

基于 LED 光通信的移动电子导览系统研究

顾元培 何宁 何志毅

(桂林电子科技大学信息与通信学院, 广西 桂林 541004)

摘要 利用 LED 照明和通信的双重功能,研究了一种基于照明 LED 室外移动光通信的电子导览系统。分析了 LED 照明驱动和通信调制编码、室外光信道特性、移动电子导览系统原理,讨论 LED 脉冲调制与照明闪烁的关系,建立嵌入式环境下的可视化电子导览地图,以图、文、声方式提供移动轨迹导向服务,实现设定区域的自助电子导览的功能。结果表明,在保证室外 LED 正常照明的同时,可利用光照辐射区域实现景点位置信息传输,并完成对应景点信息的显示和播报,可靠实现了室外光接收目标移动路径的可视化导览,在短距离无线光通信应用中具有极大优势。

关键词 光通信;移动光通信;脉冲调制;路径导向;可视化;电子导览

中图分类号 TP393 **文献标识码** A **doi:** 10.3788/LOP50.060602

Research on Mobile Electronic Guide System Based on Lighting LED Optical Communication

Gu Yuanpei He Ning He Zhiyi

(School of Information and Communication, Guilin University of Electronic Technology, Guilin, Guangxi 541004, China)

Abstract LEDs are not only used as lighting devices, but also as transmitters for communication systems. In this paper, the electronic guide system based on outdoor lighting LED mobile optical communication is designed. The lighting LED driver, modulation code, the channel characteristics of outdoor lighting LED and the trajectory recognition of light receiving navigator and voice broadcast are analyzed in theory. The relationship among pulse modulation LED, optical transmission and light flashing is discussed, and the visualizing electronic guide map is established in this embedded environment. The optical receiving system provides mobile track-oriented services for tours by picture, text and sound, and makes self-service electronic guide features be realized at the set area. Experimental results show that the system can make normal scenic lighting, get the position information transmission by using light radiation region attractions, and display and broadcast the corresponding information of the attractions simultaneously. The system can reliably realize the visual navigation of the moving path of optical receiver target. It has good utility and spread profit and shows a great advantage in the short-range wireless optical communication.

Key words optical communications; mobile optical communication; pulse modulation; path orientation; visualization; electronic guide

OCIS codes 060.4510; 130.6750; 130.4110

1 引言

传统的自助式游览依靠旅游路线上设置的路径指示牌进行导向,其自主性和灵活性受到限制。电子导览器的出现,提高了人们的自主性,在时间和兴趣方面更能满足游览者的需求。随着传感与智能识别技术的快速发展,电子导览器获得广泛应用。常规电子导览系统主要采用全球定位系统(GPS)、射频识别(RFID)和红外技

收稿日期: 2013-03-07; **收到修改稿日期:** 2013-03-23; **网络出版日期:** 2013-05-14

基金项目: 国家自然科学基金(60177036)资助课题。

作者简介: 顾元培(1984—),男,硕士研究生,主要从事光通信系统与技术等方面的研究。E-mail: gypei@126.com

导师简介: 何宁(1958—),男,研究员,硕士生导师,主要从事光通信方面的研究。E-mail: ofca@163.com

本文电子版彩色效果请详见中国光学期刊网 www.opticsjournal.net

术。这些系统在一定程度上存在设备复杂、定位精度受限、交互模式单一和局域性应用受限等不足。LED 具有功耗低、寿命长和绿色环保^[1~3]等优点,而随着 LED 照明技术的普及,它的高亮度、大发散角^[4]和高速调制特性得到进一步开发,在短距离无线光信息传输中获得应用。本文将无线移动光通信与电子导航技术结合,提出一种基于照明 LED 完成光通信信息传输的可视化导航系统。系统在完成正常照明的同时实现必要的信息传输,以图、文、声并茂的方式进行移动电子导航和路径指示,实现 LED 照明辐射下的可视化导航。

2 LED 通信调制原理

LED 是一种电流注入型器件,在正向电压作用下,只要适当控制脉冲电流峰值,可保证一定的光效。现代照明 LED 在大电流下工作,采用脉冲驱动方式,可有效提高转换效率和减少能量损耗,只要选择合适的脉冲频率(通常高于 100 Hz),就可以避开人眼对亮度闪烁的敏感区,实现对 LED 的照明驱动。

对于矩形波而言,最大峰值电流与占空比的乘积为 LED 的平均电流。设最大峰值电流为 I_{\max} ,通断周期为 T ,每次导通时间为 T_{on} ,则当占空比为 $D=T_{\text{on}}/T$ 时,LED 的平均电流为

$$I_{\text{d}} = I_{\max} D. \quad (1)$$

由此可知,当 T 不变时,若要改变流过 LED 的平均电流,只需调整导通时间。由于在一定范围内 LED 的光通量与其正向电流成正比,这样就可改变 LED 的亮度^[5]。

要实现 LED 的照明与通信功能,采用数字调制方式,利用基带信息对载波进行脉冲宽度、脉冲频率和脉冲位置^[6]的控制,可达到对 LED 输出光的调制,实现短距离信息传输。以 GaP 为基质材料的可见光 LED 的响应时间为 10^{-7} s,而以 GaAs、GaAsP、GaAlAs 为材料的 LED 响应时间小于 10^{-9} s,理论上它们可以工作在 $10 \sim 100$ MHz 的高频系统中^[7],超过最高频率,器件无法正常导通和关断,故利用可见光 LED 进行通信时,脉冲信号的宽度不能低于其响应时间。另外,还需要避免信号中连“0”和连“1”的出现,若出现的低电平时间持续超过 20 ms,会造成人眼可觉察到的灯光闪烁,而信号为长“1”时,LED 持续工作在高电平状态,温度迅速升高,发光强度降低,产生光衰,缩短 LED 寿命。

3 室外光通信信道分析

LED 可见光波长为 $380 \sim 780$ nm,而大气窗口为 $400 \sim 700$ nm,透射率大于 95%,由此可见,可见光波段在大气层中的透射率是良好的。LED 室外传输信道为大气信道,大气信道中含有大量气体和散射粒子,会使光在传输过程中产生偏差,大气中的一些成分和粒子还会吸收光线的能量,使得传输信号的发射功率被衰减。另外,太阳光包含了大量的可见光,是主要的背景光干扰源^[8],其他一些杂散光也会对系统传输带来背景光干扰。背景光干扰对光接收机影响较大。背景光中的自然光不包含调制信号,可用滤波器滤掉。但在强自然光干扰下,特别是太阳光直射情况下,光探测器会进入饱和状态,导致光探测器无法接收较弱的通信光。因此室外可见光通信(VLC)要求光探测器有较高的动态范围,提高抗背景光干扰措施。

室外 LED 可见光通信信道即大气信道为随机信道,主要受瑞利散射影响。可见光的波长比较短,瑞利散射衰减的作用较强烈,瑞利散射的体积散射系数为^[9]

$$a_m(\lambda) = \frac{8\pi^2 (n^2 - 1)^2}{3N\lambda^4} \cdot \frac{6 + 3\delta}{6 - 7\delta}, \quad (2)$$

式中 λ 为入射光波长(cm), N 是单位体积内的分子数(cm^{-3}), n 是粒子的折射率, σ 是退偏振因子。瑞利散射的前向散射和后向散射的比重大约各占一半,衰减系数与 λ^4 成反比,因此短波光比长波光散射更明显,导致可见光衰减比较严重,降低系统的通信性能。

4 导航系统组成原理

系统采用的照明 LED 发散角较大(约为 140°),辐射范围广,便于接收对准,保证 LED 的户外照明和数据传输。系统组成如图 1 所示。

将照明 LED 发射模块(每个模块设置了唯一的编号)设定在一定的路径位置,手持移动光电接收导航器沿

着一定的路径方向行进。白天,当导览器进入某 LED 发射模块的热释电红外传感区域时,该传感器输出一电平,触发单片机点亮 LED 阵列并发送相应位置数据编号,连续发送 5 次,传输完毕,关闭照明 LED。若是晚上或阴天,由光传感器控制照明 LED 亮灭,作为照明使用,当识别到有移动光接收设备经过时发送数据。

移动光接收设备将接收到的不同景点编码信息送 ARM9 开发板进行译码,把发射端的景点编号恢复出来,每个 ARM9 开发板接收到景点编号后,与上次接收到的编号比较,若编号重复,则不再接收该编号,依据当前编号,从存储的数据库调出该编号对应的景点的文字介绍、图片显示和语音介绍等资料。游客可以在触摸屏上通过点击各控制按钮,查看各小景点的文字介绍、经典照片和路径信息,聆听各小景点的语音解说等。

5 LED 照明与通信驱动方案

照明 LED 发射模块的组成如图 2 所示,具体由热释电红外感应模块、光传感器电路、单片机(STC89C52MCU)、信号调制电路、恒流驱动、照明 LED 以及温度和电流监控电路构成,主要完成各景点编号的发送。根据系统控制的需要,单片机可产生 3 种脉冲信号:脉宽调制(PWM)调光信号、码元调制信号和频率为 38 kHz 的脉冲信号。

在自然光足够的条件下通信时,LED 的照明状态关闭,若热释电传感器被触发输出高电平,单片机仅输出景点编码信号,否则光传感器依据环境光变化产生控制电平触发单片机输出频率为 38 kHz,占空比为 70% 的脉冲信号,直接驱动 LED 作为照明路灯使用,保证一定的光效。若单片机通过温度和电流监控电路检测到 LED 的温度或通过 LED 的电流大于设定值,则停止 DD311 芯片工作。

由于频移键控(FSK)为窄带调制,信号可在时域中持续较长时间,短时间脉冲噪声对调制信号的影响较小,即抗干扰性强,尽管 FSK 的传输速率相对不高,频带利用率低,但系统只传输各小景点的编号,对传输速率要求不高,并且实现简单,故使用硬件进行 FSK 载波调制方式,低电平对应载波频率为 38 kHz,高电平对应载波为 455 kHz。

PWM 信号为静态直流控制脉冲信号,占空比为 70%,它依据 LED 所需光照度以及温度控制实现恒流调节。

6 移动光接收模块

光接收模块构成电子导览器对通信信号接收解调,图 3 为其原理框图。接收端采用滤波+包络检波法对信号解调,为抑制背景光噪声,在光电探测器前进行一定的滤光处理,以降低干扰、提高系统带宽^[10]。光前置放大器设计为低噪声放大器,使用高速、电压反馈型的运放 OPA2354 构成跨阻放大器,为扩大接收信号动态范围,使输出信号电压维持在一个相对稳定值,保证导览器在移动中能正常接收到光信号,在电路中增加了自动增益控制(AGC)功能,核心芯片为 TL026,具有 50dB 的动态范围。

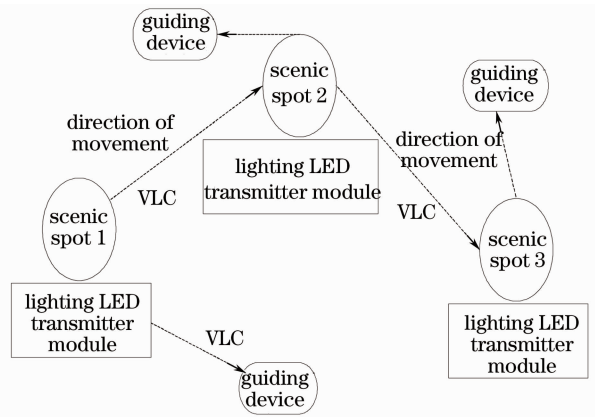


图 1 LED 室外移动光通信电子导览系统
Fig. 1 Visual navigation system based on lighting LED mobile optical communication

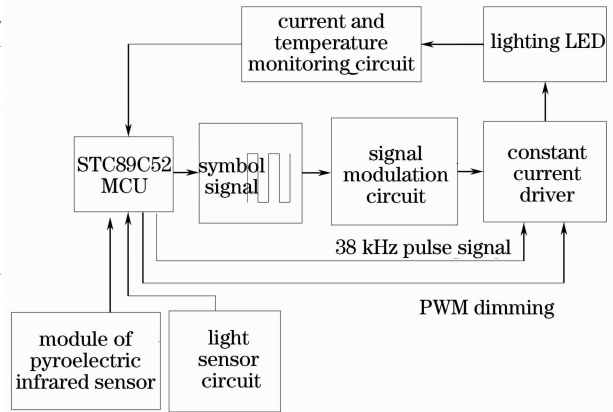


图 2 照明 LED 发射模块框图
Fig. 2 Block diagram of lighting LED transmitter module

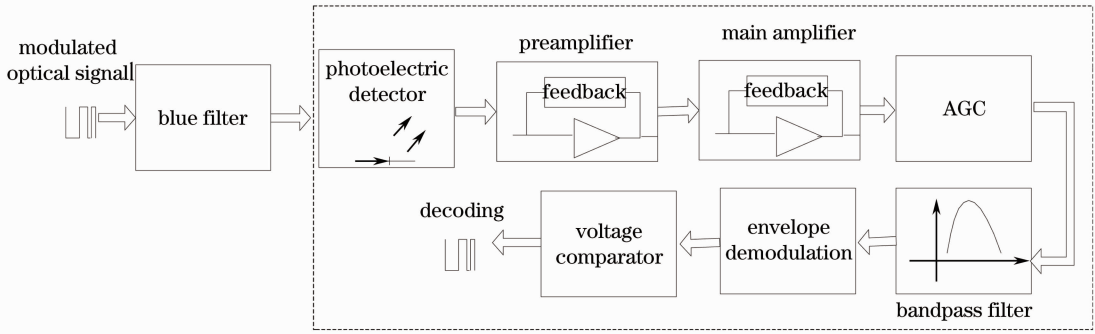


图3 光接收模块框图

Fig. 3 Block diagram of optical receiver module

7 电子地图与导览功能

以桂林象鼻山公园作为实例进行设计,使用 Mapinfo7.0 软件制作了象鼻山公园部分景区的电子地图。为形象标识游览轨迹,由 ARM9 的微处理器生成的蓝色线条表示景区的路径,覆盖原地图上的道路,当游客到达某景点时,对应标识闪烁,表示游客当前位置,若导览器从一个景点运动另一景点,两点之间的路径改变为红色。

屏幕上汉字使用 16×16 点阵组成的图案表示,屏幕为触摸屏方式,根据导览提示,屏幕显示可进行放大和缩小,支持景点介绍与周边设施查询等功能。系统提供语音播报,主要由微处理器通过 IIS 音频设备接口与芯片 UDA1341TS 相连,编写录音和播放程序,实现录制或播放音频文件的功能。

8 系统测试与分析

在宽度为 5 m 的道路上选择 3 个位置临时安装照明 LED 发射模块,模块距离地面的高度约 6 m,其中光源采用 1 W 的白光 LED 构成 3×8 的阵列,适当调整 LED 的俯仰角以满足道路辐射范围^[11],在路面上测试得到的照度值范围为 $10 \sim 2000$ lux,分别对发射端 FSK 数据信号波形和光接收端波形进行测试。使用拨码开关设置景点编号,可设置 $0 \sim 255$ 个不同的景点编号,通过热释电红外传感器触发单片机发送数据,图 4 是发射端 FSK 信号波形,蓝色波形为发射的码元信号,由引导码和数据构成,黄色波形为 FSK 调制信号。在离发射端垂直方向 5 m 的地方,测试接收端的信号,图 5 为接收端调制和包络解调信号波形,黄色波形为接收端经过带通滤波器后的 FSK 信号,蓝绿色波形是包络检波后的波形,接收波形与发射波形反向。

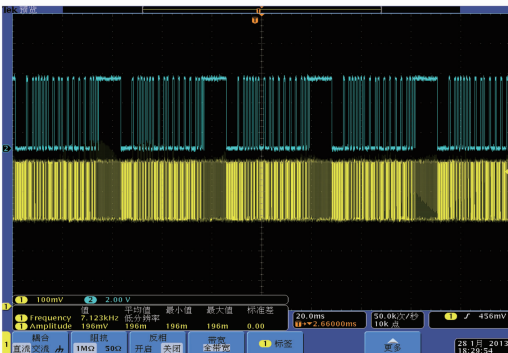


图4 发射端 FSK 信号波形

Fig. 4 Waveform of FSK signal at the transmitting end

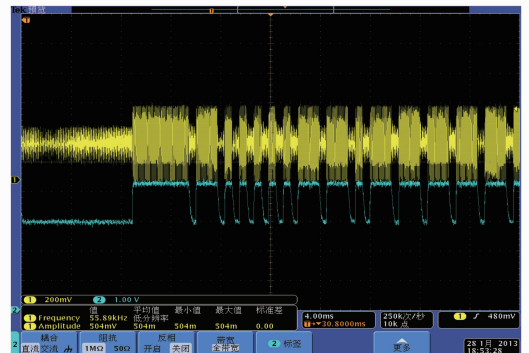


图5 接收端调制和包络解调信号波形

Fig. 5 Waveform of Modulation and envelope demodulation signal at the receiving end

设置 3 个发射点分别代表象鼻山公园的象照壁、云峰寺和纵目亭 3 个景点,依次设置景点编号为“B”、“C”和“D”。手持移动导览器到达第一入口处约 5 m 的地方,照明 LED 点亮,导览器在光照辐射区接收到发送信息,同时触摸屏显示的地图上代表象照壁的紫色小圆点闪烁,提示游客的当前位置,点击左侧的文字按钮,则在屏幕的左下方显示象照壁的文字介绍;点击放大按钮,显示象照壁的一些照片;点击音频按钮,通过

耳机聆听象照壁的语音介绍;点击退出按钮,则停止播放。

继续行至第二入口附近,照明 LED 点亮并发射景点数据,象照壁与云峰寺之间的路径显示为红色,查看云峰寺的文字介绍等,具体如图 6 所示。

点击云峰寺附近,对该区域进行放大,查看云峰寺附近的详细地图,点击返回按键,显示初始的地图界面。继续前行,到达纵目亭,查看其介绍和周围环境。

9 结 论

研制了一种基于照明 LED 室外移动光通信的电子导览系统。该系统充分发挥了短距离无线移动光通信的优势,利用 LED 发散角大、功耗低的优点,对 LED 合理进行脉冲调制,有效实现了移动光通信环境下的电子导览功能。采用触摸屏显示,具有较好的人机交互性,方便游客通过电子地图轻松自如地掌控行走路径。系统在 LED 广播式发射状态下,可以对多个移动光接收电子导览装置并行接收,彼此不会干扰,游客可以通过更新 ARM9 开发板存储的资料,实现不同景区的导览。实验测试验证了系统方案的可行性。该系统扩展了照明 LED 的应用,为后续的研究和应用奠定了基础。



图 6 可视化路径显示及文字介绍示意图

Fig. 6 Diagram of visualizing path display and illustration

参 考 文 献

- Lin Huichuan, Tao Hua, He Meng *et al.*. Spatial coherence of high-power single-color LED[J]. *Acta Optica Sinica*, 2012, **32**(3): 0323003
林惠川, 陶 华, 贺 盟 等. 大功率单色 LED 的空间相干特性[J]. *光学学报*, 2012, **32**(3): 0323003
- Ding Deqiang, Ke Xizheng. Research on generalized mathematic radiation model for white LED[J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, **30**(9): 2536~2540
丁德强, 柯熙政. 一种通用白光 LED 数学发光模型研究[J]. *光学学报*, 2010, **30**(9): 2536~2540
- Zhang Jiankun, Yang Yu, Liu Bo *et al.*. Design of home network based on visible light communication and power line carrier communication[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2011, **48**(10): 100604
张建昆, 杨 宇, 刘 博 等. 基于可见光和电力线载波的家庭网络设计[J]. *激光与光电子学进展*, 2011, **48**(10): 100604
- Ding Shushu, Yu Guiying, Hao Wenwen. A freeform surface lens for indoor uniform illumination [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2012, **49**(4): 042201
丁舒殊, 余桂英, 郝雯雯. 用于室内照明的自由曲面均匀配光透镜设计[J]. *激光与光电子学进展*, 2012, **49**(4): 042201
- Zhang Bo, Cao Fengwen, Wang Yiwang. Research and design of LED street lamp driving and intelligent dimming system [J]. *China Illuminating Engineering Journal*, 2011, **22**(4): 72~73
张 波, 曹丰文, 汪义旺. LED 路灯驱动及智能调光系统的研究与设计[J]. *照明工程学报*, 2011, **22**(4): 72~73
- Zhang Jiankun, Yang Yu, Chen Hongda. Modulation scheme analysis of indoor visible light communications[J]. *Chinese J. Lasers*, 2011, **38**(4): 0405003
张建昆, 杨 宇, 陈弘达. 室内可见光通信调制方法分析[J]. *中国激光*, 2011, **38**(4): 0405003
- Zhang Xuan. A Research into LED Driving Circuits[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2008. 12~13
张 玄. LED 光源驱动电路研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2008. 12~13
- Zhao Huishan, Chen Changying, Chen Xi *et al.*. Analysis and solution on noise and interference of white light LED communication system[J]. *Optical Communication Technology*, 2011, (1): 60~62
赵惠珊, 陈长缨, 陈 曦 等. 白光 LED 通信系统的噪声与干扰分析[J]. *光通信技术*, 2011, (1): 60~62
- Qu Lixin. Multipath Effect in Space-to-Ground Laser Communication Links[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2006. 17~18
渠丽新. 空地激光通信链路多径效应分析[D]. 成都: 电子科技大学, 2006. 17~18
- L. M. Hoa, O. B. Dominic, F. Grahame. 100-Mb/s NRZ visible light communications using a postequalized white LED [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2009, **21**(15): 1063~1065
- Zhao Xiaoyan, He Ning, He Zhiyi. A study of urban traffic voice guiding system based on LED road light[J]. *Optical Communication Technology*, 2011, (3): 58~60
赵晓燕, 何 宁, 何志毅. 照明 LED 语音交通导向系统的研究[J]. *光通信技术*, 2011, (3): 58~60