

高速实时可见光通信技术研究及应用

陈雄斌^{1,2}, 李洪磊¹

1. 中国科学院半导体研究所, 集成光电子学国家重点实验室, 北京 100083

2. 中国科学院大学电子电气与通信工程学院, 北京 101407

摘要 介绍了可见光通信技术的发展历史及研究现状。基于带宽拓展技术搭建了1 W 荧光型LED做光源、PIN光电二极管做探测器、单路速率610 Mb/s的实时传输演示系统,该系统在传输距离为6.2 m时的误码率为 3.48×10^{-5} 。在此基础上搭建了荧光型LED为光源、PIN光电二极管做探测器的、双向100 Mb/s无线光上网演示系统。

关键词 可见光通信; 荧光型LED; 无线光通信; 可见光通信; LiFi

可见光通信(visible light communication, VLC), 是利用荧光灯或发光二极管(LED)等发出的肉眼难分辨的高速明暗变化光信号传输信息。近年来, LED照明技术的应用推广促进了可见光通信技术的发展, 中国有众多LED企业和巨大的照明市场, 这种可见光通信技术研究的相关产业基础优势是其他国家所不具有的。可见光通信技术与电力载波通信技术、射频无线通信技术、红外通信技术等一起组建混合通信网络, 实现多种通信技术融合, 满足用户不同应用环境下的通信需求。可见光通信的主要优点包括: 无电磁污染, 有利于人体健康; 可与无处不在的照明结合, 无需新建专用网络, 经济、集约; 无须频率使用许可。

与无线电通信比较, 可见光通信的优势可归纳为以下3点: 1) 单点高速率。可见光的光波频率约为 10^2 THz量级, WiFi的电波频率为GHz量级。一般来说光通信比电通信要快。与无线电通信技术相比, 基于可见光的无线光通信技术的速率优势正在逐渐显示。2) 系统大容量。为了实现宽带大容量的无线通信, 无线基站技术的发展方向是提高蜂窝小区的复用度。因

为光的空间复用性比电的空间复用性好, 能建立比无线电更小的无线小光区, 故可以在给单用户提供高速实时通信的同时, 通过众多非常小的无线光通信小区组网实现无线光网络系统的超大容量。3) 使用安全性高。可见光通信的信号可见易控, 靠透镜和灯罩就可以灵活控制信号覆盖区域, 同时能通过肉眼观察信号覆盖区域, 并能有效防止信息泄露, 给用户带来前所未有的心理安全感, 能满足大家日益增长的通信安全需求。

作为一种无线通信的新技术, 可见光通信符合无线通信高速、大容量、安全可靠的发展方向, 未来将发挥更大作用。

1 可见光通信研究历史

2003年10月, 日本庆应义塾大学发起并成立了产学研相结合的战略联盟——可见光通信联盟(VLCC), 其成员来自通信、照明系统设计和器件制造等领域的公司, 目的是通过市场研究、推广和技术标准化, 建立

收稿日期: 2017-12-01; 修回日期: 2018-02-11

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFB0403605); 广东省科技计划项目(2014B010120004)

作者简介: 陈雄斌, 研究员, 研究方向为可见光通信与光互连, 电子信箱: chenxiongbin@semi.ac.cn

引用格式: 陈雄斌, 李洪磊. 高速实时可见光通信技术研究及应用[J]. 科技导报, 2018, 36(5): 53-59; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2018.05.006

安全、无处不在的可见光通信网络。

2008年,美国成立了由波士顿大学(负责发光二极管通信、计算机网络系统技术研究)、Rensselaer理工学院(负责新材料器件技术与系统应用研究)和新墨西哥大学(负责纳米材料、器件、生物成像和显示的测试平台建设)组成的智能照明中心,开展可见光通信技术研究。智能照明中心后来催生出ByteLight等可见光通信应用的企业或品牌。

2008年,欧盟启动了欧米伽计划,进行可见光通信技术研究。欧洲在此领域代表性的研究单位包括英国牛津大学、剑桥大学、帝国理工学院、德国西门子公司、法国电信公司等。英国爱丁堡大学Harald Haas在2011年创造了“LiFi”一词(即light fidelity,意为可见光无线通信),并在苏格兰政府支持下创立了PureLiFi公司,从事可见光通信技术产品化研究。2014年,LiFi的第一代产品问世,可以实现双向数据传输,但只对合作客户开放购买。2016年,该公司的LiFi-X产品速率为40 Mb/s。2018年,LiFi-XC产品速率为43 Mb/s。

2008年末,为了依托LED照明,实现无线领域从电磁向光传输的演进,中国科学院半导体研究所整合所内优势研发力量,启动了基于可见光通信的“半导体照明信息网”(solid state lighting information network, S2-link)的研究,研究范围覆盖材料、器件、协议和系统。

2011年,美国《Times》周刊在全球50大发明排名中LiFi技术排在第8位。2012年,CCTV-2把中国科学院半导体研究所展示的基于可见光通信的“光怪路由”技术排在全球创新科技新锐榜第3位。

2 可见光通信研究现状

可见光通信作为一项无线通信新技术,最初研究者围绕如何利用照明光源来复用实现通信进行研究,系统采用的光源主要是照明常用的大功率荧光型LED和大功率三基色光(红绿蓝,RGB)型LED。为提供系统的通信速率,研究者除研发光源、探测器这些核心光电器件之外,利用先进的调制技术、提高系统频带利用率也是开展得比较多的研究方向。

高速正交频分复用(orthogonal frequency division multiplexing, OFDM)系统或离散多音频(discrete multi-tone, DMT)系统数据处理复杂,2011年欧米伽计划结题时,基于白光LED的OFDM实时传输系统速率仅做到

100 Mb/s。若OFDM系统用Matlab软件生成符合要求的特定格式的测试数据,数据输入任意波形发生器中,用任意波形发生器作为信号源调制LED,在接收端用存储示波器存储接收到的数据,由此进行数据比对和误码率测试(或者仅根据接收端星座图的质量估算误码率),则该速率被称为峰值速率。开关键控(on-off keying, OOK)系统因为不涉及复杂的数据运算和数模、模数转换,通常为实时传输,其速率即实时传输速率。从技术实用化的角度出发,OOK系统目前最有可能实现小型化、产品化。表1为截至2014年可见光通信技术研究进展^[1-13]。

表1 可见光通信技术国内外研究进展代表性成果

Table 1 Recent representative research advances in VLC

日期	研究单位	LED光源	系统带宽	调制方式	传输速率	距离
2010	Franuhofer研究所和西门子等	荧光型LED	35 MHz	DMT	513 Mb/s	0.3 m(APD)
2011	Franuhofer研究所和西门子等	RGB LED	15-20 MHz	WDM-DMT	803 Mb/s	0.12 m(APD)
2012	牛津大学	荧光型LED	65 MHz	MIMO-OFDM	1.1 Gb/s	1 m(PD没标)
2012	意大利G.cossu等	RGB LED	--	WDM-DMT	3.4 Gb/s	0.1 m(APD)
2012	中国复旦大学迟楠等	RGB LED	--	WDM+OFDM	575 Mb/s	0.66 m(PIN)
2013	台湾国立交通大学和中山大学	RGB LED	--	WDM	3.22 Gb/s	0.25 m(PIN)
2014	中国复旦大学迟楠等	RGB LED	--	WDM+OFDM	4.22 Gb/s	0.01 m(APD)
2014	意大利G.cossu等	四色LED	--	WDM+DMT	5.6 Gb/s	1.5 m(APD)
2010	Franuhofer研究所和西门子等	荧光型LED	35-40 MHz	OOK	230 Mb/s	0.27 m(APD)
2013	日本Kinki University (近畿大学)	RGB LED红光	160 MHz	OOK	477 Mb/s	0.4 m(PIN)
2014	日本Kinki University	RGB LED	185+150+180 MHz	OOK	600+520+630 Mb/s	0.15 m(PIN)
2014.1	中国科学院半导体研究所	荧光型LED	151 MHz	OOK	340 Mb/s	0.43 m(PIN)
2014.10	中国科学院半导体研究所	荧光型LED	233 MHz	OOK	500 Mb/s 550 Mb/s	1.6 m(PIN) 0.6 m(PIN)

表1中,红色字体的4个代表性成果分别是2014年RGB三色LED系统离线处理最高峰值速率^[7]、红绿蓝黄四色LED系统离线处理最高峰值速率^[8]、RGB三色LED系统实时传输最高速率^[11]和荧光型LED系统实时传输最高速率^[13]。对于可见光通信系统,表征其通信性能的关键指标是传输速率、距离和误码率,这3个指标相互制约,相互影响。当然还可以同时考虑功耗、价格、尺寸等因素。光源、探测器、调制复用技术是决定可见光通信系统通信性能的主要因素。对于可见光通信技术研究进展的意义和重要性,应综合考虑以上这些因素。

2015年4月,《IEEE Wireless Communications》出版可见光通信专刊,共发表可见光通信相关论文13篇^[14-26]。这些文章除了对可见光通信的应用前景、可见光通信涉及的调制技术等做了较全面介绍外,也有少数几篇文章报道了团队的科研进展。2015年,中国科学院上海技术物理研究所Wang等^[21]研制出蓝光滤光片,能有效降低可见光通信系统的误码率,采用32-

QAM调制技术,速率为325 Mb/s时,传输距离为40 cm,误码率低于 3.8×10^{-3} 。2015年,中国科学院半导体研究所陈雄斌团队Li等^[22]用1 W荧光型LED和PIN探测器采用OOK调制,实现了单路460 Mb/s的实时传输,距离1 m时误码率低于 1×10^{-9} 。2015年,复旦大学迟楠团队Wang等^[27]用红绿蓝黄四色LED和PIN探测器,利用CAP调制,实现了四路信号非实时传输累加最高峰值速率8 Gb/s,距离1 m时,估算误码率可低于 3.8×10^{-3} 。2017年,清华大学与中国科学技术大学、北京理工大学、东南大学、北京大学、北京邮电大学及中国科学院半导体研究所联合组建“宽光谱信号无线传输理论与方法研究”973项目研究团队,通过基于软硬件的多载波自适应调制、编码和收发端均衡处理,在RGB三色混光下,实现了多媒体业务实时传输演示,传输距离为3 m时,速率达到689 Mb/s;使用RGBA四色混光时,实时业务速率已达到919 Mb/s^[28]。

可见光通信技术的系统级应用也在不断推进。2004年,Sony与Agilent公司合作研发了一个基于RGB三色LED灯的光学无线音乐广播应用,在日本CEATEC展会上展示。2006年,暨南大学的研究团队陈长缨利用白光LED照明光源作室内无线通信,设计了距离0.2 m的点对点白光LED通信系统,实现了10 MHz下FM信号的传输。2008年,太阳诱电株式会社研发出白光LED的高速无线通信系统,最大数据传输速率可达100 Mb/s,在东京国际消费电子博览会现场展示,实现了双向全双工高速通信,只是最大传输距离仅约0.2 m。2009年,中国科学院半导体研究所研制出可见光上网系统和游戏娱乐系统,上网系统速率为2 Mb/s,游戏娱乐系统灯光通信速率为115 Kb/s,实现了双人灯光控制下的坦克大战,在上海国际工业博览会上展示。2010年4月基于可见光通信的智能家居控制系统和上网系统在上海世博会的“沪上·生态家”和“中国航空馆”两个展区同时展示。该上网系统速率为2 Mb/s,智能家居系统灯光通信速率为115 Kb/s。2009年11月,暨南大学研制出传输速率为4 Mb/s的数字多媒体音视频信号白光LED传输系统,在深圳高交会展示,2010年在上海世博会的“沪上·生态家”城市案例馆公开展示。2011年,欧米伽计划参加单位之一的Orange实验室用16盏LED灯实现了4路高清视频的广播,系统传输速率为100 Mb/s,净载荷为80 Mb/s。2012年,卡西欧公司利用智能手机摄像头实现了数据的光交换,日

本Outstanding Technology公司实现了可见光定位,在日本东京技术展会上进行了公开展示。2013年,复旦大学和上海宽带中心研发了可见光通信上网系统和视频传输系统,支持视频传播,通信距离约1.5 m,在中国国际工业博览会上展示。目前,可见光通信的商业应用主要集中在灯光定位导览、隐形广告、游戏娱乐等低速应用上。

3 带宽拓展技术研究

因为串扰在通信系统中不可避免,所以一个实际的基带传输系统不可能完全满足理想的波形传输无失真条件。当串扰造成的影响较严重时,可以考虑对整个传输系统的传递函数进行校正,使其接近无失真传输条件。方法之一是通过串接一个滤波器来补偿整个系统的幅频和相频特性,这种校正是在频域进行的,称为频域均衡;方法之二是直接校正系统的冲击响应,这种校正是在时域进行,称为时域均衡。频域均衡技术主要包括幅度均衡和相位均衡,可见光通信系统中目前用得最多的是幅度均衡。幅度均衡器主要根据系统的信道特性,对信号进行选择性的衰减或补偿,目的是改善系统的响应特性,获得较为平坦的幅频响应曲线,从而拓宽信道的带宽。频域均衡技术可以应用在通信系统的发射端和接收端,前者称为预加重技术,后者称为后端均衡技术。

利用预加重技术,可提高可见光通信系统的3dB带宽和数据传输速率。2013年,本研究组设计了带预加重网络的可见光通信系统(图1),其中预加重电路的硬件如图2所示。系统采用功率为1 W的荧光型白光LED,驱动电流为200 mA,通信距离为1.1 m,通过预加重技术将系统的3dB带宽从12 MHz提高至77.6 MHz



图1 带预加重功能的可见光通信系统

Fig. 1 VLC system with preamp circuit

(图3);数据传输速率为200 Mbps,系统误码率小于 1×10^{-6} (图4)^[29]。

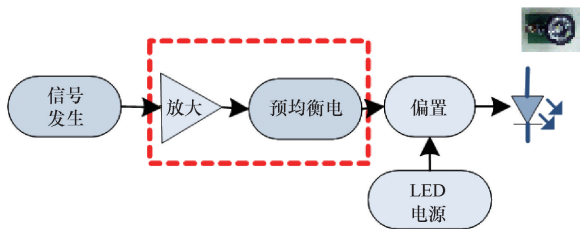


图2 预加重电路示意

Fig. 2 Diagram of preamp circuit

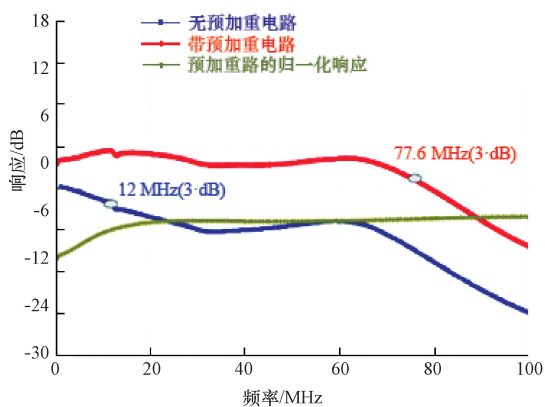


图3 系统带宽测试结果

Fig. 3 EOE system response of VLC system

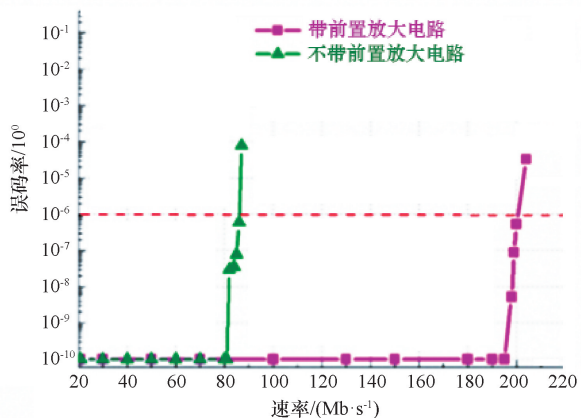


图4 系统传输速率测试结果

Fig. 4 Data rate of VLC system

采用后端均衡技术,同样可以拓展可见光通信系统带宽。用3dB调制带宽为12 MHz的LED器件作为光源,发送端不做预加重处理,仅在接收端使用有源均衡处理,该系统3dB调制带宽可以拓展至151 MHz,系统实时传输速率为340 Mb/s^[12]。可见光通信系统结构如图5^[12]所示。

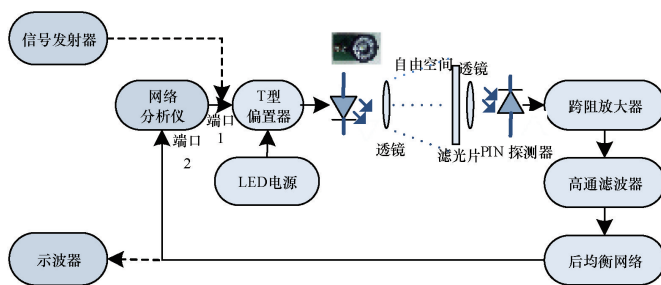


图5 基于后端均衡的可见光通信系统实验装置示意

Fig. 5 Schematic diagram of VLC system with post equalization circuit

4 演示系统及测试结果

2014年,本研究组将可见光通信系统的预加重技术和后端均衡技术结合,搭建了实时高速率可见光通信演示系统。该系统采用采用1 W功率的荧光型白光LED,驱动电流为300 mA,传输距离为1.6 m时,系统3dB带宽233 MHz,因为系统调制带宽被大幅拓展,故采用OOK-NRZ调制方式就能实现较高速率的实时传输。数据传输速率为500 Mb/s、传输距离为1.6 m时,经安捷伦误码率测试仪81250在线误码率测试,1 h的平均误码率为 1.6×10^{-6} ,原始误码率远小于 3.8×10^{-3} 这个前向纠错对误码率的门限要求。2015年,该系统通过优化设计(图6),委托工信部泰尔实验室来进行测试认证^[30],1 W的荧光型LED和PIN探测器间距离6.2 m,平均速率610 Mb/s,安捷伦误码率测试仪测出的2 h平均误码率为 3.48×10^{-5} 。

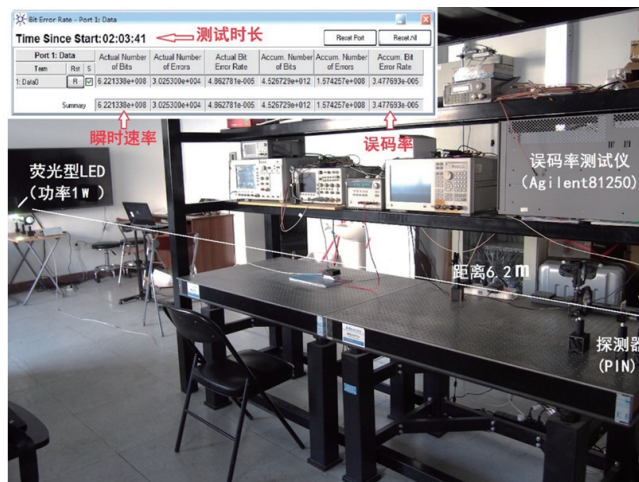


图6 610 Mb/s 可见光通信链路及误码率测试结果

Fig. 6 610 Mb/s VLC Link and the BER test results

2015年,基于可见光通信系统的带宽拓展技术,利用荧光型LED和PIN探测器作为无线光通信的光源和探测器,本研究组研发了双向对称100 Mb/s的上网演示系统,该系统安装在光学平台上,传输距离2.4 m时平均下载速率约90 Mbps。安装到实验室写字台顶上的天花板上后(图7),传输距离1.9 m,下载速率如图8所示为91~95 Mb/s。

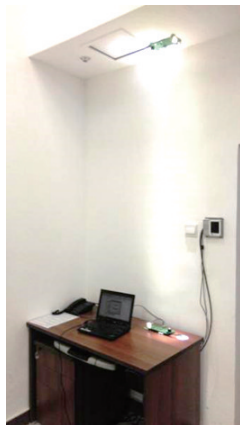


图7 100 Mb/s可见光上网系统实物

Fig. 7 100 M VLC internet access system

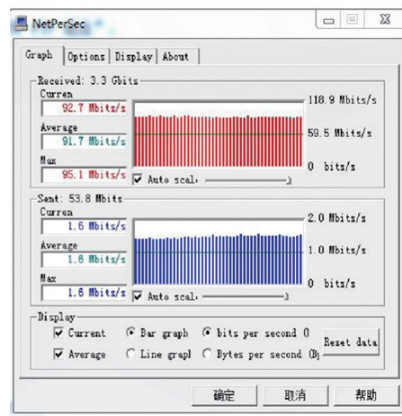


图8 上网系统测试结果

Fig. 8 Data rate of Demo system

通过以上系统性能测试可知,预加重技术和后端均衡技术可以有效提高可见光通信系统的带宽和数据传输速率。其实,基于预加重技术和后端均衡技术的带宽拓展除了能提高OOK调制的实时传输系统的通信速率之外,对OFDM系统的通信速率提升同样具有很好的效果。利用带宽拓展技术,实现了1 W功率荧光型LED和PIN探测器在OFDM调制下、1 m传输距离、单路682 Mb/s速率传输时,误码率 2.5×10^{-3} [31]。因为OFDM系统数据处理较为复杂,本研究只是采用离线处理的方式验证了均衡技术对系统通信性能的提升作用,短时间内也无法把该OFDM系统做成带实时业务功能的实用演示系统。

5 结论

可见光通信作为无线通信的一项新技术,和电的无线通信技术相比具有单点速率高、系统容量大、使用安全性高等优点。该技术可用于保密单位的保密会议网络系统,地铁车厢内灯光通信,卫星内部、舰船内部

无线通信,火箭分离、太空舱内外、深潜舱等设备间的非接触高速无线通信以及人口密集区的高速大容量无线接入,还可以用于物联网领域的多目标、多指令的低成本无线控制。基于可见光通信的带宽拓展技术在OOK调制下实现了610 Mb/s的单路实时传输,搭建了双向100 Mb/s的无线光上网系统。可见光通信抗电磁干扰能力强,各小区间可物理隔离互不干扰,空分复用密度大,故该技术能很好地满足ITU的IMT-2020(5G)建议中关于用户体验速率的技术指标,是5G无线通信的理想技术之一。

参考文献(References)

- [1] Kottke C, Vucic J, Walewski J W, et al. 513 Mbit/s visible light communications link based on DMT-modulation of a white LED[J]. *Journal of Lightwave Technology*, 2010, 28(24): 3512-3518.
- [2] Vucic J, Kottke C, Kai H, et al. 803 Mbit/s visible light WDM link based on DMT modulation of a single RGB LED luminary [C]//*Optical Fiber Communication Conference and Exposition (OFC/NFOEC)*. Piscataway, NJ: IEEE, 2011: 1-3.
- [3] Azhar A H, Tran T, O'Brien D. A Gigabit/s indoor wireless transmission using MIMO-OFDM visible-light communications [J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2013, 25(2): 171-174.
- [4] Cossu G, Khalid A M, Choudhury P, et al. 3.4 Gbit/s visible optical wireless transmission based on RGB LED[J]. *Optics Express*, 2012, 20(26): 501-506.
- [5] Wang Y Q, Wang Y G, Chi N, et al. Demonstration of 575-Mb/s downlink and 225 Mb/s uplink bi-directional SCM-WDM visible light communication using RGB LED and phosphor-based LED[J]. *Optics Express*, 2013, 21(1): 1203-1208.
- [6] Wu F M, Lin C T, Wei C C, et al. 3.22-Gb/s WDM visible light communication of a single RGB LED employing carrierless amplitude and phase modulation[C]//*Conference on Optical Fiber Communication, Collocated National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC)*. Piscataway, NJ: IEEE, 2013: 1-3.
- [7] Wang Y, Huang X, Zhang J, et al. Enhanced performance of visible light communication employing 512 QAM N-SC-FDE and DD-LMS[J]. *Optics Express*, 2014, 22(13): 15328-15334.
- [8] Cossu G, Wajahat A, Corsini R, et al. 5.6 Gbit/s downlink and 1.5 Gbit/s uplink optical wireless transmission at indoor distances (≥ 1.5 m)[C]//*European Conference on Optical Communication (ECOC)*. Piscataway, NJ: IEEE, 2014: 1-3.
- [9] Vucic J, Kottke C, Nerretter S, et al. 230 Mbit/s via a wireless visible light link based on OOK modulation of phosphorescent

- white LEDs[C]//Conference on Optical Fiber Communication, Collocated National Fiber Optic Engineers Conference (OFC/NFOEC). Piscataway, NJ: IEEE, 2010: 1-3.
- [10] Fujimoto N, Mochizuki H. 477 Mbit/s visible light transmission based on OOK-NRZ modulation using a single commercially available visible LED and a practical LED driver with a pre-emphasis circuit[C]//Optical Fiber Communication Conference and Exposition (OFC/NFOEC). Piscataway, NJ: IEEE, 2013: 1-3.
- [11] Fujimoto N, Yamamoto S. The fastest visible light transmissions of 662 Mb/s by a blue LED, 600 Mb/s by a red LED, and 520 Mb/s by a green LED based on simple OOK-NRZ modulation of a commercially available RGB-type white LED using pre-emphasis and post-equalizing techniques[C]//European Conference on Optical Communication(ECOC). Piscataway, NJ: IEEE, 2014: 1-3.
- [12] Li H L, Chen X B, Huang B J, et al. High bandwidth visible light communications based on a post-equalization circuit[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2014, 26(2): 119-122.
- [13] Li H L, Chen X B, Guo J Q, et al. A 550 Mbit/s real-time visible light communication system based on phosphorescent white light LED for practical high-speed low complexity application[J]. Optics Express, 2014, 22(22): 27203-27213.
- [14] Zhang R, Wang J, Wang Z, et al. Visible light communications in heterogeneous networks: Paving the way for user-centric design[J]. IEEE Wireless Communications, 2015, 22(2): 8-16.
- [15] Chow C W, Liu Y, Yeh C H, et al. A practical in-home illumination consideration to reduce data rate fluctuation in visible light communication[J]. IEEE Wireless Communications, 2015, 22(2): 17-23.
- [16] Yang A, Wu Y, Kavehrad M, et al. Grouped modulation scheme for LED array module in a visible light communication system[J]. IEEE Wireless Communications, 2015, 22(2): 24-28.
- [17] Zafar F, Karunatilaka D, Parthiban R. Dimming schemes for visible light communication: The state of research[J]. IEEE Wireless Communications, 2015, 22(2): 29-35.
- [18] Ying K, Yu Z, Baxley R J, et al. Nonlinear distortion mitigation in visible light communications[J]. IEEE Wireless Communications, 2015, 22(2): 36-45.
- [19] Haigh P A, Le S T, Zvanovec S, et al. Multi-band carrierless amplitude and phase modulation for bandlimited visible light communications systems[J]. IEEE Wireless Communications, 2015, 22(2): 46-53.
- [20] Gao Q, Gong C, Li S, et al. DC-informative modulation for visible light communications under lighting constraints[J]. IEEE Wireless Communications, 2015, 22(2): 54-60.
- [21] Wang S W, Chen F, Liang L, et al. A high-performance blue filter for a white-led-based visible light communication system[J]. IEEE Wireless Communications, 2015, 22(2): 61-67.
- [22] Li H, Chen X, Guo J, et al. An analog modulator for 460 Mb/s visible light data transmission based on OOK-NRS modulation[J]. IEEE Wireless Communications, 2015, 22(2): 68-73.
- [23] Teng D, Wu M, Liu L, et al. Size- and current-density-controlled tunable wavelength in gan-based LEDs for potential dense wavelength-division multiplexing application[J]. IEEE Wireless Communications, 2015, 22(2): 74-79.
- [24] Lim J. Ubiquitous 3D positioning systems by LED-based visible light communications[J]. IEEE Wireless Communications, 2015, 22(2): 80-85.
- [25] Wang M, Wu J, Yu W, et al. Efficient coding modulation and seamless rate adaptation for visible light communications[J]. IEEE Wireless Communications, 2015, 22(2): 86-93.
- [26] Wang Q, Giustiniano D, Puccinelli D. An open source research platform for embedded visible light networking[J]. IEEE Wireless Communications, 2015, 22(2): 94-100.
- [27] Wang Y G, Tao L, Huang X X, et al. 8-Gb/s RGBY LED based WDM VLC system employing high-order CAP modulation and hybrid post equalizer[J]. IEEE Photonics Journal, 2015, 7(6): 7904507.
- [28] 徐正元, 赵春明, 王昭诚, 等. 光联万物: 宽光谱无线光通信技术[J]. 科技纵横, 2017(5): 68-70.
Xu Zhengyuan, Zhao Chunming, Wang Zhaocheng, et al. Optics links everything: Wide spectrum wireless optical communication technology[J]. IEEE Spectrum, 2017(5): 68-70.
- [29] Li H L, Chen X B, Guo J Q, et al. 200 Mbit/s visible optical wireless transmission based on NRZ-OOK modulation of phosphorescent white LED and a pre-emphasis circuit[J]. Chinese Optics Letters, 2014, 12(10): 100604(1-4).
- [30] Chen X L, Li H L, Min H Y, et al. Real time transmission technology of 610 Mbps visible light communication utilizing phosphor-based LED[C]//Asia Communications and Photonics Conference 2017. Washington, D C: Optical Society (OSA), 2017: M1G.7.
- [31] Li H L, Zhang Y N, Chen X B, et al. 682 Mbit/s phosphorescent white LED visible light communications utilizing analog equalized 16QAM-OFDM modulation without blue filter[J]. Optics Communications, 2015, 354: 107-111.

Development progress of visible light communication technology

CHEN Xiongbin^{1,2}, LI Honglei¹

1. State Key Laboratory on Integrated Optoelectronics; Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China
2. School of Electronic, Electrical and Communication Engineering, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 101407, China

Abstract The development history and status of visible light communication technology are introduced. Then two latest achievements are reported. A 500 Mb/s real-time visible light communication system is reported, which, based on bandwidth expanding technology, uses a 1 watt fluorescent type LED as light source and PIN photodiode as detector, reaching a system bit error rate (BER) of 3.48×10^{-5} over a 6.2 meters transmission distance. Also reported is a new type of symmetrical 100 Mb/s VLC Ethernet system employing a 1 watt fluorescent type LED and PIN photodiode as devices, too.

Keywords visible light communication; fluorescent type LED; wireless optical communication; visible light communication; LiFi ●



(责任编辑 王志敏)