

室内可见光通信系统的信号稳定性研究

王逸飞 刘美仪 程祥 高宇星 杨鑫茹
西藏民族大学, 陕西 咸阳 712082

[摘要]白光 LED 由于高明亮、高稳定性、能量耗费较少, 以及寿命长等特性将取代传统灯光作为下世代最理想的照亮灯光, 而可见光通信技术就是在白光 LED 飞跃型发展的基础上所出现的一个全新的中短距离无线通信技术, 其基本原理就是用 LED 所产生的高速的明暗闪烁的光线来传送讯息。这样便可以让 LED 同时起到照明和通信的双重作用, 使人们在享用照明的同时可以完成各种信息之间的交换。可见光通信是一个新兴的短距离无线通信已经在户外和室内取得了部分应用, 并具有重要的应用价值和巨大的前景。

[关键词]室内可见光; 通讯系统; 信号稳定

DOI: 10.33142/sca.v5i4.6690

中图分类号: TN929.1

文献标识码: A

Study on Signal Stability of Indoor Visible Light Communication System

WANG Yifei, LIU Meiyi, CHENG Xiang, GAO Yuxing, YANG Xinru
Xizang Minzu University, Xianyang, Shaanxi, 712082, China

Abstract: Due to its high brightness, high stability, low energy consumption and long service life, white LED will replace traditional light as the most ideal lighting for the next generation. Visible light communication technology is a new medium and short-range wireless communication technology based on the rapid development of white LED. Its basic principle is to use the high-speed light generated by LED to transmit messages. In this way, LED can play the dual role of lighting and communication, so that people can complete the exchange of various information while enjoying lighting. Visible light communication is a new short-range wireless communication, which has been partially applied outdoors and indoors, and has important application value and great prospects.

Keywords: indoor visible light; communication system; signal stability

引言

目前,可见光通信技术还面临着几个问题有待于破解,主要是技术上受限于 LED 调制宽度,而无法达到超高的频谱速度传输。在室内可见光信道建模方面缺乏针对性且基础性的研究。可见光通信技术,是指由于白光 LED 光照方法的开发而出现的无线光通信方法,可包括室内外可见光通信和户外二大类。由于白光 LED 拥有的功率低、生命周期长、体积小、健康环境等优势,被认定终将替代荧光灯、白炽灯等传统的灯具。与传统的灯具比较,白光 LED 拥有反应时间极短、拥有高速度控制的特点。设想采用了白光 LED 的室内外可视光控制系统和计算机网络,将可以达到光照与通信的双重功能。但目前,可见光通信系统大都处在试验阶段,尽管整个控制系统设计已经完成,但与可见光通信的实际尚有相当的距离,控制系统的各项特性仍需进一步优化。

1 室内可见光通讯系统发展概述

室内可见光通信的最基本方式,就是把互联网信息技术嵌入到白光的 LED 灯具当中。白光 LED 在替代了目前的传统照明灯具(如:日光灯,荧光灯)以后,可以通过家庭电力线等装置连接高速网络。就这样使用了专门的、可以接收信息的计算机,通过 PDA 加上其它信息终端,人们

只要在照明系统所能照射到的区域内,就能够长时间的上传和下载清晰图像、动画、广播消息等数据,且相互之间不会发生干扰,因此这种光无线接入方式是一种较理想的无线接入方式^[1]。

2010 年上海世博会上,中科院上海半导体研究所在“沪上生态家”展厅中首次展现了基于 LED 灯具的互联网连接,以及对多种电器的光学与无线控制。下班回来之前,主人就可使用手机或远程互联网给室内的 LED 指示灯发送工作指令,返回家中后就能够获得空调里已经调节好的舒适气温,或在音乐声中享受微波炉里已经提早准备的菜肴,这也就是室内可见光通信系统所带来的智能世界^[2]。

室内可见光通讯系统也可使用在航空舱内的照明通讯设备。根据半导体研究所公布的一份调查报告,83%的乘客认为空中互联网的应用将会影响他们对于未来旅行计划和航空公司的选择,公务乘客中 93%的人希望在飞机上能够收发邮件,94%的人希望能够方便接听电话,同时,照明阅读也是乘客在飞行途中的基本需求之一。室内的可见光通信系统如果运用在客机舱内,这种照明系统也将能够直接向旅客通过手持的电子显示装置(如 PDA、电脑等)传输大量的电视及娱乐节目。这样既降低了有线电视网络的成本和重量,也不至于影响正常的客机导航系统,一举

多得^[3]。

以下为近几年来中国国内有关可见光通讯系统的总体开发情况与研究进展:

2014年, Takakuni 等对采用白光 LED 灯光台的整体通讯网络系统开展了初次试验研究, 该网络系统使用桌面 LED 照明台灯向使用者进行播报消息, 构造简易, 但系统通信间距较短, 数据传输速率较低。

2016年, 暨南高校的学生陈长缨、胡国永四人等毕业设计了使用白光的 LED 照明光源作为室内外无线通信, 设计并完成了近距离 (0.2 m)、点对点的白光或 LED 通讯系统等。该技术有效实现了在 10 MHz 的速率下, 对 FM 信息的准确传送。

2018年, 暨南大学的陈长缨课题组在前期工作的基础上, 通过使用白光或 LED 阵列光源克服了前期系统的通讯距离较短、无法满足光照需求等问题, 研发并完成了实用照明的室内可见光照明通讯系统。该系统已成功实现了 4 Mbit 宽带的数码视频信号可以通过可见光实现传送, 通信传递距离也达到了 2.5 m。

2 提高室内可见光通信系统性能的相关技术

2.1 阵列光源的布局设计

在 VLC 控制系统中, 灯光的布置是影响整个控制系统效能的一个关键因素。因此灯光布置必须兼顾两个方面, 一是构成白光或 LED 阵列灯光的内部 LED 灯具的排布; 二是室内外 LED 的总体布置 (个数及室内分布)。利用二个方向的布局能够使室内外光分布同样适应采光与通信的要求。

当设置照度兼通信的室内外灯光系统时, 为满足灯光场所国际标准的亮度分配条件, 将 LED 灯具最终设置为白光 LED 的阵列类型。而构成每个 LED 阵列所需要的白光 LED 的总体数量将决定于 LED 间距的多少, 以及间距的取值范围, 并平衡了中心区域光强大小和所需要的 LED 数量。LED 的布置, 必须充分考虑接收面的光照条件和光强情况。同样 LED 的数量与布置也要经过合理设计, 在满足室内照明要求的时候也要充分考虑码间串扰 (ISI) 的因素^[4]。

在室内 VLC 网络中, 要使通讯目标达到最佳, 要依据建筑物的高低和室内建筑, 使室内同一水平面上分布的光能量差别很小, 尽量避免通讯盲点的存在。因为行人、设备等的遮蔽, 会使接收机面上产生“阴影”, 干扰通讯性能。就灯具而言, 室内布置的灯具越多, 能够减少“阴影”效果, 同时吸收能力大大提高, 而多个不同的光通路则导致 ISI 更大。所以, 合理安排 LED 阵列灯具的布置十分重要。

2.2 驱动电路优化设计

调制宽度是测量 LED 的调制能力时的主要技术参数, 是 LED 作为无线光通信的关键技术参数之中, 它直接关系着 LED 的数据传输速率高低。

LED 的调节宽度一般是受有源传感器区少数载流子

复合寿命和 PN 结构电容的直接因素。在白光 LED 生产技术中, 为了降低载流子的重复寿命数和降低寄生电容, 人们还应该选择拥有较大的潜在调节宽度的多器件类型白光 LED。另外, 通过对外部驱动线路的改善设计也是增加 LED 调制能力的另一个途径。充分考虑到控制系统操作、噪音因素、温漂、光能量补偿等, 即可应用数字视频信源码流传输的白光 LED 高速调节驱动电路设计方法。晶体管 BG 一和 BG 二构成集电极耦合型开关, 而 BG 三则与高稳压二极管 Dz 构成恒流源回路, 并为 LED 支路供给了一定的启动电压。

2.3 均衡技术

国外的研发人员也通过在白光或 LED 传输技术中采用均衡方式, 来增加光芯片的调制带宽。由 16 个 LED 为主要来源, 并且通过十六组略有差别的调谐控制回路, 使各个 LED 都具有了截然不同的尖峰时间。所有 LED 的前置均衡电路, 都由一条缓存器、谐振电路、谐振电容、谐振电感和直流源等构成 (将生成的直流信号重叠到原始信息上)。经过试验证实, 通过平衡技术可以使 LED 的调制带宽由 3 MHz 增加到了 25 MHz, 同时也适当地减小了系统的误码率。在发射端也引入了平衡技术, 在试验中接受端的平衡方案由一种简易的一阶模拟平衡器所组成。最后的实验测试结果表明, 在收发二端都引入了平衡设计之后, 系统将能够在维持十级误码率的同时提供达到 75 Mb/s 的传输速度。而假如适当提高了均衡方案的设计复杂度, 则能够更加优化系统功能。而其中的另一个设计方案结果则说明, 在一个中等规模的空间里通信的速度将有能力超过 100 Mb/s。

2.4 正交频分复用技术

早在 2001 年, 日本庆应大学中川研究所教授就指出, 为了进一步提高传送的数据速率, 在 VLC 中引进了正交频分复用 (OFDM) 调制方法的重要性。OFDM 技术的基础就是把高速度串行数据转换成多路比较低速的并联数字, 并对各种类型的载波加以调节。因为 OFDM 方法拥有强大的抗多径性能, 已在高速无线通信中获得了应用。但对于无线网络光通信系统而言, 多径传输性能是引入 ISI 的主要因素, 也影响着通信速率。在采用白光 LED 的 VLC 系统中, 有可能通过 OFDM 方法降低 ISI^[5]。

国外研究人员已经提出了几个使用 OFDM 方法来实现可见光与无线音频通讯的方法。当中一种方法由如下几个方面构成: 电力线调制器、白光和 LED 灯光阵列以及 OFDM 的解调器零 1 等。在发送端, 通过对信源电信号采用 OFDM 解码, 并利用一直流偏置对 LED 灯光调控。在接受端, 通过将已接收到的经过 OFDM 调节的声光信息加以解调。提取在发送端已被插入的导频系统信息, 从而可以对信道状况作出信息评价与改进。在热成像的 OFDM 系统中, 一方面可以将串联型的高速数据并行地调节到几个正交设计

的子载波上,大大降低了编码速度,从而大大降低了对 ISI 的负面影响为零。另外通过在各种 OFDM 符号中间加入保护间隙,可以更进一步缩小残余的 ISI。根据相关信息证实,OFDM 调制在相当程度上提高了白光 LED 通讯系统的冗余性,而仿真试验也证明了能够使误码率保持在较低水平^[6]。

2.5 信道编码技术

暨南大学陈长缨、赵俊给出了一个广泛应用于 LED 数字传送中的 mBnB 分组解码技术手段。分组码是通信领域使用极广的一项解码技术手段。普遍来讲,分组码是指将原有信息码字按 m 比特为单元加以分类,按照特定规律用其他每组为 n 比特的码字来代替,而后这种新的分类以 NRZ 码或 RZ 码的格式来传递。m 和 n 均为正整数,且 $n > m$, 但常常会有 $n = m + 1$ 。常见的有 1B2B (曼彻斯特码)、3B4B、5B6B、6B8B 等。mBnB 编码的主要好处有: ①功率谱形式较好; ②连 0, 但连 1 数量限制, 而且不会基线偏移问题; ③实现了更安全可靠的误码监测和字同步等技术手段。

试验结果表明,以 6B8B 编号的光信号,在通讯间距 $r = 0.5\text{m} \sim 2.5\text{m}$ 区域内,受 LED 的个数、电流大小和串口模块分频的负面影响较小。使用 6B8B 编码技术,在保证系统高速度传输数据的时候,信息传播距离达到 2.5 m。目前该课题组正寻求一个比较适于与白光或 LED 通讯的 mBnB 分组编码方式,以提高系统通讯效率。

2.6 分集接收技术

这种采用分集方式的光接收机技术,能够用于克服码的干扰和阴影的干扰”。点集连接的方法是在接收器的各个方位上放置几个光电传感器,通过几个传感器接受来的信息加以对比,选择信噪比最高的位置实现通信。

分集接收控制电路的产品设计可以根据通信传输速率的大小,分为以下两种。当通信传输速率还没有很高时(通常小于 10 OM 时),如果采用较低传输速率的分集接收设备,也就是单纯地将几个信道予以叠加,可以总体上增加了接受信息的能力。当传输速度大于 100 m 时,由于受到码间串扰的严重危害,就无法再将信息予以叠加,因此需要设计专门的监控集成电路对信道加以自主判断与选取,高速度分集接受设备。在高速通信中,峰值信噪比最大的方位通常是直射链路的方位。此时,就应该选取最靠近直射链路的方位为最好的方位。在接收器的各个方位上放置的几个光电检测器均匀分布在一个零点五球上面,这在减小检测器数量的同时也增强了收集效率。只要没有一个接收器被挡住,通讯就没有中断。至于检测器的数量和布局,必须根据具体环境和通讯技术要求确定。

3 可见光通信应用的展望

凡是可以利用 LED 进行照明和指示的装置,加上通信

的功能就可以派生出新应用:在博物馆、展览等场所里,参观者们只要持有适当的信息接收装置(如手机),就能够随时收到通过添加了信号功能的 LED 灯传送的文本、音频、图片等,从而让信息讲解变得更加生动有趣。此工艺也运用在部分小产品如手电筒、玩具、礼物等的 LED 上,如电子钱包手机、入场券上的 LED 请柬、相互打招呼的玩具等。

大屏幕 LED 显示的 LED 交通指示灯,作为即时资讯下载工具,人们通过手机对准就可以下载显示屏上的显示信息:商家信息、股市行情、即时交通资讯等。

在白光 LED 灯具未来重要的应用领域——车用灯具方面,构建了车用大功率 LED 前照灯具的信息传送体系。将车牌号、速度、载重量等各种数据自动瞬时地传送到各种道路监控装置,从而实现了自动缴费、车量记录、测速等,以解决目前在智能交通 ITS 中较为头疼的车载数据收集难题。同时 LED 尾灯还能为后车实时传输路况、刹车速度等数据,从而减少事故的发生。

4 总结

通过白光与 LED 可见光通信的推广与应用提高了零点五导体灯具的附加值,并可以增强 LED 灯具对现有照明光源市场的竞争力。在通讯应用领域中,它已成为白光无线通信领域一种新的经济增长点。可见光通信系统具备了不浪费频率空间、发射功率较高、无处不在、无设备操作、节约能源等优势,有着巨大的前景。不过,要真正地做到内部超高速光无线数据通信,尚有不少挑战必须应对,如灯光的布置、调制解调和编解码技术、光无线通道的传输与复用技术、数码间问题的解决科技等,关键方面都必须进行优化。

[参考文献]

- [1] 闫冬. 集成可见光通信系统中关键技术的研究[J]. 天津大学, 2020(1): 32-33.
 - [2] 杨建朋. 室内可见光通信系统关键技术研究及探讨[J]. 中国新通信, 2018, 20(14): 1-2.
 - [3] 杨海平. 可见光通信技术专利布局研究[D]. 湖南: 湘潭大学, 2017.
 - [4] 党宇超等. "多 LED 照明节点的室内可见光定位方法研究." [J]. 光通信技术, 2020, 44(2): 1-5.
 - [5] 袁建国, 梁天宇, 何丽, 等. 光通信系统中交织型级联码性能的研究[J]. 半导体光电, 2010(2): 6-8.
 - [6] 王德刘, 傅仁利, 何洪, 宋秀峰, 沈源. 白光 LED 用光转换材料的研究与发展[J]. 材料导报, 2007(7): 20-22.
- 作者简介: 王逸飞, 刘美仪, 程祥, 高宇星, 杨鑫茹均为本科在读, 目前就读于西藏民族大学信息工程学院。