

WDM-PON 中基于 RSOA 的有线无线链路融合实现载波重用系统的研究

狄晗,陈新桥,刘晓蕊

(中国传媒大学信息与通信工程学院, 北京 100024)

摘要: 利用反射半导体光放大器(RSOA)的增益饱和原理, 设计出一种能同时传输有线和无线信号的载波重用 WDM-PON 系统。采用光子模拟软件验证了该系统的可行性, 同时对影响系统的主要参数进行了分析。分析表明, 当 PON 的线路终端(OLT)中光发射机的发射功率为 6.2 dBm, 调制器的消光比为 20dB, 且系统传输距离小于 32.8km 时, 系统的性能较好。

关键词: 波分复用; 无源光网络; 反射半导体光放大器; 载波重用

中图分类号: TN929.11 **文献标识码:** A

Research on Realizing Carrier Reuse System Based on RSOA Wired and Wireless Link Convergence in WDM-PON

Di Han, Chen Xin-qiao, Liu Xiao-rui

(School of Information and Communication Engineering, Communication University of China, Beijing 100024, China)

Abstract: Using the gain saturation principle of the reflective semiconductor optical amplifier (RSOA), a carrier reuse WDM-PON system that can transmit wired and wireless signals at the same time is designed. The photon simulation software is used to verify the feasibility of the system, and at the same time the main parameters affecting the system are analyzed. The analysis shows that when the transmit power of the optical transmitter in the PON line terminal (OLT) is 6.2 dBm, the extinction ratio of the modulator is 20 dB, and the system transmission distance is less than 32.8 km, the performance of the system is better.

Key words: wavelength division multiplexing; passive optical network; reflective semiconductor optical amplifier; carrier reuse

1 引言

无源光网络 (PON) 是光纤接入的主要实现手段^[1]。PON主要由光线路终端 (OLT) 和光网络单元 (ONU) 构成。提高PON的传输容量和降低ONU的成本是PON工程应用的两个关键技术问题^{[2][3]}。WDM-PON的用户独享整个波长信道的带宽, 提供更大的容量、更宽的覆盖范围, 同时可以透明传输各种协议的业务, 成为了提高PON传输容量的最成熟的解决方案^{[4][5]}。

ONU中作上行数据传输的光载波的成本是决定ONU成本高低的关键^{[6][7]}。在ONU中上行光载波不采用有源的激光器来产生, 而是利用对下行光载波的重用, 这是降低ONU成本的一种主要方法之一, 该方法称为载波重用技术^{[8][9]}。本文采用MZM同时调制连续波激光光源与有线和无线数据, 用于下行链路。利用RSOA实现载波重用技术在上行链路上提供可靠的双向光通道^[10]。采用波分复用技术进一步提高了系统的容量。成本低廉, 性能良好, 具有重要的应用前景。

2 系统的设计

图1为RSOA实现载波重用的WDM-PON系统设计框图。PON中 OLT与ONU通过两个光环行器和双向传输光纤连接。系统的下行传输采用WDM复用技术。WDM中采用4个光载波, 分别从4个连续波(Continuous Wave, CW)激光器发射, 频率从193.1 THz到193.4THz, 频率间隔为100GHz。4个OLT发送模块形成的下行光信号通过一个波分复用器 (Multiplexers, Mux) 复合成一路光信号, 通过光纤传输到一个波分解复用器 (Demultiplexers, Demux), 经解复用后送入ONU接收模块中。

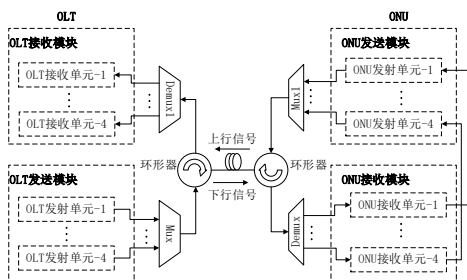


图1 基于RSOA实现载波重用的WDM-PON系统设计框图

图2为OLT的发送模块中的一个发射单元结构示意图。在发射单元中, 马赫曾德尔调制器(Mach Zender modulator, MZM)的端口1由载波频率为20GHz的调幅器驱动, 调幅器驱动的是2.5Gb/s基带信号, 端口2采用1Gb/s基带信号。激光器发射的光载波首先经过偏振控制器后输入到MZM进行调制, 形成一路下行传输的光信号。

图3为ONU接收模块中一个接收单元结构示意图。输入光信号经一个1×3分束器分成三束光信号后, 其中两路信号分别注入到两个光检测器中, 实现光电转换, 恢复出有线信号和无线信号。其中无线信号的恢复要额外通过一个20GHz的振幅调制(Amplitude Modulation, AM)解调器。最后一路信号传输到ONU发射单元, 将光通道的剩余功率传输到RSOA, 重新调制信号与上行数据。

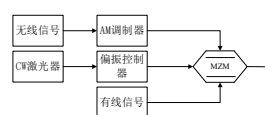


图2 OLT发射单元框图

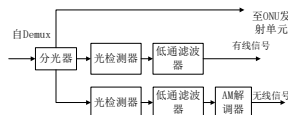


图3 ONU接收单元框图

图4为ONU接收模块中的发射单元结构示意图, 其输入光信号是从ONU接收单元1发出的, ONU的上行数据经一个RSOA, 送入到ONU单元的波分复用器后, 经双向传输光纤回传到OLT。其中上行信号为1gb/s的基带信号。

图5为OLT接收模块中一个接收单元结构示意图, 以OLT接收单元1为例, 从ONU回传到OLT的光信号, 首先经过一个波分解复用器进行波长的解复用, 送入到检测器中实现光电转换后, 再通过一个低通滤波器, 恢复出上行信号。



图4 ONU发射单元框图

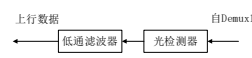


图5 OLT接收单元框图

3 仿真实验结果

根据图1, 采用OptiSystem仿真软件, 搭建了一个基于RSOA实现载波重用的WDM-PON系统。仿真的各种参数采用前面设计中的参数。

图6为OLT发射单元1中193.1THz处经下行信号(有线和无线)调制后的单个信道的光谱图。图7为4个波长信道复合后形成的下行信号的光谱图,

波长间隔为 100GHz。图 8 为 ONU 发射单元 1 中经 RSOA “擦除”后的信号光谱图。图 9 为 ONU 发送模块中 4 个发射单元发出的 4 个波长经波分复用器复合形成的复合光信号光谱图。

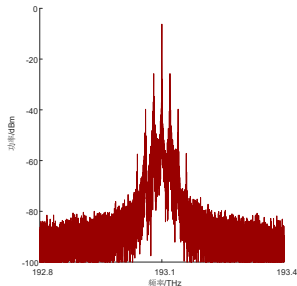


图 6 193.1THz 调制光谱图

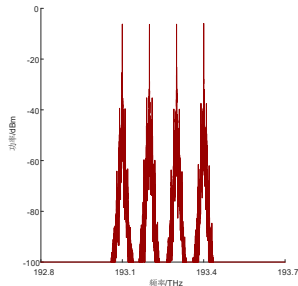


图 7 下行 4 波长信道光谱图

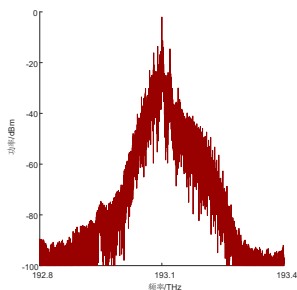


图 8 经 RSOA “擦除”后的信号光谱图

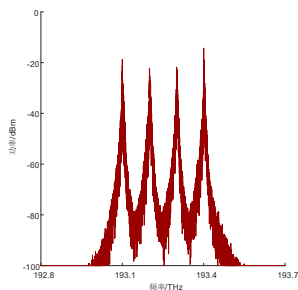


图 9 上行 4 波长信道复合光谱图

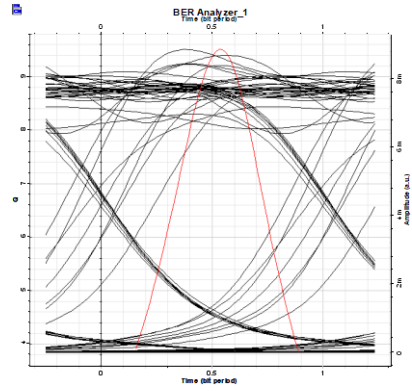


图 12 193.1THz 上解调出的上行信号眼图

4 系统性能分析

衡量系统性能指标的最重要的参数是传输数据的眼图、误码率及 Q 值，本文所设计的系统中影响这些参数的主要因素有 RSOA 的注入电流、MZM 的消光比和发射机的功率。下面逐一对它们进行分析研究。

4.1 MZM 消光比对上下行信号 Q 值的影响

调制器的消光比是影响系统传输性能的重要因素，消光比直接影响到 RSOA 的“擦除”效果。全“0”输出时的平均光功率与全“1”时输出的平均光功率之比被称为消光比。系统的下行通过幅度调制光信号而得到，这样信号的振幅压缩情况受下行光信号的消光比影响比较明显，因此，在调制系统中擦除下行光信号的效果也会受消光比取值大小的影响，最终，整个系统的上行光信号传输情况都会受到影响。以 ONU 接收模块中的接收单元 1 中为例，对 MZM 的消光比进行从 17dB 到 24dB 进行扫参，仿真结果如图 13 所示，从图中可以看到，随着调制器消光比的增加下行信号的 Q 值逐渐增加，而上行信号的 Q 值逐渐减少。由消光比的定义可知，当消光比越大时，数字信号“0”和数字信号“1”之间的光功率比就越大，差值就越大。对上行信号来说，RSOA 对差值较大的信号“擦除”是比较困难的，RSOA “擦除”的不干净，会直接干扰上行信号的调制，导致上行数据传输的通信质量降低，信号的 Q 值就越低。而这种信号的差值对下行信号的接收是有利的，所以下行信号的 Q 值逐渐增加。从仿真可以看出，当消光比大约为 20dB 时，系统性能较好。

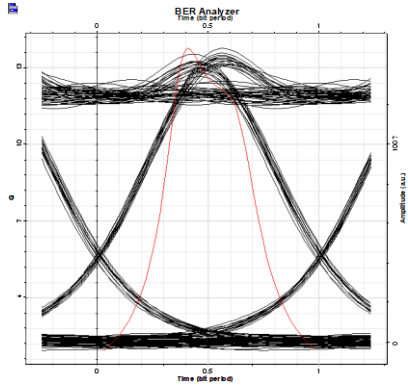


图 10 193.1THz 上解调出的下行有线信号眼图

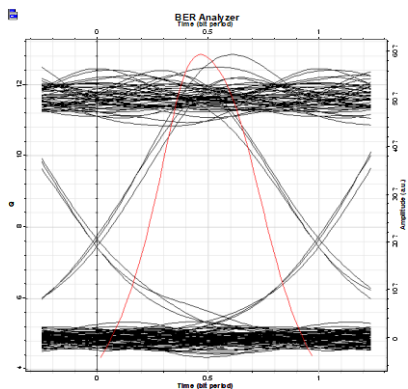


图 11 193.1THz 上解调出的下行无线信号眼图

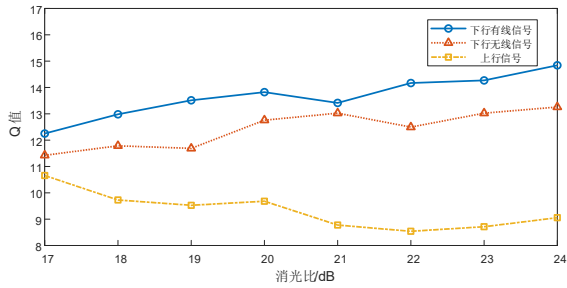


图 13 上下行传输数据信号的 Q 值与 MZM 消光比的关系图

4.2 发射机的功率对系统传输性能的影响

OLT 发射单元中，发射机的功率大小直接影响下行和上行数据传输的误码率。根据前面的扫参结果，设置当消光比为 21dB 时，以 OLT 的发射单元 1 为例，对发射机的功率从 -5dBm 到 15dBm 进行扫参，仿真结果如图 14 所示。从图中可以看到，随着发射机的功率的逐渐增加，下行有线信号和无线信号的 Q 值缓慢增加，上行信号的 Q 值变化不大。但是当发射机的功率进一步增加时，下行有线信号和无线信号的 Q 值缓慢下降，上行信号的 Q 值则快速下降。结果表明，在其他参数不变的情况下，随着 OLT 端发射机功率的增加，下行数据链路的传输性能先是缓慢增加随后缓慢下降，总体变化不大，而上行数据链路的传输性能先是适当增加然后快速下降。这是由于当发射机的功率增加时，ONU 端接收到的信号功率也较大，此时，RSOA 的注入光功率也在增加，由于增益饱和效应，使得 RSOA 的“擦除”效果较好。上行信号的调制受下行信号的干扰较小，上行链路的通信质量较高，Q 值也相对较大。但是当 OLT 端发射机的功率进一步增加时，RSOA 的注入光功率过大，由于 RSOA 已经增益饱和，经 RSOA 输出的“0”电平值和“1”电平值不能接近完全一致，此时 RSOA 对下行链路的“擦除”效果不理想，上行信号的调制受到下行信号的干扰较大，上行链路的通信质量迅速降低，使得上行信号的 Q 值变差。从图中可以看出，当发射机的功率大约为 6.2dBm 时，系统的性能较好。

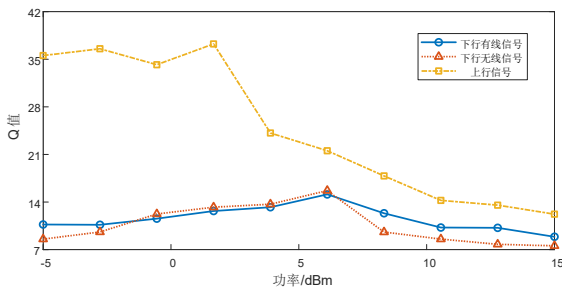


图 14 上下行传输数据信号的 Q 值与发射机发射功率关系图

4.3 光纤长度对系统传输性能的影响

根据前面扫参分析的结果，设置消光比为 20dB，发射机的功率为 6.2dBm。以 OLT 的发射单元 1 为例，其他参数保持不变，对光纤的长度从 26-34km 进行扫参。仿真结果如图 15 所示，随着光纤长度的增加，上下行传输数据信号的 Q 值都随传输距离的增大而减小，大约在 32.8km 处，上行信号的 Q 值降低到了 5.9。从图中可以发现，在系统各项参数不变的情况下，增加光纤的长度会降低系统上下行传输信号的 Q 值，降低系统的传输性能。因为光纤长度越大，传输过程中引入的各种噪声也越大。从图中可以看出，当光纤长度达到 32.8km 时，由于上行信号的 Q 值已经降低到 5.9，不能满足通信需求。而 PON 一般用于 FTTH，由于 FTTH 的距离一般都是比较近的，所以在短距离传输中，采用 RSOA 不影响上行链路的通信质量，能够获得较高的 Q 值，满足双向通信系统的需求。这说明所设计的系统适宜传输距离小于 32.8km 以内的传输系统。

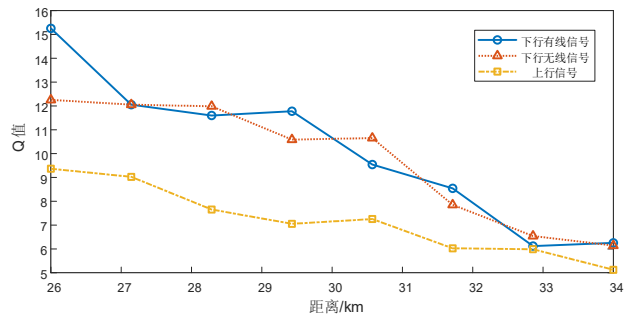


图 15 传输距离对系统传输性能的影响

5 系统性能分析

提出了一种实现无线有线融合的 WDM-PON 结构，采用 RSOA 实现载波重用。分析了其工作原理，采用光子模拟软件搭建了仿真实验系统。最后对仿真结果以及影响系统的参数进行的分析，具体工作如下：

(1)提出了采用 RSOA 实现 WDM-PON 系统“无色”ONU 的实现方案，建立 WDM-PON 载波重用的理论模型。

(2)仿真实现了下行链路中同时传递有线信号和无线信号，上行链路中利用 RSOA 实现载波重用。仿真实验中，WDM 采用 193.1-193.4THz 的间隔为 100GHz 的 4 个光波作为光载波。仿真实验获得下行传输链路中，有线信号的 Q 值为 14.1、无线信号的

Q 值为 12.8, 上行传输数据的 Q 值为 9.7, 验证了该方案的可行性。

(3)研究了发射机的功率、MZM 消光比和传输距离对上下行数据传输质量的影响, 得出当发射机的功率为 6.2 dBm, MZM 消光比为 20dB, 且传输距离小于 32.8km 时, 系统的性能较好的结论。

参考文献

- [1] 骆文, 吴晗平, 熊俊俏. WDM-PON 光接入网技术研究[J]. 中国新通信, 2010, (21).
- [2] 韩晨阳. 基于反射式 SOA 的再调制技术及其在高速 WDM-PON 中的应用[D]. 华中科技大学, 2010.
- [3] Stamatiadis Christos, Matsumoto Ryosuke, Yoshida Yuki, et al. Full-Duplex RSOA-Based PONs Using 4-PAM With Pre-Equalization[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2015, 27(1).
- [4] 肖鑫. RoF 和 WDM-PON 融合系统的研究[D]. 兰州交通大学, 2014.
- [5] Duarte U.R., Rosolem J.B., Penze R.S., et al. Analysis of ASE-related impairments on wavelength-reuse WDM-PONs based on self-seeded reflective SOAs[J]. Journal of optical communications & networking, 2014, 6(9).
- [6] 张春蕾, 陈海灵, 闫彩化. 基于 RSOA 再调制技术的 WDM-PON 系统仿真研究[J]. 半导体光电, 2013, (3).
- [7] 皮雅稚. Radio-Over-Fiber 系统中有线和无线信号混合传输相关技术研究[D]. 湖南大学, 2009. 1-64.
- [8] L. Hu, L. P. Barry, A. Kaszubowska. Remote Downconversion With Wavelength Reuse for the Radio Fiber Uplink Connection[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2006, 18(4).
- [9] 赵钢明, 张春蕾, 张晨希. 基于 RSOA 再调制的 RoF 与 OFDM-PON 混合系统仿真[J]. 光通信研究, 2019(04):25-29, 45.
- [10] 曹炳尧. 基于强度调制 RSOA 的 OFDM-PON 系统研究及其动态资源控制[D]. 上海大学, 2017.