

基于 VDSL2 和 VLC 的用户接入网系统设计及实现

于正永^{1,2}, 徐子轩³, 唐万春²

(1. 淮安信息职业技术学院 计算机与通信工程学院, 江苏 淮安 223003; 2. 南京师范大学 物理科学与技术学院 江苏省光电技术重点实验室, 南京 210023; 3. 盛科网络(苏州)有限公司, 江苏 苏州 215021)

摘要:提出了一种结合甚高速数字用户专线(VDSL2)和可见光通信(VLC)的新型用户接入网系统,使用 VLC 环形链路替代 VDSL2 系统中的传统双绞线,设计了新型 VDSL2 接入网系统业务模型,实现了 VDSL2 主从设备之间的无线传输。通过搭建实验装置,测试和分析了 VLC 幅频特性、主从设备连接可行性、传输速率以及不同信号强度下的通信速率变化。实验证明该系统能在短距离条件下成功建立网络连接,上、下行双向总速率可达 41Mb/s,表明了系统的可行性和适用性。

关键词:可见光通信;甚高速数字用户专线;用户接入网;离散多音调制;发光二极管

中图分类号:TN929.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-5561(2018)01-0038-04

DOI:10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2018.01.011

Design and implementation of subscriber access network system based on VDSL2 and VLC

YU Zhengyong^{1,2}, XU Zixuan³, TANG Wanchun²

(1. School of Computer and Communication Engineering, Huai'an College of Information Technology, Huai'an Jiangsu 223003, China; 2. Jiangsu Key Laboratory on Opto-electronics Technology, College of Physics Science and Technology, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China; 3. Centec Networks(Suzhou) Co.Ltd., Suzhou Jiangsu 215021, China)

Abstract: This paper presents a novel subscriber access network system based on very high-bit-rate digital subscriber line(VDSL2) and visible light communication(VLC), the system uses VLC ring link instead of traditional twisted pair in VDSL2 system, the paper designs a new business model of VDSL2 access network system to realize wireless transmission between VDSL2 master-slave devices. The paper fabricates experimental device, tests and analyzes the VLC amplitude frequency characteristics, the feasibility of master-slave device connections, the transmission rate, and the change of communication rate in different signal strength condition. The experimental results demonstrate that network connection is established under short distance testing conditions, and the total uplink-downlink rate can reach 41Mb/s, it indicates the feasibility and applicability of the designed system.

Key words: VLC; VDSL2; subscriber access network; discrete multi-tone modulation(DMT); LED

0 引言

可见光通信(VLC)是一种以可见光为载体的无线

收稿日期: 2017-07-18。

基金项目: 淮安市科技计划项目(HAG2015058)资助;江苏高校品牌专业建设工程资助项目(苏教高(2015)11号)资助;国家自然科学基金项目(61571232)资助;江苏省高校“青蓝工程”资助项目(苏教师(2014)23号)资助。

作者简介: 于正永(1982-),博士,副教授,主要研究方向为可见光通信与定位系统设计及应用、频率选择表面设计及应用等。

通信技术,具有安全、绿色环保、无需相应频段资源的许可授权、低成本以及较好的空间复用性等特点,目前已成为国内外短距离无线通信研究的热点^[1-4]。但是,室内 VLC 系统存在多径延迟,容易造成码间干扰,会影响 VLC 系统的性能。针对该问题,不少学者引入了离散多音调制(DMT)技术,DMT 利用频分复用的方法,在提高通信数据传输速率的同时,有效地抑制了由多径延迟和信道衰落引起的码间干扰,从而提高了

系统的通信质量。DMT 在 VLC 领域中的研究及应用比较广泛,特别在有线宽带领域,作为一种分割数字用户线路(DSL)信号的方法,已被成功实现商业化推广。2010 年,Vucic 等人基于白光 LED 和 DMT 技术实现了 513Mb/s 的数据传输^[5]。2012 年,Khalid 等人基于磷光 LED 和自适应 DMT 技术,成功建立了 1Gb/s 高速率的数据传输链路^[6]。2014 年,李艳婷等人对 DMT 应用于 VLC 系统的信道特性进行了分析和优化设计^[7]。

伴随着视频业务、网络互动游戏等多重业务需求的网络宽带快速增加,网络用户对接入网系统带宽提出了越来越高的要求。甚高速数字用户专线(VDSL2)为了满足用户双向甚高速宽带接入的需求^[8],在 30MHz 频带的情况下,最高可以支持双向 200Mb/s 的数据传送速率,与 VDSL 允许选择 DMT 或正交幅度调制(QAM)技术不同,VDSL2 只能使用 DMT 线路编码。本文将 VLC 和商用 DMT 相结合,研究一种将 VLC 信道引入 VDSL2 接入网的实施方案,使用 VLC 环形链路替代传统的双绞线作为信号传输的载体,构建基于 VDSL2 的新型无线网络传输系统。

1 新型用户接入网系统的设计原理

1.1 系统业务模型

结合 VDSL2 和 VLC 的新型用户接入网系统业务模型如图 1 所示。该系统中 VDSL2 调制解调器位于中心位置,被称为局端 VDSL 收发器(VTC)。接入多路复合系统被组合成一个接入节点,被称为数字用户线路接入复用器(DSLAM),DSLAM 为 DSL 系统的局端设备。远端模块主要由用户 VDSL2 调制解调器构成,通常用户端 VDSL2 调制解调器被称为用户端 VDSL 收发器(VTR)。

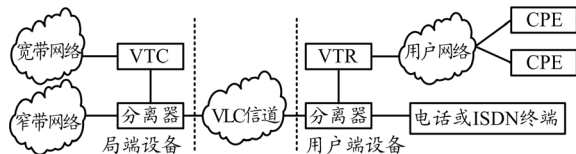


图 1 结合 VDSL2 和 VLC 的新型用户接入网系统业务模型

在传统的接入网系统中,用户环路主要由非屏蔽双绞线(UTP)构成。UTP 中信号的衰减主要与频带宽度和传输距离有关,当系统信号传输超过一定距离时,系统信号强度将快速衰减,通信质量很难得到保证。线路衰减是影响 VDSL2 系统性能的主要因素。VDSL2 系统通过不对称传输,运用频分复用技术使上行信道和下行信道分离开,从而降低串音的影响,最终实现信号的甚高速传输。VLC 技术使用 LED 作为

载体,具有调制性能好、响应速度快的特性,是成熟可行的兼容 DMT 技术的无线通信方式。新型用户接入网系统使用 VLC 环形链路替代传统的 UTP,在照明的同时兼有提供无线网络宽带服务的能力,特别适用于机场、医院等对电磁环境有特殊要求的室内场所。

1.2 VDSL2 模板模式和频带划分

1.2.1 VDSL2 模板模式

VDSL2 标准定义了 8a、8b、8c、8d、12a、12b、17a 和 30a 这 8 种模板,不同模板的发送功率和截止频率不同,因此不同模板模式可以满足不同应用场景的需要,具体要求如表 1 所示。

表 1 不同模板情况下不同应用场景的具体要求

模板名	带宽 (MHz)	信道数	音调间距 (kHz)	模板名	带宽 (MHz)	信道数	音调间距 (kHz)
8a	8.832	2048	4.3125	12a	12	2783	4.3125
8b	8.832	2048	4.3125	12b	12	2783	4.3125
8c	8.5	1972	4.3125	17a	17.664	4096	4.3125
8d	8.832	2048	4.3125	30a	30	3479	8.625

模板名的数字代表最大截止频率,字母通常代表不同的功率特性,如模板 8b 和 8c 代表最大截止频率都为 8MHz;8b 的最大下行功率为 20.5dBm,一般适合长距离局端 VDSL2;8c 的最大下行功率为 11.5dBm,一般适合远端室外机柜 VDSL2。对于甚高速的需求,VDSL2 将频带扩展到 17.6MHz 或 30MHz,17.6MHz 以上采用 8.625kHz 的音调间距;17a 传输速率可达 100Mb/s,30a 传输速率可达 200Mb/s。

1.2.2 VDSL2 频带划分

VDSL2 频带规划中,模拟电话业务(POTS)使用 4kHz 低频带,为了满足甚高速的需求,G.993.2 将频带扩展至 17.6MHz 或 30MHz。对于不同国家和地区,VDSL2 定义了各种的频率规划。VDSL2 的 ANNEX A 定义了北美频率规划,具体如图 2 所示。



图 2 G.993.2 北美频带规划

2 系统测试与分析

2.1 系统搭建与测试条件

为了验证系统设计的可行性和适用性,我们搭建了基于 VDSL2 和 VLC 新型用户接入网系统的实验装置,将 VLC 链路取代双绞线接入 VDSL2 回路,其结构示意图如图 3 所示。

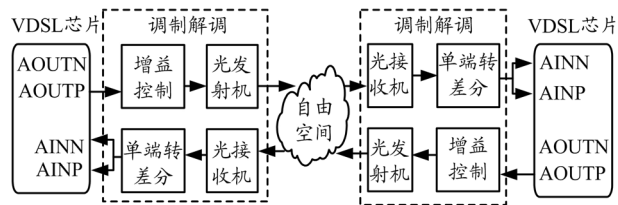


图3 新型用户接入网系统实验装置结构示意图

新型用户接入网系统采用光强度调制(IM)和直接检测(DD)技术,使用功率为1W的白光LED作为信号发射源,发射端LED采用电流驱动方式,调节光发射机外围电路,使LED处于最大额定电流状态的同时具有合适的增益带宽。VDSL2芯片的差分输出端正极(AOUTP)经增益控制、运算放大后连接光发射机。系统采用直射式视距链路,接收电路中PIN光电二极管(PIN-PD)直接指向LED光源,调节跨阻放大器外围电路模块以确保合适的增益带宽,经滤波、单端转差分等处理后,将信号连接至VDSL2芯片差分输入管脚(AINN/AINP)。光收发端未使用滤光片和光学天线,LED和PIN-PD的水平距离为10cm。PIN-PD型号均采用SIEMENS_SF2030,该型号器件的有效探测波长为400~1000nm,敏感波长为850nm,主要集中在可见光波段内,光电转换效率达到0.62A/W,响应时间为5ns,满足本系统需求。

2.2 测试结果和分析

2.2.1 VLC 幅频特性测试

优化发射、接收电路的幅频特性后,连接函数发生器对设计的新型用户接入网系统在100kHz~20MHz范围内进行间隔为100kHz的频率扫描,得到的上、下行链路幅频特性测试曲线如图4所示。信号强度在5MHz之后快速衰减,3dB带宽约为7MHz,基本满足G.993.2北美的频带要求。由于接收器本身有一个比较大的带宽(PIN为300MHz、放大器为700MHz),因此可以得出结论,系统带宽主要受限于LED本身的频率响应。

LED响应时间受到半导体内少数载流子寿命 T_c 的影响。对于III-V族(如砷化镓GaAs)材料制成的

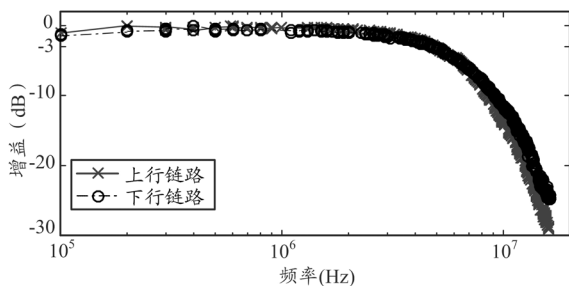
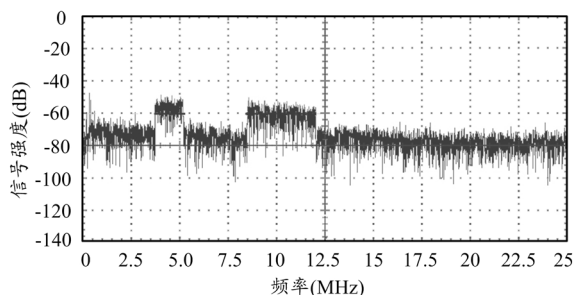


图4 上、下行链路幅频特性测试曲线

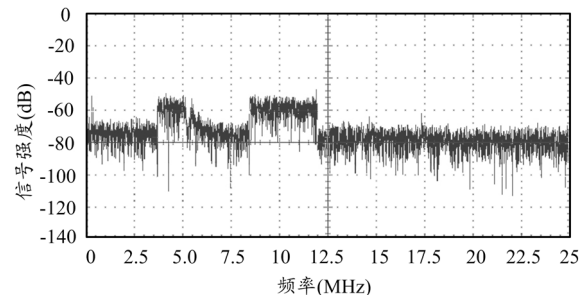
LED, T_c 的典型值为100ps,因此LED的理论带宽限制在2GHz以下。目前,照明用白光LED带宽远低于这个数值,主要受其微观结构和光谱特性所限。

2.2.2 VDSL2 通信连接测试

将VLC环形链路接入VDSL2的发射机和接收机,经过线路训练、链路激活等程序后,VLC系统上、下行链路中载波傅里叶变换(FFT)波形分别如图5和图6所示。其中,VTR发信机使用3.75~5.2MHz以及8.5~12MHz频带,VTC发信机使用230kHz~3.75MHz以及5.2~8.5MHz频带。测试结果均符合图2所示的G.993.2频带划分规定,此时,VTC和VTR通过VLC环形链路成功建立了主从机的通信连接。



(a) VTR发信机连接光发射机接口信号



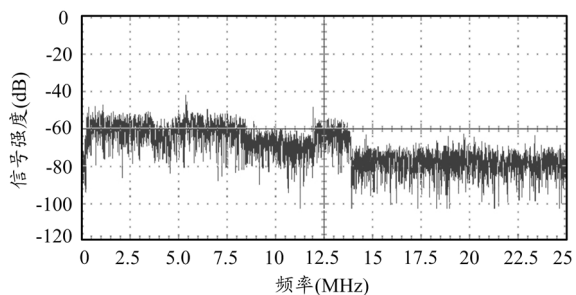
(b) 光接收机经跨阻放大器(TIA)放大后的链路信号

图5 上行链路中VTC和VTR的FFT波形

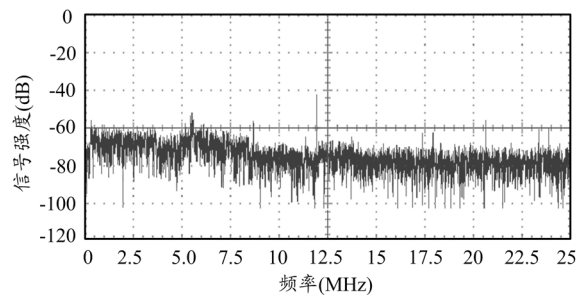
2.2.3 新型用户接入网系统通信速率测试

将VTC和VTR分别连接两台PC,使用Bricks软件测试新型用户接入网系统的通信性能。在保证链路稳定的基础上,调节VLC环形链路增益,最优条件下,VDSL2下行链路通信速率为30.37Mb/s,上行链路通信速率为11.2Mb/s,双向总速率可以达到41Mb/s。

我们在保持硬件PD接收角度和距离不变的前提下,分别调整上、下行链路增益,测试了该系统在不同信号强度条件下的通信速率变化情况。具体过程如下:设置上行链路增益系数为0.44、0.6、0.76、0.88、1.04、1.47和1.91,分别调节下行链路信号增益系数,通过软件测试不同条件下系统单一上行速率、单一下行速率以及双向总速率。测试得到的结果如图7所



(a) VTC 发信机连接光发射机接口信号

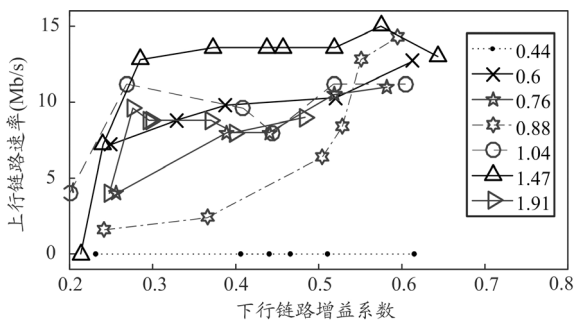


(b) 光接收机经 TIA 放大后链路信号

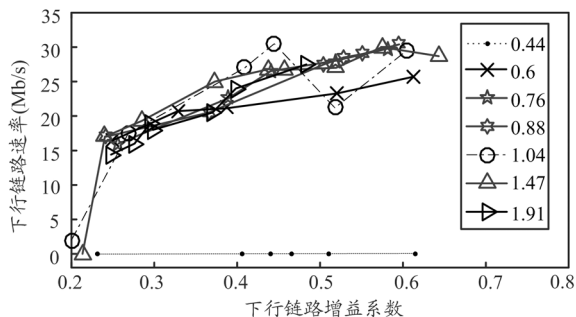
图 6 下行链路中 VTC 和 VTR 的 FFT 波形

示,其中链路增益系数表示为 VLC 信道输出信号峰峰值电压除以 VLC 信道输入信号峰峰值电压。

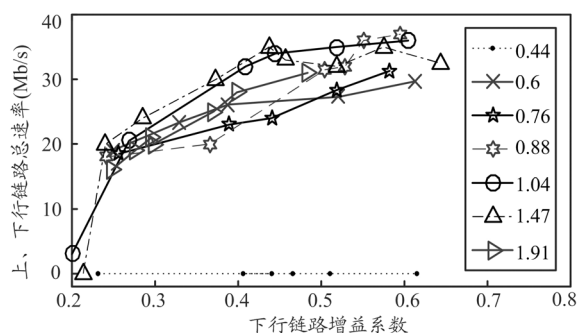
从图 7 可以看出,上行链路增益系数小于等于 0.44 时,无法完成 VDSL2 通信建立;当下行链路增益系数大于 0.65 时,网络出现不稳定或断网的现象。上述现象与 VDSL2 支持的最小、最大发送功率及信噪比有关。另外,单一下行速率和双向总速率随着链路增



(a) 上行链路速率



(b) 下行链路速率



(c) 上、下行链路总速率

图 7 在不同链路增益下网络的通信速率

益的变化呈线性增加趋势;单一上行速率存在少量非线性的现象;双向总速率的值略小于单一上、下行速率之和。

3 结束语

本文提出了一种结合 VDSL2 和 VLC 的新型用户接入网系统的具体实施方案,通过使用 VLC 环形链路替代双绞线,实现了 VDSL2 主从设备间的无线传输。通过搭建该系统的实验装置发现,在短距离测试条件下实现了 VDSL2 主从设备间网络通信,并通过调节 VLC 环形链路增益,实现了 41Mb/s 的上、下行双向总速率。在实际的网络部署中,VLC 信道距离和 PD 接收角度是不固定的,这会引起链路增益系数的变化,从而影响系统性能。因此,下一步我们将着重研究科学合理的增益自适应方法,减少增益对系统产生的负面影响。

参考文献:

- [1] 杨家旺,曹阳,刘世涛,等. 基于自适应 OFDM 的室内可见光通信系统性能研究[J]. 光通信技术,2015,39(4):50-52.
- [2] 徐子轩,梁海莲,钟镇,等. 基于 VLC 的无线导航系统的设计和实现[J]. 光通信技术,2012,36(3):60-63.
- [3] 卢圣睿. 基于白光 LED 的可见光通信系统的设计与实现 [D]. 大连: 大连海事大学,2014.
- [4] 叶玮琳,郑传涛,张红伟,等. 便携式点对点可见光通信终端的实验研究[J]. 光电子·激光,2013,24(8):1500-1506.
- [5] VUCIC J, KOTTKE C, NERRETER S, et al. 513Mbit/s Visible Light Communications Link Based on DMT-Modulation of a White LED [J]. Journal of Lightwave Technology, 2010, 28(24): 3512-3518.
- [6] KHALID A M, COSSU G, CORSINI R, et al. 1Gb/s Transmission Over a Phosphorescent White LED by Using Rate-Adaptive Discrete Multitone Modulation [J]. IEEE Photonics Journal, 2012, 4(5): 1465-1473.
- [7] 李艳婷,张红伟,师星辰,等. 离散多音调制可见光信道非线性失真及参数优化[J]. 光电子·激光,2014,25(1):82-88.
- [8] 郭强. VDSL2 技术研究与实现[D]. 西安:西安电子科技大学,2010.