

LED照明智能化与可见光通信相关技术发展

林维明, 陈红星, 王雷雨

福州大学电气工程与自动化学院, 福州 350108

摘要: 正如“智能电网”发展方向与前景一样, LED照明智能化将成为新一代高效多功能的智能化照明发展方向。LED具有寿命长、可靠性高和光学特性优良等特点, 进一步发展其可靠安全的可见光无线通信技术(Visible Light Communication, VLC), 加上传感器技术、控制技术和驱动电路等, 赋予LED智能化, 将给LED电光源在通用照明领域带来极具竞争能力和照明革命。本文总结分析了LED照明智能化的发展, 主要介绍了可见光通信VLC相关技术发展, 指出LED照明智能化发展方向。

关键词: LED照明, 智能化, 可见光通信, 双功能驱动电路, BPL+VLC, 灯具设计

The Development of Visible Light Communication and its related technology in LED Intelligent Lighting

LIN Weiming, Chen Hongxing, Wang Leiyu

College of Electrical Engineering and Automation, Fuzhou University, Fuzhou 350108

Abstract: The new generation intelligent LED lighting will be the tendency of illumination engineering as intelligent power network. State-of-the-art LED based designs providing portability, longevity, energy savings, remote and automatic control features are nowadays becoming very attractive for home, office and public lighting applications. Furthermore, advanced LED research will led to remarkable engineering innovations, develop Visible Light Communication, include sensor technology, control strategy and novel drivers to realize intelligent LED illumination engineering which are set to capture the technology market by storm. This paper reviews the advent of this era of modern illumination engineering, with focus on intelligent LED technologies, special in development of Visible Light Communication and its related technologies.

Keywords: LED Lighting, Intelligent, VLC, Dual-purpose Driver, BPL+VLC, Lamp Design

1 引言

固态照明采用高亮度的发光二极管(Light Emitting Diodes, LED)作为通用照明电光源,与白炽灯、气体放电灯、荧光灯等电光源相比,具有耗电量少、寿命长、无污染、色彩丰富、耐震动、可控性强等特点,其应用领域广泛、产业带动性强、节能潜力大,被各国公认为最有发展前景的第四代照明电光源之一【1】【2】。而我国正在进入新一轮半导体照明产业高速增长期【3】,开展研究赋予LED“头脑”,使其智能化,将给LED电光源带来极具竞争能力和照明革命。

现有无线通信技术中,除了基于电磁波传输的传统射频通信外,还有基于光的无线通信,包括基于红外激光等

通信技术和基于可见光的通信技术。而半导体器件LED纳秒级高速调制能力,使得LED在照明同时进行通信成为可能,即为众所周知的自由空间光波传输的可见光通信(Visible Light Communication, VLC)【4】【5】。与传统的射频通信和其它可见光通信相比,LED可见光通信具有发射功率高、无电磁干扰、节约能源等优点。结合智能化照明领域开展VLC相关技术研究,将带来新的综合研究领域,该新型研究领域将为LED电光源在通用照明领域带来极具竞争能力和照明革命。

2 智能化照明

近十几年,用于家庭、公共场所和社区的智能化照明

已得到研究与应用 [6]。它主要着眼于节能和节约成本, 同时考虑安全、方便和生活风格的设计应用。智能化照明系统组成示意图如图 1 所示, 主要由智能手机或计算机接口, 电子控制单元微控制器, 无线通信部分, 诸如运动控制等外围设备, 日光或照明使能传感器, 以及用于驱动照明灯具的可控开关。智能照明系统将根据外围传感器反馈信号或通过接口的用户指令改变或者开关照明。控制电路微型化和嵌入照明灯具中, 可以单独控制也可以与其它控制器协调控制。像 Google, Phillips 等公司目前正在设计此类照明自动系统, 具有高效、调节和柔性设计来方便提供管理和故障诊断。这种智能化照明系统具有许多特点, 如遥控, 自适应调光, 均流, 精确光色混合和自动产生所需光景。采用合适的联网技术, 智能化系统可以设计成紧凑、低成本、用户自定义和多功能照明系统, 是一种可视的能量管理系统。

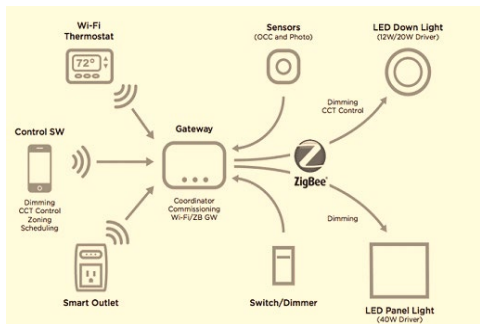


图 1 智能化照明系统组成示意图

由图 1 可以知道, 照明智能化系统主要组成包括: 通信技术、控制技术、传感器技术和驱动执行部分。LED 电光源具有寿命长、可靠性高和光学特性优良等特点, 如果研究发展赋予 LED “头脑”, 使其智能化, 通过发展基于 LED 照明的可见光无线通信技术及其相关智能化技术, 为这些 LED 照明灯开发信息传输、自适应照明和个性化舒适调光等多功能, 将优化能源效率、延长照明寿命, 并降低维护成本, 将给 LED 电光源在通用照明领域带来极具竞争能力和照明革命。

3 可见光通信技术

LED 照明的发展从红外到可见光光谱范围, 诞生被称为可见光通信新的领域研究。VLC 技术利用光在 380-720nm 波长范围提供了具有射频通信无法比拟的优点: 1、几乎超过 350T 赫兹无限的带宽; 2、没有受限的使用

光谱; 3、提供了可靠避免拦截和窃听的安全; 4、空间复用大幅度提高吞吐量; 5、避免了多径衰落的强度调制; 6、高亮度白光 LED 正在普及, 应用的成本不断降低; 7、结合采用电力线通信系统, 可以消除额外的数据线连接; 8、光信号不会引起电磁干扰 (EMI), 适合特定场所需求; 9、可见光合适强度不影响健康, 因此应用是安全的。

由于 LED 的优势引发可见光通信 VLC 研究与发展的吸引力, 将 LED 也应用于 VLC 的研究近年来已受到了特别的关注。VLC 技术思路首先是由香港大学庞教授等人在 1999 年提出 [7]。在智能交通系统 VLC 应用是首例, 将其 VLC 结合引入交通信息系统用于信息传输与广播 [8][9]。然而, 这个方法很快扩展到其他应用领域, 尤其是户内通信系统。VLC 取得了在照明和通信效率和易于维护结合的优良表现 [10]。关于白光 LED 的 VLC 系统, 具有高光效、环境兼容、可见光频带、优良功率效率 (节能) 和方便维护等优点 [11], 现有主要研究聚焦于增强调制能力和实现商用白光 LED 的长距离数据传输。

除了照明和室内无线接入点, VLC 也进行了其他应用的研究: 如交通信号和交通系统中危险警示。利用越来越多的使用 LED 广告牌, 标志等来给附近的手持设备提供信息系统。一家英国公司 PureVLC, 最近开发应用智能手机和笔记本电脑的光通讯和 VLC 的高清视频传输 [12]。为了缓解日益严重的环境问题, 许多发达国家正在普及智能住宅和智能照明。智能的住宅, 除了是零碳排放, 还具有几个自助的能力, 最流行的是辅助老年人的生活。这种智能房屋已在日本, 韩国, 欧洲, 美国, 澳大利亚和新西兰实现。VLC 通过实现快捷高速通信而在这些智能住宅的发展中发挥了重要作用。

2003 年十一月, 可见光通信协会 (VLCC) 成立于日本, 在日本工业组织成员主要包括东芝, NEC, 索尼, 松下, NTT DoCoMo。一直到 2008 年, 美国和欧洲开始聚焦于这一技术研究项目。欧盟大量投资于家庭 G 兆接入项目 (OMEGA), 寻求发展全球标准家庭网络, 包括使用无线光通信如红外和 VLC 技术。2009 年, IEEE 征求对 IEEE 802.15.7 VLC 协议的意见建议, 并举行第一次会议。到目前为止, IEEE 802.15.7 关于 VLC 标准是这一领域的权威指导文件。作为 Wi-Fi 的补充, 2011 年 Li-Fi 协会在挪威奥斯陆成立 [14]。通过不懈研究努力在包括多输入多输出系统和集成电力线通信 (PLC) 等方面取得喜人的成果 [8][11][15]。但现有主要研究成果重点专注于 VLC 通信, 而忽视其它方面。

VLC 可以利用电力线用于基础设施无需额外建立的主

要基于通信或照明的框架。LED 可以通过数据符号调制电力线本身用于照明的。这种方法尤其适用于室内广播和互联网接入的一种补充或在更高的安全性要求场合代替 Wi-Fi。这种方法具有阻抗匹配,可以得到高达 1Gbit/s 的数据速率^[16]。2002 小峰和中川设计的 PLC/VLC 系统,可以实现数据速率 100 kbps^[17]。PLC/VLC 样机系统^[18],在具备 VLC 的电力线调制解调器实现一系列简单文本字符串通过 LED 可见光通信完成数据发送与接收。在 VLC 利用该技术将减少布线的复杂性和提高功率效率。

VLC 充分利用 LED 和驱动电路的发展来实现数据速率提高。一个简单的 VLC 系统结构如图 2 所示。

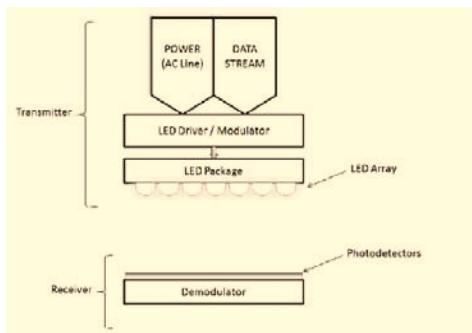


图 2 可见光通信系统示意图

它对应于带附加光驱动的传统无线通信系统,这个光驱动可以实现电光和光电转换的功能。接收电路采用光电二极管和发送电路采用照明 LED 灯(带有驱动和调制电路)作为源。实际上,数据发射器是一个 LED 灯阵列,通常安装在房间的天花板如图 3 所示,接收器是一个 VLC 使用设备 - 带有光电二极管的笔记本电脑或一个智能手机。通常,接收器使用直接检测 (DD) 接受入射传输。接收器对应一个固定视角区域 (FOV),它覆盖区域于数据检测能力范围内。这角度设置基于信道建模。



图 3 VLC 智能照明例

4 数据调制技术与调光

调制是任何通信系统的重要组成部分。然而,对于可见光通信更为关键和具有挑战,因为数据信号调制直接影响照明质量。因此,需要考虑通信与照明两方面的约束设计并对光通信网进行优化设计。到目前为止,IEEE 802.15.7 是现有可见光通信调制的标准。

LED 灯大多用强度调制,主要是由于 VLC 不像射频那样,没有借助于空间相关天线的支持。一个实际的 VLC 系统应该允许 LED 照明调光,即使当照明不需要时也仍然能够无误的通信。LED 的导通电流正比于亮度,可以通过控制电流进行调光。下面是几个典型调制方法:

1) OOK- 开关键控 (ON-OFF Keying)

该调制方式中,使用编码后的二进制信息“0”和“1”去控制 LED 驱动电路的通断,使 LED 灯发出明暗两种状态的光脉冲,这是调制光信号最基本的方式,只要令 LED 光源高速的闪烁即可。OOK 调制方式易于实现,但光信号在空气中传输存在噪声干扰和多径发散传输现象,对该调制方式造成不利影响,容易使接收端的灵敏度变差,所以这种调制方式抗干扰的性能不好。

2) CSK- 色移键控调制 (Color shift keying)

CSK 的调制系统如图 4 所示:

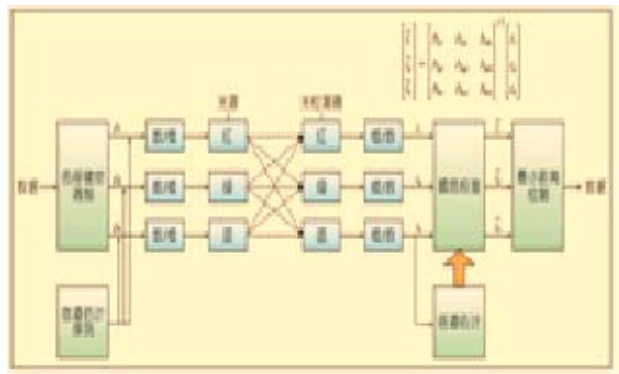


图 4 CSK 调制系统

要保证通信数据在传输过程中的准确性,则一定要是 LED 灯的光强保持稳定。因此三种颜色的 LED 灯的功率要满足

$$P = P_r + P_g + P_b \quad (1)$$

其中, P_r, P_g, P_b 分别表示红色、绿色和蓝色 LED 灯的功率, P 为 LED 灯的总平均发射功率。

3) 脉冲位置调制 (PPM): 大多数调制方案使用通断键控编码二进制 1 和 0 被编码为载体的内容 (LED 通或断), 这意味着不断开通和关断。幸运的是这闪烁太迅速了, 人类的眼睛无法辨别。当开关频率较低时, 会出现暗的时段。PPM 是一个更好的方法来解决闪烁的问题。在多状态 PPM, 调制信号编码每个插槽包含一个独特的位组合为每一个符号。改进的 PPM 技术称为可调 PPM(VPM)。VPM 的脉冲宽度不同符号是不一样的, 可以调整延长或缩短暗与亮的时长, 因此可增加或减少亮度。

4) 脉冲范围调制 (PSM): 另一个脉冲调制技术, 称为脉冲范围调制 (PSM), 如文 [20] 中描述。在 PSM 调制信号改变脉冲的前沿的斜坡, 但在载波振幅和频率保持不变。例如, 一个二进制 0 脉冲将有正向的斜坡前沿, 二进制 1 负斜率下降。这种方法通过控制的上升时间和下降时间在有效调光可能是有用的。采用 PSM 的另一个好处容易插入脉冲抑制闪烁。

5) 脉冲宽度调制 (PWM): 加西亚等人提出 PWM 调制, 可用于控制 LED 的光输出。使用这个方法, 几乎 LED 的发光强度与温度是线性变化 [21]。另一个有效的调光方法是使用多路 PWM(MPWM)。在这种方法中, 使用多个 HBLEDs, 每一阵列的 HBLED 平均电流通过脉冲宽度调制 [22]。最新仿真研究表明, 使用多路径的脉冲位置调制方法比之前用的 OOK 技术可以达到一个更高的频谱效率。

近年来, 可见光通信调制方法还在多路复用技术、多入多出技术 (MIMO)、光束方向控制、上行链路等方面研究得到发展。

5 LED 可见光通信相关技术发展

LED 照明智能化是 LED 新一轮高速增长的创新点和发展方向, 而可见光通信又是智能化重要组成部分。可见光通信技术研究近年来已有超过 100 项专利和 350 多个新的专利申请。但是现有 VLC 技术几乎没有涉及照明要求。这清楚地表明, 深入研究以满足通信照明两方面的要求在很大程度上被忽视, 需要更进一步的开展相关研究。

(1) 发展通信与照明双功能驱动电路

近几年, 出现了一些综合考虑照明与通信两方面 LED 驱动电路的研究: 文【5】【22】提出了下一代兼顾通信需求和照明调光需求的新一代 LED 驱动电路概念。ShuZe Zhao 等学者提出一种基于 LLC 谐振电路实现的

照明与通信 LED 驱动电路【23】, 但是照明调光频率是 200Hz-2kHz, 存在音频噪声; 采用单一 VPPM 调制方式和 FPGA 控制电路, 注重通信特性而未分析照明光学特性; A.Mirvakili 和 V.J. Koomson 等学者从集成电路设计角度提出一种兼容照明调光控制和通信数据传输的 LED 驱动电路【24】, 但是功率较小 (电流小于 100 毫安), 调光频率小于 20 千赫芝, 同时照明控制模拟电路与通信数字调制电路是分开独立的, 电路为非隔离且效率低; K.Modeballi 和 Leila Parsa 等学者在 2014 年 IEEE APEC 会议和 2015 年 IEEE IA 期刊上发表兼顾照明与通信两方面的 LED 驱动电路【25】【26】如图 5 所示: 但是研究采用单一 VPPM 调制方式, 高频调制光效较差; 没有融合照明调光与通信数据调制策略; 控制电路属于分立式; 数据传输速率为 2Mbps 有待提高; 电路效率有待提高; 照明其它光学特性如光效、频闪等并未深入研究分析。因此, 基于集成照明与通信集成控制, 考虑照明光效、高频调光、频闪和色温等照明舒适光学特性, 深入开展综合考虑照明与通信两方面需求与优化设计的新一代多功能 LED 智能驱动电路研究具有重要意义。

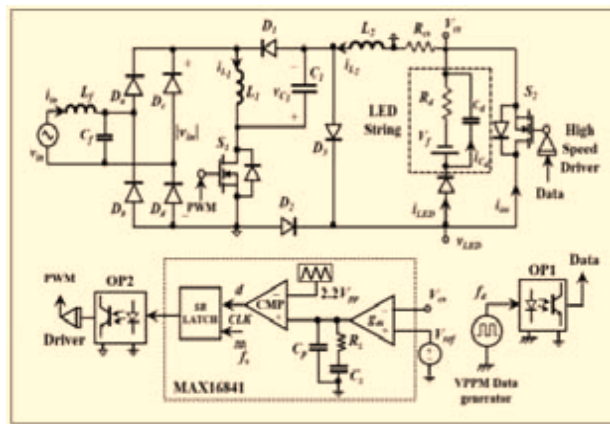


图 5 照明与通信双功能驱动电路

(2) 深度融合电力线通信与可见光通信

电力线通信 (Power Line Communication-PLC) 网络利用四通八达、遍布城乡, 并与用户直接相连的 220v/380v 低压电力线高速传输信息。拥有免除布线、覆盖范围广、连接方便的显著特点。与常规通信介质网络相比较, PLC 网络具有一个独特的优势: 即充分利用现有的低压电力线基础设施, 无需任何布线, 是一种“无线”

技术手段,可节约有线资源。由于LED通信系统的架设需要在建筑物内部重新铺设管道,因此,为了便利及节约成本,基于电力线宽带载波技术(BPL)上与VLC技术的创新融合是非常具有优势。经过多年科研人员研究努力在包括多输入多输出系统和融合电力线通信(BPL)等方面取得一系列的成果【27】【28】【29】。但是现有融合宽带电力线通信的VLC系统,通信调制与照明调光分开,两种通信的深度融合信道模型完善与优化也有待于深入研究。

(3) 综合照明和通信设计

据文献[11]报道,VLC系统在室内传播时延有效值是LED的间距之间的比例。这种线性关系是由一个恒定的延迟更换的时候方法的间距0.5cm~10cm。换句话说,为了减少延迟,LED和他们的领域的视图之间的间距必须尽可能小。较小的间距和视野,意味着更多的LED来照亮房间里,而另一方面,多个LED意味着更高的传播时间。此外,高数据率要求阻抗在接收器匹配,而由于光源的数目而增加了复杂性。

(4) 兼顾移动性和LOS队列管理

带有许多低价收发器的多元素FSO组件在处理移动性和LOS跟踪问题的为FSO通信开辟了研究的新方向。当多元设计具有集成的空间复用和角度的多样性潜在能力,它是可以挑战无缝和有效地选择收发器等使得多个目标可以同时满足。这些收发器的选择和管理协议可以实现高吞吐量和低能耗。

(5) 考虑通信的LED灯具设计

传统的固态照明装置的设计假定大发散角是更好的。由于发射的光被用于照明,根本无法减少为满足住宅和商业的照明要求的所需发散角[30]。虽然大发散角的照明效率更高,较小发散角却可以在长距离达到更好通信效率和更小的误比特率。为在光网高速通信,有必要调整发送信号的波束宽度。在传统的(无线)通信,这是由一个方向做天线,但可见光通信无法使用天线的来操纵的方向性。因此基于通信而调整的波束宽度必须考虑照明效率,需要寻求平衡这两个相互矛盾的目标。

这个问题需要从发射信号设备结构设计来解决,即LED阵列。更高的数据速率和亮度将产生较高的温度而分布于照明装置。因此,热管理也是可见光通信的需要综合考虑一个重要问题。

6 结束语

LED照明智能化将成为新一代高效多功能的智能化照明发展方向。LED具有寿命长、可靠性高和光学特性优良等特点,进一步发展其可靠安全的可见光无线通信技术,加上传感器技术、控制技术和双功能驱动电路,将给LED电光源在通用照明领域带来极具竞争能力和照明革命。而双功能LED驱动电路、可见光通信调制与信道模型优化、深度融合宽带电力线通信与可见光通信技术、综合照明与通信的LED灯具设计等问题,将是LED未来重要的研究课题和发展方向。

参考文献

- [1] A. laubseh, M. Sabathil, J. Baur, M. Peter and B. Hahn, "High-power and high-efficiency InGaN-based light emitters," IEEE Trans. Electron Devices. Vol.57, no.1. pp.79-87, Jan. 2010
- [2] U.S. Department of Energy. Solid — State lighting Research and Development: Multi—Year Program Plan April 2012 . http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/sst/ssl_mypp2012_web.pdf. April 2012.
- [3] 阮军,“国家半导体照明工程进展”《照明工程学报—中国照明工程20周年专刊》2012年Z1期23卷,pp.37-43
- [4] E.Schubert and J.Kim, "Solid-state light sources getting smart." Science, vol.308, no.5726, pp.1274-1278, May 2005
- [5] A. Sevincer, A. Bhattarai, M. Bilgi, M. Yuksel and N. Pala, "LIGHTNETS: Smart LIGHTing and Mobil Optical Wireless NETWORKS— A Survey," IEEE Communication Surveys & Tutorials, Vol.15, No.4, Fourth Quarter 2013, pp.1620-1641
- [6] G. Pang, T. Kwan, Chi-Ho Chan, and Hugh Liu, "Led traffic light as a communications device," in Intelligent Transportation Systems, 1999.Proceedings. 1999 IEEE/IEEJ/JSAI International Conference on, 1999,pp. 788 - 793.
- [7] Toshihiko Komine, IEEE, and Masao Nakagawa, "Fundamental Analysis for Visible-Light Communication System using LED Lights " IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 50, No. 1, FEBRUARY 2004, pp.100-107
- [8] <http://www.vlcc.net/>