

文章编号: 1001-3806(2019)05-0686-05

电磁敏感场景可见光智慧照明及环境监测系统

赵黎, 王栋, 韩中达

(西安工业大学 电子信息工程学院, 西安 710021)

摘要: 传统无线通信的方式在电磁敏感场景下难免会对信号造成干扰, 为了不影响通信系统的稳定性与可靠性, 结合可见光具有对电磁不敏感的特性, 搭建了以可见光作为信息载体在电磁敏感环境下实现兼顾照明的智慧系统。首先采用以 $0.5\text{m} \times 0.5\text{m} \times 0.3\text{m}$ 的立体空间作为房间模型、对室内光源布局进行合理的布局优化方法, 使其达到国际化室内照明标准; 其次设计了系统的上下行链路以及信号帧结构, 实现了稳定的信息传输; 最后搭建了系统的实物模型, 并对系统进行了调试。结果表明, 本系统可稳定地实现照明及室内环境参数的实时监控与数据传输, 误比特率低于 10^{-6} , 能够稳定通信 10h 以上。该研究为大场景的布设参量提供了参考。

关键词: 光通信; 电磁敏感场景; 光源布局; 上下行链路; 信号帧结构

中图分类号: TN92

文献标志码: A

doi: 10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2019.05.019

Intelligent visible lighting and environmental monitoring system in electromagnetic sensitive scene

ZHAO Li, WANG Dong, HAN Zhongda

(School of Electronic Information Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China)

Abstract: Traditional wireless communication will inevitably interfere with signals in electromagnetic sensitive scenarios. In order not to affect the stability and reliability of communication systems, combined with insensitive characteristic of visible light to electromagnetic field, a smart and lighting system with visible light as information carrier was built in electromagnetic sensitive environment. Firstly, 3-D space of $0.5\text{m} \times 0.5\text{m} \times 0.3\text{m}$ was used as room model and reasonable layout optimization method of indoor light source was carried out to make it meet the international indoor lighting standards. Secondly, the upstream and downlink of system and the signal frame structure were designed. The stable information transmission was realized. Finally, the physical model of the system was built and the system was debugged. The results show that the system can stably realize real-time monitoring and data transmission of lighting and indoor environment parameters. Bit error rate is less than 10^{-6} . It can stably communicate for more than 10h. This study provides a reference for the layout parameters of large scenes.

Key words: optical communication; electromagnetic sensitive scene; layout of light source; upper and lower links; signal frame structure

引言

在核电站、机舱、医院、工业控制等电磁敏感行业

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60972095; 61271362); 陕西省科技厅一般项目-工业领域资助项目(2017GY-081); 陕西省自然科学基金资助项目(2017JM6041); 西安市科技计划资助项目(2017075CG/RC038(XAGY001)); 陕西省教育厅科技专项资助项目(2017JK0373)

作者简介: 赵黎(1981-), 女, 副教授, 主要研究方向为无线光通信关键技术。

E-mail: pilly_lily@126.com

收稿日期: 2018-11-22; 收到修改稿日期: 2018-12-30

及高保密性行业, 由于这些场合对电磁波比较敏感, 电磁干扰及电磁泄露均会对设备或操控系统产生非常严重的干扰, 从而造成不可估量的损失, 因此, 亟需寻找无电磁辐射及电磁泄露特性的新型无线通信方式^[1]来实现特殊场合的信息传输及安全监控等功能, 由此可见光通信技术应运而生。可见光通信技术^[2-3](visible light communication, VLC)是指利用可见光波段的光作为信息载体, 无需光纤等有线信道的传输介质, 在空气中直接传输光信号的通信方式, 同时, 可见光通信技术具有绿色低碳、无电磁信号泄露、抗干扰、抗截获等特点^[4-5], 将其结合于视频监控技术, 能够很好地应用在诸如化工灾害、核电站、机舱等特殊场合的安全监

控应用中。因此,本文将可见光通信应用于电磁敏感环境下,对该场景进行有效的光源布局及收发链路的合理设计来实现电磁敏感环境下的可见光智能照明及环境监控功能。

1 可见光环境监测建模

图1所示为电磁敏感场景下可见光智慧照明及环境监测系统模型。本系统由发送端、接收端、远程监控端组成,其中发光二极管(light-emitting diode, LED)阵列实现室内照明兼可见光传输的功能,系统下行链路由发射端模块和接收端模块2组成、上行链路由发射端模块2和接收端模块1组成、检测平台为个人计算机(personal computer, PC)端的上位机。

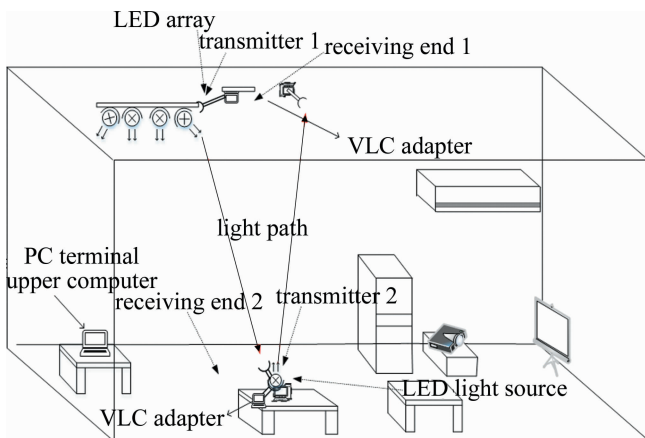


Fig. 1 Indoor environment model

在室内采用LED灯进行数据双向收发传输,系统上行链路和下行链路都为可见光通信、上下链路均采用二进制开关键控(on-off keying, OOK)调制方式^[6],将可见光硬件收发平台与室内环境监测相结合,从而实现了一套电磁敏感场景可见光智慧照明及环境监测系统并实现对室内环境的调控。因此,本系统涉及到光源布局、上下行链路的电路设计以及系统信号帧结构的设计。

2 室内光照度分布

由于在可见光通信系统中,光源LED需要同时实现照明和通信的双重功能,而单个LED的发光强度比较小,不能满足照明的需求,因此需根据房间尺寸、结构和内部布局的不同,对光源进行合理布局,以确保室内照度的均匀性和通信的可靠性^[7]。

为了方便后期进行实验验证,本文中以如图2所示的 $0.5\text{m} \times 0.5\text{m} \times 0.3\text{m}$ 的立体空间作为房间模型,以房间的一角为坐标的原点建立3维直角坐标系,光

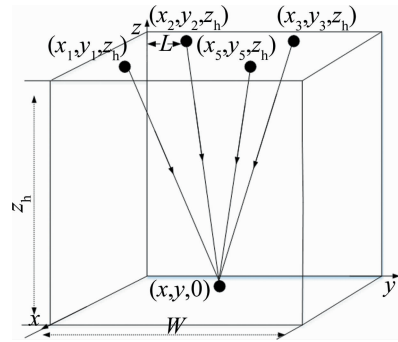


Fig. 2 Schematic diagram of light source layout

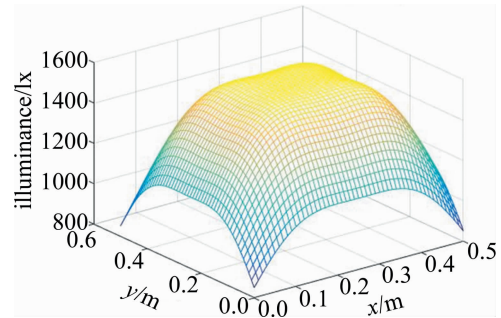


Fig. 3 Indoor illumination distribution when $L = 0.1\text{m}$

源位于空间顶部,终端设备位于地面上,其坐标为 $(x, y, 0)$ 。为了使照度达到国际照明标准^[8],本文中采用四阵列对称分布的布局方式,如图2所示,根据LED的发光原理^[9-11],通过合理调整LED灯距边缘的距离 L 可改变室内光照度分布,计算得出当 $L = 0.1\text{m}$ 时室内照明布局最优,如图3所示,每一点光照度都分布在 $300\text{lx} \sim 1500\text{lx}$ 之间满足国际化室内照明标准。

3 上下行链路模型及信号帧结构

3.1 下行链路

系统的下行链路如图4所示。包括型号为STM32F103RCT6的高级精简指令集计算机(advanced RISC machine, ARM)处理器来采集室内的环境参量,以温度、湿度、气压作为数据节点,完成对室内环境参量进行实时采集,然后通过ARM处理器的串口将采集的数据信息按照定义好的数据帧格式加载到VLC发送模块上来驱动白光LED,实现电-光转换。光载波携带信息通过大气到达接收端,在接收端通过VLC接收模块将子节点发送的数据恢复出来,加载到中心节点接收端2的串口上,中心节点接收到数据后进行解析并按照所需要的数据帧格式通过其串口发送给PC端的上位机,PC接收到中心节点发送的数据后将数据解析出来并显示在C#界面上,同时将数据存储在MySQL

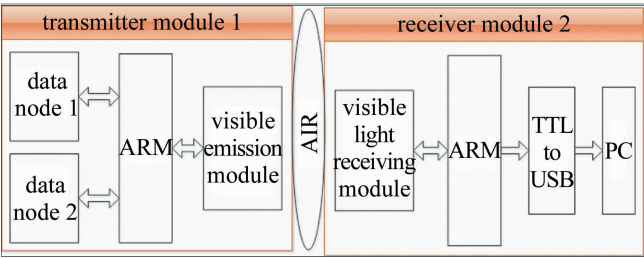


Fig. 4 System downlink

数据库中^[12]。
3.2 上行链路

系统的上行链路如图 5 所示。采用同样的 ARM 处理器,将下行链路的信息进行接收及反馈,通过发射反馈信息驱动白光 LED,实现电光转换到达接收端,在接收端通过 VLC 接收模块将数据恢复出来并通过 ARM 处理器控制家居实现室内环境调控。

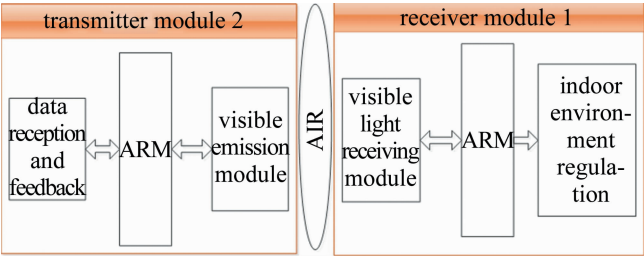


Fig. 5 System uplink

3.3 光收发端模块设计与电路

光发射端模块是将数据节点采集到的数据通过 ARM 处理器加载到 LED 光源上实现电信号到光信号的转换,光接收端模块的作用是将微弱的光信号探测到并还原初始的数据信息。

图 6 为系统电路处理模型。LED 驱动电路如图 7 所示。三极管作为饱和开关,通过晶体三极管的导通和截止来实现控制 LED 的亮灭的功能。前置放大电路如图 8 所示,其作用是对光电探测器输出的微弱电流信号进行放大并将其转化为电压信号^[13]。虽然前置放大器能够实现电流到电压的转换,也具有一定的放大的能力,但是其输出的电压并不能满足判决器的判决电平要求,所以还需要设计主放大器,主放大电路如图 9 所示。

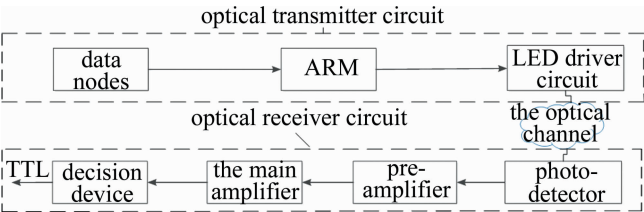


Fig. 6 Processing model of system circuit

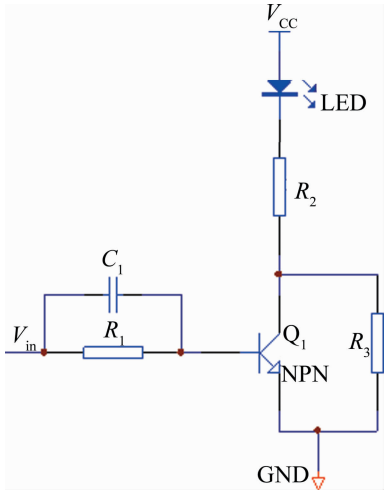


Fig. 7 LED drive circuit

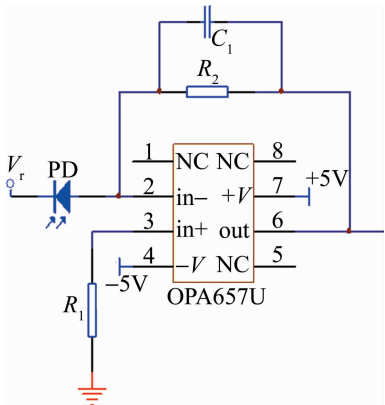


Fig. 8 Preamplifier circuit

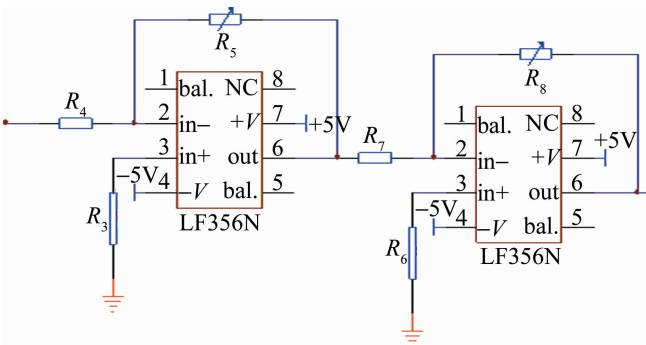


Fig. 9 Main amplifier circuit

3.4 信号帧结构

由于在室内采用照明 LED 灯进行数据双向收发传输,因此为了提高数据的准确性与稳定性,需要设计它们各自发送的数据帧格式,子节点采用的数据帧格式都是以字符“@”开始以“MYM”结束,中心节点采用的数据帧格式都是以字符“#”开始以“&”结束,中间为数据信息,所以子节点与中心节点帧格式分别如图 10、图 11 所示。

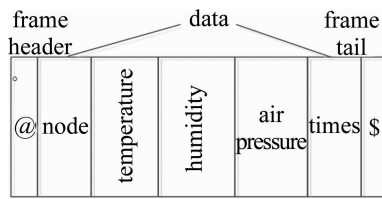


Fig. 10 Child nodes

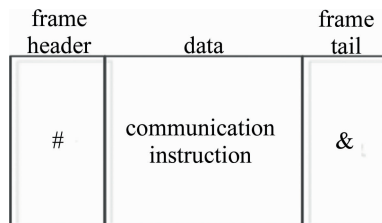


Fig. 11 Center node

子节点采用的数据帧格式为: @ + 节点号 + 温度数据 + 湿度数据 + 气压数据 + 时间 + MYM, 其中第 1 个字节为数据开始符“@”, 第 2 个字节为节点号, 第 3 个~第 5 个字节为温度数据, 第 6 个~第 7 个字节为湿度数据, 第 8 个~第 12 个字节为气压数据, 第 13 个~第 26 个字节为时间数据, 第 28 个字节为结束符“\$”。中心节点采用的帧格式为: # + 通信指令 + &, 其帧头和帧尾分别用字符“#”和“&”表示。

4 系统的实验验证

4.1 系统实物搭建

为了验证本系统的实用性, 本文中以 PVC 发泡板作为材料搭建 $0.5\text{ m} \times 0.5\text{ m} \times 0.3\text{ m}$ 的立体空间作为房间模型, 系统的实验参量如表 1 所示。

Table 1 Experimental parameters of system

name	parameter value
environmental parameters	location 508, 5th floor, Xi'an University of Technology, temperature 23°C , environment no shading was used
model size (length, width, height)	$0.5\text{ m} \times 0.5\text{ m} \times 0.3\text{ m}$
the power of the LED	3W
photodetector	photosensitive area: $3.5\text{ mm} \times 3.5\text{ mm}$, response wavelength λ : $400\text{ nm} \sim 1100\text{ nm}$
L	0.1m

本系统主要包括两个光发射端模块和光接收端模块, 光发射端模块 1 主要由温湿度传感器、气压传感器、STM32 以及 LED 调制驱动电路组成; 光接收端模块 1 主要由光电探测器和前置放大器以及主放大器和判决器组成。下行链路将温湿度传感器模块, 气压传感器模块采集的数据通过 STM32 加载到白光 LED 驱动电路上, 实现光源 LED 的 OOK 调制, 通过 LED 的高

频闪烁从而实现信号由电信号到光信号的转换^[14]。光信号经过大气到达接收端后, 通过接收端 2 探测到光信号, 将光信号转换成电流信号, 实现信号由光信号到电信号的转换, 然后经过前置放大器、主放大器和判决器等一系列后续信号处理电路后, 经 TTL 转 USB 后实现原始信号的恢复^[15], 最终将通信的信息显示到上位机界面上, 光发射端模块 2 主要由 STM32 以及 LED 驱动调制电路组成, 光接收端模块 2 与光接收端模块 1 相同, 上行链路将上位机界面获取的数据通过 STM32 加载到白光 LED 驱动电路的光发射端 2 上通过接收端 1 探测到光信号, 将光信号转换为电信号, 然后经过前置放大器、主放大器和判决器处理后由上行链路的 STM32 接收, 实现数据的实时反馈从而控制各电机开关从而实现对室内环境的自动调节功能。可见光环境监测实物系统如图 12 所示, 该系统实现了基于可见光的无线数据传输的两个终端之间的双工通信。

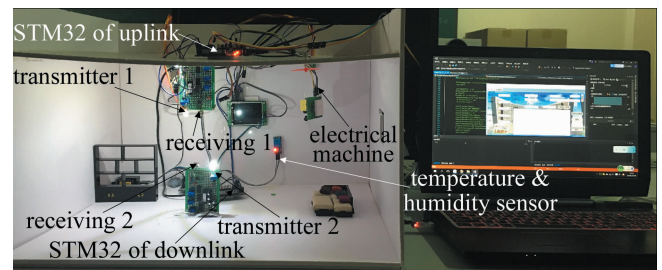


Fig. 12 Physical drawing of system construction

4.2 可视化数据平台

为了体现本系统的可实用性, 本文中设计了上位机可视化界面, 如图 13 所示。系统可进行温度、湿度、气压等参量配置, 可实现数据的实时采集与显示, 并通过数据库实现信息的存储及历史数据回调分析。结合软硬件完成了基于可见光室内环境参量的实时无线数据传输、显示与储存, 实现电磁敏感环境下的可见光智能照明及环境监控功能。



Fig. 13 Upper computer interface based on C#

为了充分利用本系统的数据库功能, 建立了如图 14 所示的离线分析功能。可以看出, 本系统既可以实现环境参量的实时调控, 也可以实现历史数据的离线分析, 可有效地应用于电磁敏感环境的数据采集传输及分析系统中。

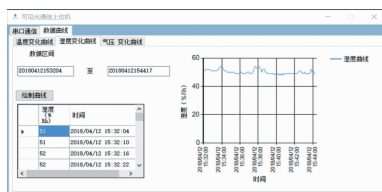


Fig. 14 Database query and drawing interface

5 结论

对在室内电磁敏感环境下可见光通信系统进行研究,介绍了可见光通信的优点,阐述了可见光环境监测模型,设计了系统的总框架,论述了室内可见光通信链接方式,在照明与通信结合的前提下,采用了一种室内LED照明分布光源布局的方案,通过MATLAB软件进行仿真,得出仿真结果,验证了方法的可行性。设计了一套在电磁敏感环境下室内照明LED灯进行数据双向收发传输系统,对系统进行实物的搭建。并将接收到的室内环境数据通过PC端显示在C#界面上,同时将数据存储在数据库中。并对数据库进行搭建,完成了实时数据显示和历史数据的调用以及一段时间室内的环境曲线图绘制的功能。实验结果表明,在一定的通信范围内,系统能较好的传输室内环境数据,具备一定的抗电磁敏感环境及光噪声的能力。

参考文献

- [1] DING D Q, KE X Zh. Visible light communication and its key technologies [J]. Semiconductor Optoelectronics, 2006, 27(2): 114-117 (in Chinese).
- [2] LIU H Zh, LU X X, WANG F Q, *et al.* Current situation and development of visible optical communication for white LED lighting [J]. Optical Communication Technology, 2009, 33(7): 56-59 (in Chinese).
- [3] ARNON S. Visible light communication[M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2015: 55-61.
- [4] CHI N, LU X Y, WANG C, *et al.* High-speed visible optical communication based on LED[J]. Chinese Journal of Lasers, 2017, 44(3): 030001 (in Chinese).
- [5] WU S, WANG H, YOUN C H. Visible light communication for 5G wireless networking system: From fixed to mobile communications [J]. IEEE Network, 2014, 28(6): 41-45.
- [6] GAO Y, KE X Zh. Multidimensional coding in visible optical communication [J]. Chinese Journal of Lasers, 2015, 42(2): 0205001 (in Chinese).
- [7] ZHAO L, PENG K. Optimization of indoor visible light communication light source layout based on white light emitting diode [J]. Acta Optica Sinica, 2017, 37(7): 0706001 (in Chinese).
- [8] DING J P, HUANG Zh T, JI Y F. Evolutionary algorithm based uniform received power & illumination rendering for indoor visible light communication [J]. Journal of the Optical Society of America, 2012, A29(6): 971-979.
- [9] YUAN Q. International commission on illumination lighting standards—indoor workplace lighting [J]. Lighting Engineering, 2002, 19(4): 55-60 (in Chinese).
- [10] DING D Q, KE X Zh. A new indoor VLC channel model based on reflection [J]. Optoelectronics Letters, 2010, 6(4): 295-298.
- [11] DING D Q, KE X Zh. Study on mathematical luminescence model of a universal white LED [J]. Acta Optica Sinica, 2010, 30(9): 2536-2540 (in Chinese).
- [12] MAO Ch G, ZHANG L B, ZHENG W L, *et al.* Research on the application of MySQL database in online monitoring system [J]. Electronic World, 2012, 18(4): 10-11 (in Chinese).
- [13] GAO K, SUN J H. Research on preamplifier circuit of photodetector [J]. Microcomputer and Application, 2011, 30(18): 86-88 (in Chinese).
- [14] WANG Y, TAO L, CHI N. High speed WDM VLC system based on multi-band cap64 with weighted pre-equalization and modified CM-MA based post-equalization [J]. Communications Letters, 2014, 18(10): 1719-1722.
- [15] ZHAO L, PENG K. Design and implementation of indoor duplex short-distance real-time VLC system [J]. Laser Journal, 2017, 38(6): 112-115 (in Chinese).