数信息存储在数据库中,利用百度地图提供的各图形类绘制监控单元布局图。在页面初始化时向百度服务器发出电子地图加载申请,并从系统数据库中读取监控单元参数信息,绘制监控单元图形加载到地图上。页面完全加载后即可开始实时监控,能够动态监测终端设备当前运行参数和实时控制当前运行状态。

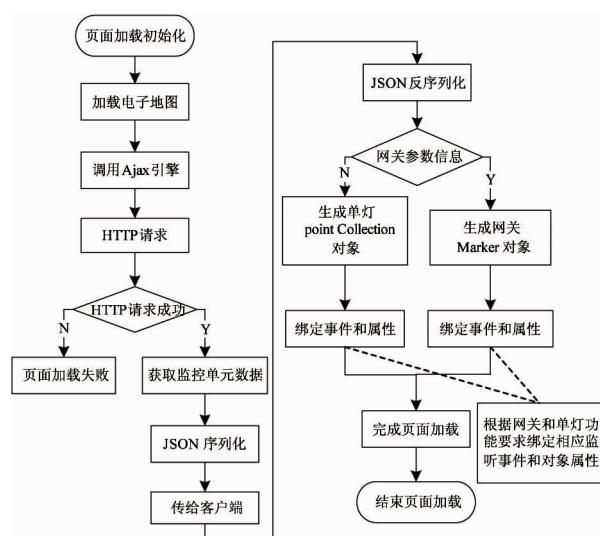


图 8 GIS 可视化设计流程图

5 系统实现

本研究在物联网技术的基础上,应用 GIS 技术开发了面向城市道路照明的可视化监控系统,目前已通过测试并在合肥市某区的路灯照明中投入使用。

用。系统功能实现部分模块截图如图 9 所示,低耦合、高内聚的模块设计思想使得照明管理过程透明化、有序化,有效规范了照明管理操作过程。



图 9 系统集成运行和应用模块简图

6 实例验证

6.1 系统数据流验证

B/S 端的可视化监控软件、SQL Server 2008 数据库、C/S 端的监听软件和终端照明设备时刻在发

生数据和信息的交换,下面以查询单灯运行数据为例来验证系统发生的数据交互内容。单击 B/S 端实时监控页面中网关编号为 0551020007 下面的 zigbee 地址为 0001 单灯数据查询按钮,在数据库中生成一条“网关编号 + zigbee 地址 + 内容”的查询指令,C/S 端监听软件检测到该条指令后,将指令打包为 05510200070608B000000179【2015-06-23 20:59:53】(0551020007—网关地址,06—控制码,08—数据长度,B000—单灯查询数据标识,0001—zigbee 地址)并通过 GPRS 网络发送到相应的网关,网关通过 ZigBee 网络向相应的镇流器发送数据采集指令—02 30 30 30 31 30 36 30 30 30 35 03(02—帧头,30 30 30 31—zigbee 地址,30 36—采集指令,30 30—数据长度,30 35—校验码,03—帧尾),整流器接收指令将数据流通过网关逆向传递到 C/S 端监听软件,监听 软 件 接 收 并 解 析 数 据 流 0551020007862AB00000010002227601170263026040 491E0D00006D78 【2015-06-23 20:59:57】(0551020007—网关地址,86—控制码,2A—数据长度,B000—单灯查询数据标识,0001—zigbee 地址,00—预设调光值(0),02—工作状态(主运行),2276—输入电压(227.6 V),0117—输入电流(1.17 A),0263—输入功率(263 V),0260—灯电压(260 V),4049—PFC 电压(404.9 V),1E—温度(30 度),0D—软件版本号,000006D—累计运行时间(109 分钟),78—校验码),再将解析后的结果存放到数据

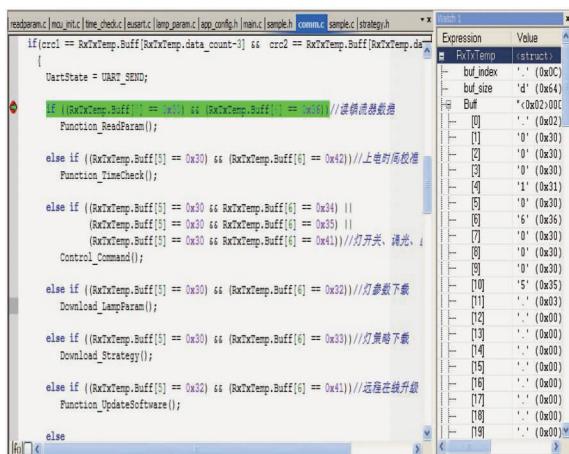
库中,以便使 B/S 端可视化软件进行数据呈现。

6.2 镇流器数据接收和发送

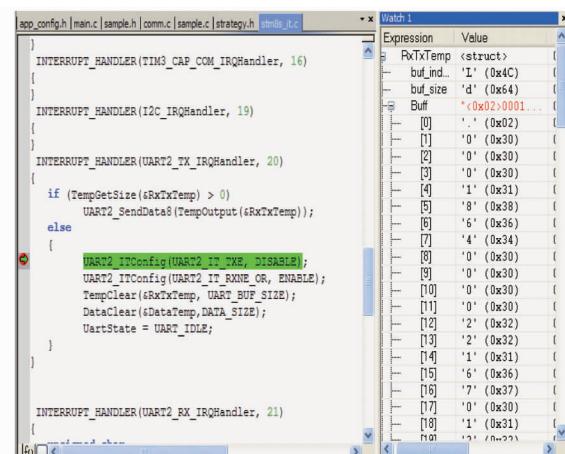
ZigBee 使用星型网络类型,主从发送模式,网关查询镇流器数据采用轮询的方式检查镇流器运行是否正常。镇流器部分使用 STM8S105 单片机,此单片机具有全双工异步通信功能,具有数据采集电路和控制电路,数据采集电路主要用于对输出电压、输出功率、温度等信息进行采样,并存储在单片机内。当网关发送数据采集指令,镇流器接收到网关发出的读镇流器数据指令时,镇流器会将采集到的数据通过 ZigBee 发送给网关。控制电路主要是用于控制镇流器的开关和调光,镇流器调光是通过控制脉宽调制(pulse width modulation, EPWM)占空比来控制镇流器输出功率,开关是通过打开或关闭全桥驱动信号来控制镇流器开关。图 10(a)展示的是 0001 镇流器通过 ZigBee 网络从网关接收到读取数据指令的仿真图。图 10(b)展示的是 0001 镇流器向网关返回数据的仿真图。

6.3 系统节能效果

高效、智能的照明管理策略达到了降低能耗和节约能源的目的,如表 1 所示,以 2015 年 1 月 8 日至 2015 年 1 月 22 日期间,该系统中稳定运行的 8 个网关下的 593 盏单灯为例,平均每天每盏单灯用电量为 2.77kW·h,与传统照明每天每盏用电量 3.5kW·h 相比,每盏单灯平均每天节能 0.73kW·h,节能达 20.86%,节能效果显著。



(a) 镇流器接收网关指令



(b) 镇流器向网关返回数据

图 10 镇流器数据接收和发送仿真图

表 1 系统节能效果对比

网关名称	单灯数(盏)	累计用电(kW·h)	平均每天每盏用电量(kW·h/天)
井岗路产业园	128	4590	2.56
开福路与汶水路岔口	76	2730	2.57
雪霁北路与振兴路岔口	95	3450	2.59
田埠西路与振兴路岔口	77	3395	3.15
湖光路与雪霁路岔口	114	5060	3.17
沁源路与汶水路岔口	39	1500	2.74
汶水路与振兴路岔口	33	1170	2.53
仙霞路与汶水路岔口	31	1140	2.63
累计	593	23035	2.77
传统照明原始数据			3.50

7 结 论

本文针对传统城市道路照明在手动或半自动管理模式下自动化程度低、实时监控困难、管理效率低等难题,综合运用计算机技术、网络通信技术、地理信息技术和现代管理方法等跨平台多领域技术,构建了基于物联网的城市路灯监控系统,并开发了 B/S 与 C/S 混合模式的系统监控平台。本研究综合分析了照明终端设备特点,设计出了基于物联网的通信网络,实现了科学、高效、实时的信息传输,同时采用 GIS 技术实现了监控单元的可视化监测和控制。系统功能丰富、界面友好,很好地解决了实时监控和可视化管理问题,提高了管理效率。系统已在市政照明工程中投入使用,运行效果良好,没有出现启动速度慢或信息延迟现象,系统的成功实施为照明领域可视化实时管理探索了新的路径。

参考文献

- [1] 何秉云. 城市道路照明的变迁回顾与发展思考. 见:中国道路照明论坛. 中国, 青岛市, 2012. 9-12
- [2] 傅予, 贾素玲, 杨涛存等. 基于物联网和云计算的城市体研究. 微计算机信息, 2011, 27(12):71-73
- [3] Choi A S, Kim Y O, Oh E S, et al. Application of the space syntax theory to quantitative street lighting design. *Building and Environment*, 2006, 41(3):355-366
- [4] Stefano J D. Energy efficiency and the environment: the potential for energy efficient lighting to save energy and reduce carbon dioxide emissions at Melbourne University, Australia. *Energy*, 2000, 25(9):823-839
- [5] Kostic M, Djokic L. Recommendations for energy efficient and visual acceptable street lighting. *Energy*, 2009, 34(10):1565-1572
- [6] 丁元峰. 天元物联路灯控制系统的设计与实现:[硕士学位论文]. 济南:山东大学, 2012. 7-36
- [7] 张俊华. 基于 GPRS 和 Zigbee 的无线智能路灯控制系统设计. 计算机光盘软件与应用, 2012, (7):200-201
- [8] 王成福, 唐晓强. 基于 GPRS 的路灯监控系统的设计与实现. 电力系统通信, 2008, 29(8):18-21
- [9] 刘三梅, 程韬波, 胡战虎. 基于 GPRS/WEBGIS 的路灯节能监控系统的设计与实现. 计算机工程与设计, 2008, 29(1):187-189
- [10] 朱忠芳, 宋爱平, 林涛. 基于 ZigBee 技术的单灯节能监控系统. 现代电子技术, 2008, 31(21):130-132
- [11] 宋绍剑, 薛春伟. 基于 Zigbee 的城市路灯智能监控终端控制器设计. 照明工程学报, 2011, 22(4):26-30
- [12] Chui M C, Löffer M, Roger R. The Internet of things. *McKinsey Quarterly*, 2010, (2):1-9
- [13] Liu Y H. Introduction to IOT. Beijing: Science Press, 2010. 8-28
- [14] 李楠, 刘敏, 严隽薇. 面向钢铁连铸设备维护维修的工业物联网框架. 计算机集成制造系统, 2011, 17(2):413-418
- [15] 龚健雅. 当代地理信息系统进展综述. 测绘与空间地理信息, 2004, 27(1):5-11
- [16] Farahani S. ZigBee Wireless Networks and Transceivers. Burlington: Newnes, 2008. 15-28
- [17] 段英侠, 许伦辉, 陈苍. GIS 支持下的高速公路路灯监控管理系统设计. 现代交通技术, 2008, 5(1):73-76

Design and implementation of a visual system for street lamp monitoring based on Internet of things

Dong Yude^{*}, Ding Baoyong^{*}, Zhang Changhao^{*}, Liu Mengmeng^{*}, Quan Xunhua^{**}, Du Qingpeng^{**}

(^{*} School of Mechanical and Automotive Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009)

(^{**} Hefei Fitbright Electronic Technology Co., Ltd, Hefei 230088)

Abstract

A streetlight monitoring and control scheme based on the internet of things (IOT) was put forward to realize the automatic, real-time monitoring of street lamps and provide a visual, intelligent operating platform for street lighting management. According to this scheme, a novel system for visual monitoring of street lighting was designed and constructed based on the IOT and use of the technique of geographic information system (GIS). The system adopts high-power electronic ballasts to realize the information acquisition and its controlling, uses the techniques of ZigBee and GPRS to construct the IOT based communication network which combines the short-distance communication with the long-distance communication to deal with the data transmission problem, introduces the Baidu map API to achieve the visual layout and monitoring of lighting terminals, and uses the C/S-B/S hybrid architecture model to reduce its burden brought by concurrent data receiving, analyzing, storing and querying to improve its operation efficiency. The system is put into practical application, and its feasibility and effectiveness are verified.

Key words: internet of things (IOT), ZigBee, GPRS, street lighting monitor, visual management