

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2013.06.027

# 基于 ZigBee 无线网络的隧道 LED 灯控制系统\*

程 添<sup>1</sup>, 严钱军<sup>2</sup>

- (1. 浙江大学 仪器科学与工程学系, 浙江 杭州 310027;
2. 杭州杭科光电股份有限公司, 浙江 杭州 310000)

**摘要:** 针对当前隧道照明控制存在的单一性突出、布线难度大,以及盲目控制隧道照明亮度给行车安全带来的隐患等问题,设计出了一种基于 ZigBee 无线网络技术的簇树型隧道 LED 灯控制系统。该系统采用嵌入式结构,采用 QT 进行了用户交互界面的设计;将系统控制分为 3 种模式:手动模式、自动模式以及定时模式,同时将隧道划分为 5 个路段:入口段、入口过渡段、中间段、出口过渡段以及出口段,然后根据各个路段进行分段照明控制,通过安装在各路段的环境参数采集终端定时采集各路段的车速、车流量以及洞内外亮度,进而具体制定了各路段的自动照明策略,并利用 ZigBee 无线网络进行组网,通过路段控制器实现了控制命令和数据的无线传输。研究表明,该系统组网速度快、布线少、数据传输可靠。

**关键词:** LED; 隧道灯; 照明策略; 嵌入式系统; ZigBee; 控制系统

中图分类号: TP212; TM923 文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2013)06-0750-04

## Tunnel led light control system based on ZigBee wireless networking

CHENG Tian<sup>1</sup>, YAN Qian-jun<sup>2</sup>

- (1. Department of Instrumentation Science, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;
2. HangKe Optoelectronics Joint Stock Co.,Ltd., Hangzhou 310000, China)

**Abstract:** Aiming at the singleness of current tunnel lighting control system, routing difficulty and blinding control of the tunnel lighting brightness would bring danger for safety. A tunnel LED control system which used ZigBee wireless networking based on cluster tree structure was designed, in which the embedded structure was the core, and an user interaction interface was designed by QT. The system had three control mode which were manual mode, automatic mode and timer mode, the tunnel was divided into five sections: entrance section, entrance transition section, middle section, exit section, exit transition section. The lighting by tunnel section was controlled, to make automatic lighting rules based on vehicle speed, vehicle flow and the brightness of the tunnel which were collected in a certain time by environmental parameter collector. The ZigBee was used to communicate with tunnel section controller. The results indicate that the system is easy to make system networking, less routing and the data transmission is reliable.

**Key words:** LED; tunnel light; lighting rules; embedded system; ZigBee; control system

## 0 引 言

车辆驾驶员出入隧道时,发生视野内光线的明暗变化,人的视力受亮度适应而下降<sup>[1]</sup>,使行车通过隧道时存在着极大的危险隐患。如果单纯靠加强隧道照明,提高隧道内的照明亮度,不仅会增加运营费用和资源浪费,还会给行车安全带来极大的隐患<sup>[2]</sup>。目前

国内隧道灯的控制基本上是靠开关照明回路来控制,一般隧道都有 7~8 个照明控制回路,建设投资大,施工难度高,隧道开通后仅能在有限的回路里进行控制,很难兼顾隧道的运营成本和隧道的安全<sup>[3]</sup>,而且传统的网络化控制系统采用有线组网方式,系统布线受地形限制,节点维护困难、系统扩展性差。

ZigBee 技术具有功耗低、数据传输安全、组网简

收稿日期: 2012-12-26

基金项目: 国家高技术研究发展计划(“863 计划”)资助项目(2010AA03A1A8)

作者简介: 程 添(1989-),男,浙江温州人,主要从事嵌入式系统方面的研究。E-mail: chengtian61@126.com

单、工作频段灵活、成本低等特点,并且支持多种网络拓扑,包括星型、树形和网<sup>[4]</sup>,采用 ZigBee 进行无线组网,可以克服地形限制、维护困难等问题,并且可以降低系统成本和布线难度,该技术已经被广泛应用于自动控制和监控领域<sup>[5]</sup>,而白光 LED 是最近几年研制投产的新型照明灯具,与传统照明灯具相比,其具有低压、低功耗、高可靠性、长寿命等优点,是一种符合环保、节能要求的绿色照明光源<sup>[6-7]</sup>。因此,LED 灯和 ZigBee 技术应用于隧道照明,具有先天优势。

本研究设计的基于 ZigBee 无线网络的隧道 LED 灯控制系统,以嵌入式控制器为核心,采用 ZigBee 组建无线网,以增强控制器安装以及现场布线的灵活性和方便性,根据洞内外亮度、车速、车流量等参数来制定控制规则算法并加以优化,嵌入到隧道灯控制系统中,以实现隧道照明的实时自动控制。

### 1 LED 隧道灯控制系统总体方案

系统总体结构如图 1 所示。

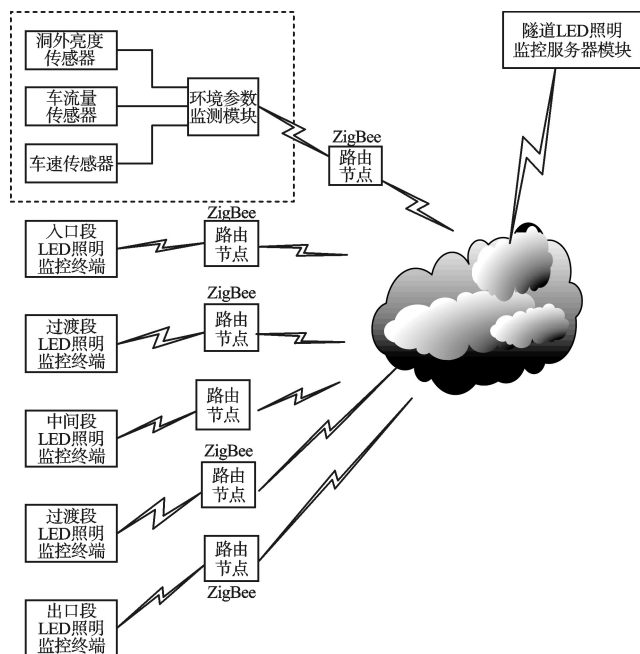


图 1 系统总体结构图

隧道照明主要受洞内外亮度、车速、车流量等因素的影响,现在长隧道照明分为入口段、入口过渡段、中间段、出口过渡段、出口段<sup>[8]</sup>。该控制系统根据每路段的洞内亮度、车速、车流量等数据,在保证行车安全并且满足照明的要求下来分路段调节 LED 灯的亮度,并对各路段照明设备的运行状况进行监视。

LED 隧道灯控制系统主要分为四大模块:环境参数检测模块、ZigBee 无线通讯模块、LED 照明监控终端以及 LED 隧道灯服务器控制系统。环境参数检测模块用于实时检测隧道洞内外亮度、车流量和平均车速

以及洞内外的烟雾浓度,通过 ZigBee 无线通讯模块将环境数据上传给 LED 隧道灯服务器控制系统,LED 照明监控终端负责通过 ZigBee 无线接收服务器控制系统的指令来自动或者手动调节 LED 灯的亮度。LED 隧道灯服务器控制系统则根据当前的各个路段环境参数,通过 ZigBee 通信模块轮回发送控制命令给照明监控终端,照明终端根据命令通过 PWM 来调节 LED 灯的亮度。

由于隧道比较狭长,而且无线网络节点数较多,覆盖面积较广,为此 ZigBee 组网方式采用簇树拓扑结构。系统中的 ZigBee 无线通讯模块主要分为 3 类设备:中心节点、路由节点以及终端设备。中心节点负责整个网络的创建、数据传输以及控制。LED 隧道灯服务器控制系统通过中心节点与整个网络进行通讯;路由节点主要是为了增加无线通信的距离,负责数据的转发;终端设备则负责接受命令和发送环境参数。ZigBee 各个通讯模块在硬件上没有任何区别。网络中的终端节点若通过路由节点组网失败,则会自动寻找其他路由节点进行自动修复,从而实现了隧道的大面积通讯,降低了布线的施工难度和提升了后期维护的便捷性。

### 2 LED 隧道灯控制系统设计

#### 2.1 嵌入式服务器系统硬件设计

嵌入式服务器系统主要实现实时数据的无线通讯、制定各个路段的控制策略、参数的保存以及报警功能。硬件设计如图 2 所示。

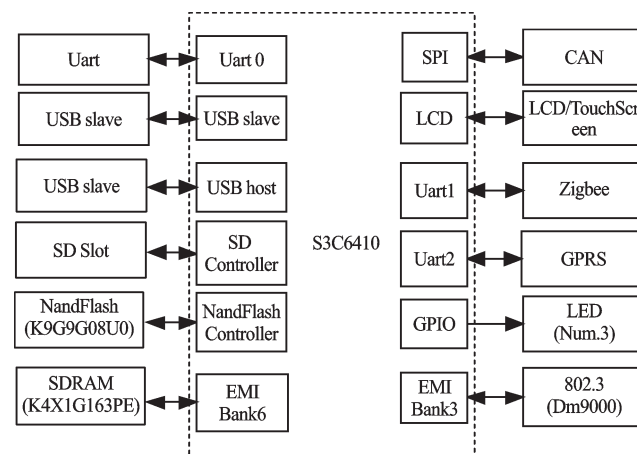


图 2 嵌入式服务器硬件框图

在本研究中,主控芯片采用三星 ARM11 控制器 SC6410 芯片,该处理器频率可以运行到 667 MHz,系统配有以太网卡 DM9000,负责在调试阶段下载和调试程序,并且可以用于与远程服务器的通讯,系统的人机交互接口采用带有触摸功能的 7" TFT 液晶屏,ZigBee 无线通讯模块采用 TI 的 cc2430 芯片,它将 MAC

层和PHY层集成在一起,MAC固化在收发器中,模块通过uart1与S3C6410连接<sup>[9]</sup>。

### 2.2 嵌入式服务器系统软件设计

本研究软件采用QT多线程编程方式,主线程制定自动控制模式的控制策略,次线程进行无线数据的实时通讯。隧道灯服务器控制系统的控制模式分为手动控制、自动控制以及定时控制。手动控制主要用来设备安装或者日常的维护,可全部或者单独控制5个路段的LED隧道灯的亮度,手动模式的优先级要大于自动控制模式,而自动控制模式则根据当前的洞内外亮度、车速以及车流量实现对各路段的LED灯亮度的自动调节,定时控制模式可对各路段的LED灯亮度按时间段进行单独控制。

LED隧道灯服务器控制系统上电后首先初始化各个模块,然后由ZigBee无线通信模块负责组建隧道照明的无线网络,各个节点入网,系统载入之前保存的参数和配置,然后每隔1 min下发参数读取命令给环境参数检测模块,根据ZigBee通信模块上传来的车辆以及洞内外亮度信息判断隧道状态是否正常,若不正常,则会通过发送短信进行报警,若正常,则判断系统处于哪种模式,如果是在手动控制模式,则只采集车辆以及洞内外亮度,而如果是在定时控制模式,则比较当前的时间(如所设定的时间)来进行控制,如果在自动模式,系统会根据当前隧道各个路段发送上来的环境参数进行自动控制。系统的主流程图如图3所示。

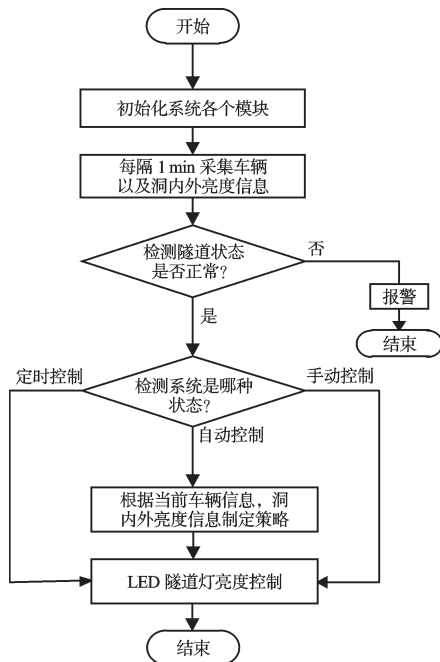


图3 LED隧道灯服务器控制系统程序流程图

### 2.3 LED隧道灯自动控制策略

隧道照明的主要依据是洞内外亮度、车速以及车

流量。笔者研究的方法中,以杭州市某隧道为背景,该隧道全长1 300 m,车道设计为双车道单向通行。控制策略中的一些参数是依据我国于1999年发布的《公路隧道通风照明设计规范》来设定的<sup>[10]</sup>。

假定设定的最高车速为120 km/h,晴天洞外亮度为晴天洞外亮度为4 000 cd/m<sup>2</sup>,云天的洞外亮度为0.5×4 000 cd/m<sup>2</sup>,阴天为0.25×4 000 cd/m<sup>2</sup>,重阴为0.13×4 000 cd/m<sup>2</sup>,夜间车流量较少时中间段亮度可取为白天的一半<sup>[11]</sup>,但不小于1 cd/m<sup>2</sup>。

入口段照明的作用是消除“黑洞”现象,使驾驶员在洞口能辨认障碍物,根据《设计规范》,可以计算得到入口段的长度为107 m,入口段的照明可按照如下公式计算:

$$L_{ih} = k \times L_{20}(S) \tag{1}$$

式中:  $L_{ih}$ —入口段亮度, cd/m<sup>2</sup>;  $k$ —入口段亮度折算系数,可按表1进行取值;  $L_{20}(S)$ —洞外亮度。

表1 入口段亮度折算系数

设计交通量/(辆·h <sup>-1</sup> )	行车速度/(km·h <sup>-1</sup> )				
	120	100	80	60	40
≥2 400	0.054	0.045	0.035	0.022	0.012
≤7 00	0.042	0.035	0.025	0.015	0.01

因此根据式(1)和表1,可以得出隧道入口段LED灯的亮度参数,入口亮度如表2所示。

表2 入口亮度

天气情况	行车速度/(km·h <sup>-1</sup> )				
	120	100	80	60	40
晴天	255	180	140	88	48
云天	110	90	70	44	24
阴天	55	45	35	22	12
重阴	25	27	18	12	10

入口过渡段的作用是使驾驶员逐渐适应隧道内部照明,该方案中计算得到的入口过渡段长度为105 m,入口过渡段的亮度可以按照如下公式计算得到:

$$L_{ir} = 0.3 \times L_{ih} \tag{2}$$

式中:  $L_{ir}$ —入口过渡段段亮度, cd/m<sup>2</sup>。

中间段的照明,可按照隧道中的实际设计车速对照度的需求决定。该方案中设计的中间段长度为910 m。基于模糊控制原则的隧道照明亮度的基本要求如表3所示。

出口过渡段的作用是使驾驶员逐渐适应隧道外亮度,该方案中计算得到的入口过渡段长度为118 m,



表3 中间段亮度

车速/(km·h <sup>-1</sup> )	亮度/(cd·m <sup>-2</sup> )
120	220
100	200
80	100
60	50
40	35

出口过渡段的亮度可以按照如下公式计算得到:

$$L_{tc} = 0.3 \times L_{th} \quad (3)$$

式中:  $L_{tc}$ —出口过渡段亮度, cd/m<sup>2</sup>。

由于隧道出口处是人眼视觉的明适应过程,适应时间很短,可作较简单的处理。该方案中设计出口段长度为 60 m,亮度为中间亮度的 5 倍。

### 3 结束语

笔者研究并设计了一种基于 ZigBee 无线网络技术的 LED 隧道灯控制系统,该 LED 隧道灯服务器控制系统通过 ZigBee 组成的无线网络与各个控制模块通讯,并通过传感器模块采集洞内外亮度、车速以及车流量作为系统输入的基本参数,从而制定了各个路段的亮度控制规则,实现了对隧道内 LED 灯的自动控制,各个路段的状态信息可以通过 LED 隧道灯服务器控制系统的 LCD 屏幕实时显示出来。实验结果表明,

各个模块通过 ZigBee 无线技术组网速度快,数据传输可靠性高,而且使布线摆脱了有线的局限性,提高了后期维护的便捷性,使该设计具有实际应用价值。

### 参考文献(References):

- [1] RAFAEL C G, RICHARD E G. Digital Image Processing [M]. 2nd ed. 北京:电子工业出版社,2007.
- [2] 郭兰英,梁波,张生瑞. 一种新的隧道照明系统控制策略[J]. 西北工业大学学报,2009,39(4):571-572.
- [3] 钱怀风. 基于 ARM 微处理器的隧道照明智能控制器[J]. 电子产品世界,2007(2):95-96.
- [4] 肖华. 基于 ZigBee 隧道照明无线控制系统研究和设计[D]. 长沙:湖南大学电气与信息工程学院,2009.
- [5] 高守玮,吴灿阳. ZigBee 技术实践教程[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2009.
- [6] 李春茂,李蓉. LED 隧道照明控制系统的研究[J]. 高科技与产业化,2009,5(7):102-104.
- [7] 王旭升. 基于 ZigBee 的智能建筑灯光控制系统设计[J]. 机电工程技术,2011,40(12):22-25.
- [8] 戴增辉,马小军,刘向,等. 基于 PLC 的隧道照明控制系统[J]. 低压电器,2010(7):27-30.
- [9] 辛颖,谢光忠,蒋亚东. 基于 ZigBee 协议的温度湿度无线传感器网络[J]. 传感器与微系统,2006,25(7):82-88.
- [10] 重庆交通科研设计院. JTJ-2002,公路隧道通风照明设计规范[S]. 北京:人民交通出版社,2002
- [11] 姚其,陈大华,林燕丹. 白光 LED 用于公路隧道照明的设计分析(上)[J]. 中国照明电器,2008(11):6-9.

[编辑:李辉]

(上接第 749 页)

- [4] 陈玉进. 电动汽车充电设备特点及对电网影响探讨[J]. 湖北电力,2009,33(6):48-50.
- [5] RUTHERFORD M J, YOUSEFZADEH V. The Impact of Electric Vehicle Battery Charging on Distribution Transformers [C]//IEEE APEC2011. Denver: [s.n.], 2011: 396-400.
- [6] 纪斌义,周江涛,黄海波. 基于电动汽车充电机的仿真研究[J]. 自动化与仪器仪表,2011(4):19-21.
- [7] 黄梅,黄少芳,姜久春. 电动汽车充电机(站)接入电力系统的谐波分析[J]. 北京交通大学学报,2008,32(5):85-88.
- [8] 张谦,韩维健,俞集辉,等. 电动汽车充电站仿真模型及其对电网谐波影响[J]. 电工技术学报,2012,27(2):159-164.
- [9] ORR J A, EMANUEL A E, OBERG K W. Current harmonics generated by a cluster of electric vehicle battery chargers [J]. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1982, 101(3):691-700.
- [10] STAATS P T, GRADY W M, ARAPOSTATHIS A, et al. A statistical method for predicting the net harmonic currents generated by a concentration of electric vehicle battery chargers [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1997, 12(3):1258-1266.
- [11] 蒋浩. 电动汽车充电站的谐波抑制与消除[J]. 广东电力,2010,23(8):16-19.
- [12] 王兆安,杨君,刘进军,等. 谐波抑制和无功功率补偿[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
- [13] 黄梅,黄少芳. 电动汽车充电站谐波的工程计算方法[J]. 电网技术,2008,32(20):20-23.
- [14] LEWIS L R, CHO B H, LEE F C, et al. Modeling, analysis and design of distributed power systems [C]//Power Electronics Specialists Conference. Milwaukee, USA: [s.n.], 1989 (1):152-159.
- [15] 滕乐天,姜久春,何维国. 电动汽车充电机(站)设计[M]. 北京:中国电力出版社,2009:70-84.
- [16] 陈晨. 电力系统非线性负载谐波特征分析的研究[D]. 武汉:华中科技大学高电压与绝缘技术专业,2007.
- [17] 费益军,徐卫文,陈兵,等. 供电网典型非线性负载谐波特性分析[J]. 江苏电机工程,2011,30(1):1-4.

[编辑:李辉]