

面向 5G 的基于 RSOA 的 50 Gb/s PAM4 WDM-PON 前传网络

张晨希,张春蕾,赵钢明

(兰州交通大学 电子与信息工程学院,兰州 730070)

摘要:为了满足 5G 前传网络发展的需要,提供更大的带宽,在基于反射式半导体放大器(RSOA)再调制的波分复用无源光网络(WDM-PON)系统中,采用下行速率为 50 Gb/s 的四脉冲幅度调制(PAM4)信号和上行速率为 10 Gb/s 的非归零(NRZ)信号,构成不对称传输架构的双向通信系统,将其作为前传网络的承载方案。在理论研究的基础上,使用仿真软件 Optisystem 对基于 RSOA 再调制的 WDM-PON 系统进行了仿真和分析,分析了不同发射光功率下系统的传输性能;分析了背靠背和有色散补偿的 2 种条件下上、下行传输系统的性能。证明了采用下行 50 Gb/s PAM4 信号和上行 10 Gb/s NRZ 信号的 WDM-PON 可作为前传网络的承载方案。

关键词:前传网络;波分复用无源光网络;四脉冲幅度调制;反射式半导体放大器;5G

中图分类号:TN929.11 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-5561(2020)04-0008-05

DOI:10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2020.04.002

开放科学(资源服务)标识码(OSID): 

5G oriented 50 Gb/s PAM4 WDM-PON fronthaul networks based on RSOA

ZHANG Chenxi, ZHANG Chunlei, ZHAO Gangming

(School of Electronic and Information Engineering, Lanzhou Jiaotong university, Lanzhou 730070, China)

Abstract: In order to meet the needs of the development of the 5G fronthaul networks and provide greater bandwidth, in this paper, a four pulse amplitude modulation (PAM4) signal with a downlink rate of 50 Gb/s and an non return to zero (NRZ) signal with an uplink rate of 10 Gb/s are used to constitute a two-way communication system in the reflective semiconductor amplifier (RSOA) based on wavelength division multiplexing passive optical network (WDM-PON) system with an asymmetric transmission architecture as a fronthaul network carrying scheme. The simulation software Optisystem is used to simulate and analyze the WDM-PON system based on RSOA remodulation, and analyzes the transmission performance of the system at different transmit optical power; The performance of the uplink and downlink transmission system is analyzed under the conditions of back-to-back and dispersion compensation. It is proved that WDM-PON with downlink 50 Gb/s PAM4 signal and uplink 10 Gb/s NRZ signal can be used as a fronthaul network carrying scheme.

Key words: fronthaul networks; wavelength division multiplexing passive optical network; four pulse amplitude modulation; reflective semiconductor amplifier; 5th generation

0 引言

移动通信技术正处于急速发展的阶段,目前移动通信技术的热点就是 5G。在 5G 的中央单元(CU)、分布单元(DU)和有源天线单元(AAU)的结构中,DU 与

收稿时间:2020-01-08。

作者简介:张晨希(1993—),男,硕士,现就读于兰州交通大学电子与信息工程学院通信与信息系统专业,研究方向为光通信,主要从事 5G 前传网络的承载方式、网络结构、调制技术和复用技术等方面研究,并针对具体的前传网络进行搭建及其仿真验证。



AAU 之间的前传网络在 5G 中具有不可替代的地位。与核心网相比,前传网络是整个通信网络的“瓶颈”^[1]。5G 网络中基站数量爆发式增长和大量的用户接入,使得 DU 和 AAU 之间的无源光网络(PON)中的光纤资源异常紧张,因此需要节约光纤资源,同时提高前传网络的传输容量,以便降低 5G 前传网络的部署成本^[2-4]。而波分复用无源光网络(WDM-PON)中不同用户可独享一个波长等特点,使其成为较优的前传网络承载方案^[5]。PAM4 格式与传统 NRZ 相比,在带宽相同的条件下,传输速率可达 NRZ 信号的 2 倍,节省了带宽资源,所以可使用 25 GHz 带宽的光器件传输 50 Gb/s 的光

信号^[6];与离散多音频(DMT)调制相比,可以省去数字信号处理(DSP),成本低,线性度要求也较低^[7];与光双二进制(ODB)调制相比,PAM4 信号生成需要的调制器更少,生成方式简单^[8]。

本文在 WDM-PON 系统中使用 50 Gb/s PAM4 作为下行信号的调制格式、10 Gb/s NRZ 作为上行信号的调制格式,利用反射式半导体光放大器(RSOA)代替光网络单元(ONU)的激光器,既降低成本,也可满足通信需要^[9]。

1 4×50 Gb/s WDM-PON 系统

1.1 WDM-PON 系统结构

WDM-PON 系统结构框图如图 1 所示。该 WDM-PON 系统中的光线路终端(OLT)采用发射功率较大的外调制技术,并使用损耗较小的 C 波段的光载波,可为前传网络将来增加传输距离和容量的需求提供保障。ONU 独享带宽,通过调节 OLT 端激光器的频率,即可产生波长不同的光载波,使 OLT 和 ONU 实现双向通信,同时使 ONU 结构简化,也降低了成本。OLT 内,设置连续式激光器(CWL)的中心频率为 193.1~193.4 THz,其频率间隔为 0.1 THz,设置 PAM 脉冲序列的速率为 50 Gb/s,将 PAM4 电信号加载到马赫-曾德尔调制器(MZM)上,实现对不同波长光载波的强度调制,由此产生的 4 路 PAM4 光信号同时进入阵列波导光栅(AWG)完成波分复用,送入光纤完成下行信号的传输。复用后的光信号频谱图如图 2 所示。

在 ONU 接收端,通过 AWG 将光信号解复用,按照中心频率送入不同的 ONU 接收。在每个 ONU 内,接收到的光信号由分光器分成 2 路:一路由光接收机完成光电转换后,再通过滤波器得到不同中心频率的

下行信号,最后通过解调器解调 PAM4 光信号得到原始信息;另一路注入到 RSOA 中,通过 RSOA 的增益饱和效应抹去下行光信号中所携带的信息得到原始光载波,然后将上行信息送入 RSOA,对恢复出的光载波进行上行信号的再调制及放大,完成对上行信号的调制。最后,通过 AWG 复用后送入光纤传输,在 OLT 接收端通过光接收机完成光/电转换,经解调后得到原始信息,从而完成上行信号的传输与接收,实现 WDM-PON 系统的双向通信。

1.2 PAM4 产生方式

随着单信道的速率不断增加,PAM4 方式出现在许多速率超过 50 Gb/s 的标准中。PAM4 信号有 4 个幅度的电平,每个符号可以传输 2 bit 的信息,与传统的双电平 NRZ 码型相比,PAM4 的频谱效率是 NRZ 的 2 倍。那么在传输速率相同的条件下,PAM4 占用的带宽是 NRZ 的一半。因此,可以使用 25 GHz 的光器件完成 50 Gb/s 信号的传输^[10],这在前传网络迈向 50G 平台的演进中有重要意义。

目前,最常见的 PAM4 电信号产生方式是由 2 路 NRZ 码型发生器合成 1 路 PAM4 码型发生器;2 路 NRZ 码型发生器输出 2 路速率完全一致的 NRZ 信号,调节 2 路信号的相位,使之初始相位完全相同,其中一路的幅度为满幅度,另一路通过调节衰减器使其幅度衰减为原来的一半,即可将 2 路双电平的 NRZ 的信号合并为一四电平的 PAM4 信号。

2 系统仿真及结果分析

本文使用仿真软件 Optisystem 搭建了 4 路 WDM-PON 系统,选其中一路信号为例说明,单路双向传输系统结构框图如图 3 所示。

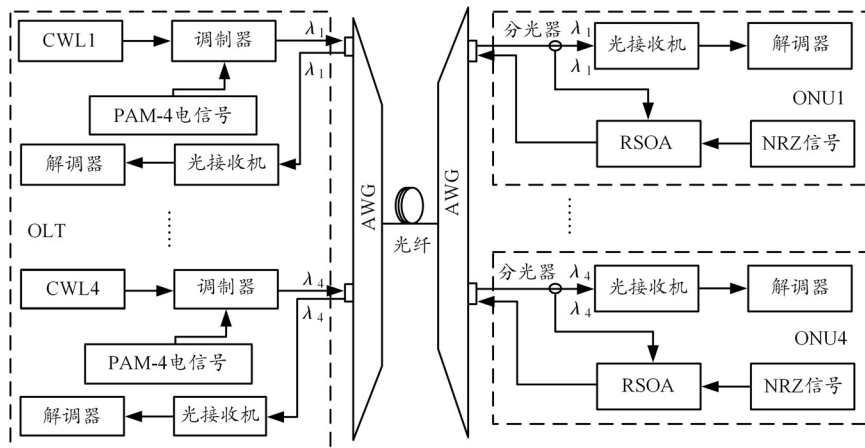


图 1 WDM-PON 系统结构

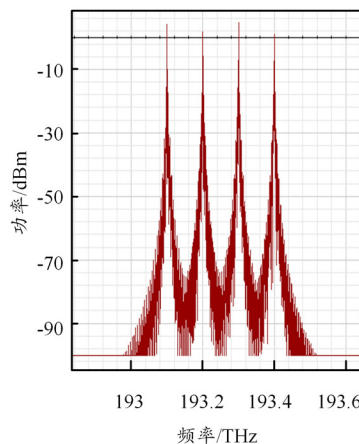


图 2 4 路信号频谱图

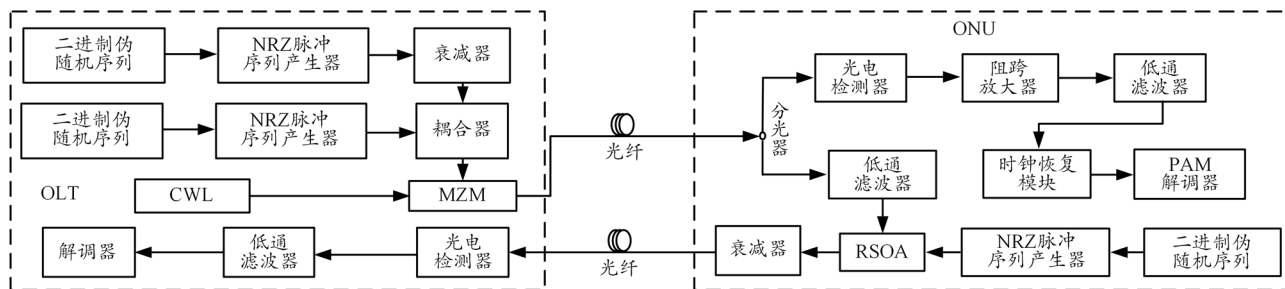


图3 单路双向传输系统结构框图

在系统 OLT 端,设置 2 路二进制伪随机序列充当系统下行信号的原始信息,速率均设置为 25 Gb/s,序列长度为 2^{10} ,并分别送入 2 个 NRZ 码发生器,产生 2 路速率、振幅和相位相同的 NRZ 电信号;随后将其中一路 NRZ 电信号送入衰减器衰减一半的幅值后,再送入耦合器与另一路满幅 NRZ 信号耦合,即可得到 50 Gb/s PAM4 电信号。下行方向使用 CWL,分别设置 4 个光载波频率为 193.1 THz、193.2 THz、193.3 THz 和 193.4 THz。MZM 的消光比为 30 dBm。此时,把 PAM4 信号送入 MZM,MZM 对光载波进行外调制,得到 PAM4 光信号。选择频率为 193.1 THz 的信号为例作进一步解释,PAM4 信号的波形图和调制后的光频谱图如图 4 所示。

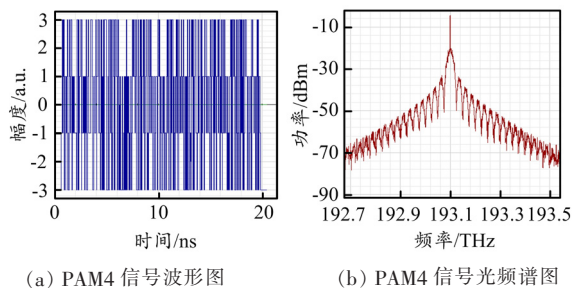


图4 PAM4 信号波形图和调制后的光频谱图

在 ONU 端,把出纤的 PAM4 光信号分成 2 路:一路光信号经滤波器滤波后送入 RSOA;另一路由光电检测器接收,完成光电转换后,将 PAM4 电信号送入阻跨放大器进行一定强度低噪声放大,再先后通过低通滤波器和时钟恢复模块。在实际的 PAM4 信号传输过程中,由于合成 PAM4 的 2 路 NRZ 信号的相位不能对准,以至于 2 路 NRZ 信号错位,眼图凌乱,根本不能满足传输条件^[1]。因此,需要对 PAM4 信号进行时钟恢复。在 OLT 端将产生的 PAM4 电信号由分路器分成 2 路:一路信号是系统中所传输的信号,另一路作为基准信号。接收端收到的 PAM4 信号通过低通贝塞尔滤波器后,与基准信号送入时钟恢复模块进行时钟恢

复,实现与数据同频率、同相位时钟的恢复,解决了信号时钟恢复的问题。无时钟恢复和有时钟恢复的信号如图 5 所示。

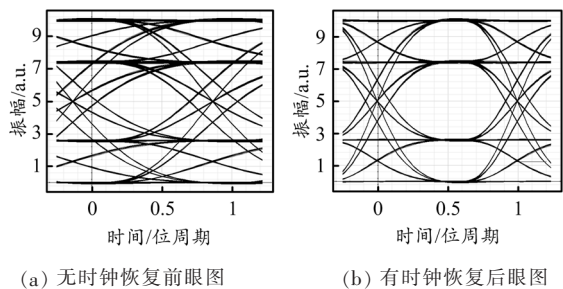


图5 有无时钟恢复的眼图

将时钟恢复后的 PAM4 信号送入判决器,对信号的 4 个电平进行判决。最后 PAM4 解码器对判决后的信号进行解码,恢复出原始信息。

下行信号眼图如图 6 所示。本文设置发射功率为 0 dBm,标准单模光纤(SMF)的长度分别为 10 km、20 km。对比图 6(a)、图 6(b)可以看出,下行信号的传输质量随传输距离的增加而降低。在传输 20 km 后,由于色散的影响,下行信号的眼图已经严重劣化,不能分辨眼开程度,判决器不能准确判定 4 个电平的幅值,其信号质量不能满足通信要求。为了满足传输 PAM4 的误码率要求,需要色散补偿模块。与在每个 ONU 中使用 DSP 技术来补偿色散相比,采用色散补偿光纤(DCF)更经济,且 DSP 处理信号由于其计算复杂会导致系统的延时增加^[2]。设 SMF 的长度为 16.7 km,DCF 的长度为 3.3 km (设置为后置补偿)。其中,SMF 损耗系数为 0.2 dB/km、色散系数为 17 ps/(nm·km);DCF 损耗为 0.5 dB/km、色散系数为 -85 ps/(nm·km)。从图 6(c)可以看出,经过色散补偿后的眼图眼线细且轮廓非常清晰,眼开很大,即下行信号的质量很好。

为了分析不同发射功率对下行信号传输的影响,在背靠背情况下,从 -5~10 dBm 不断增大发射光功率,眼图质量逐渐变好。这是因为背靠背传输时,系统

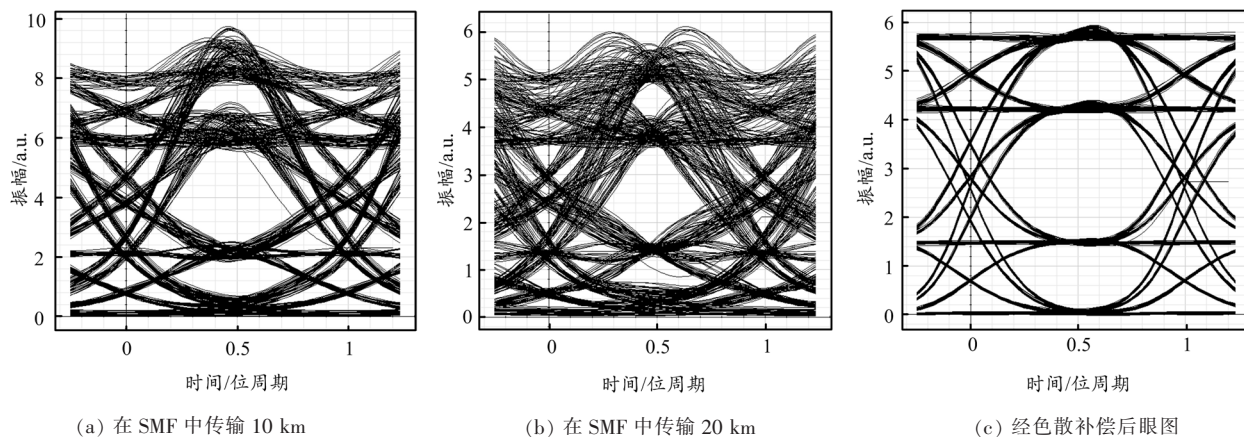


图 6 下行信号眼图

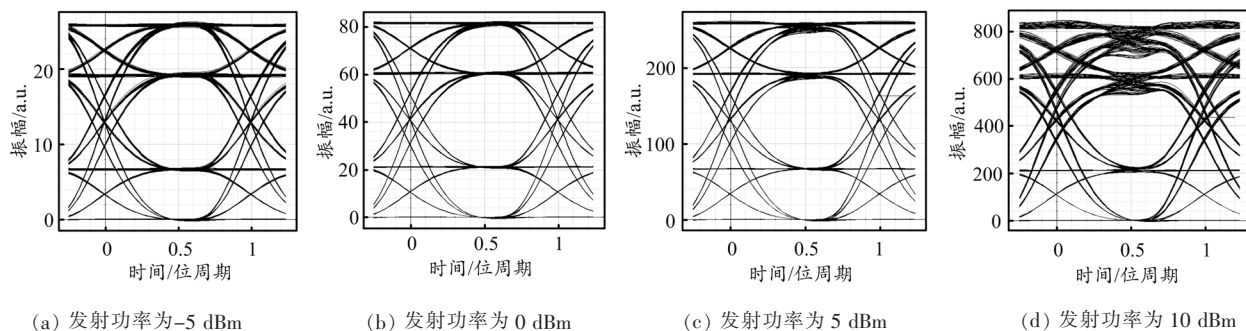


图 7 不同发射功率下的下行信号眼图

中的不利因素只有损耗。但是经过 20 km 光纤传输后,随着发射光功率的不断增大,眼图质量先逐渐变好后开始逐渐变坏,得到不同发射光功率下的下行信号眼图如图 7 所示。实验数据表明:当发射光功率大于 2 dBm 且逐渐增大时,影响信号传输质量的主要原因是光纤非线性效应,系统将主要表现为非线性受限。

为了验证系统下行传输性能,在不同入纤光功率下,得到了下行信号的误码率如图 8 所示。当入纤光功率为 2 dBm 时,下行信号经过 16.7 km SMF 和

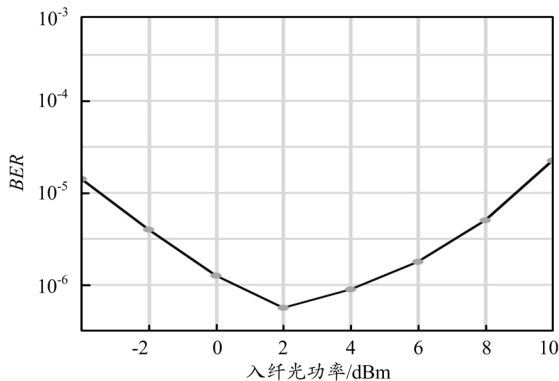


图 8 下行信号误码率(BER)与入纤光功率关系

3.3 km DCF 传输后,其误码率为 3.4×10^{-6} ,满足了 PAM4 信号的误码率(低于 10^{-5})要求。

上行传输系统中,上行信号采用 NRZ 调制格式。将分光器分出来的一路光信号送入光贝塞尔滤波器,随后送入 RSOA,利用 RSOA 对下行信号的信息进行擦除,恢复出光载波后再进行上行信号的再调制、放大,设置上行二进制伪随机序列的速率为 10 Gb/s。由于 RSOA 有放大作用,当上行信号的发射功率为 16 dBm 时,因为功率过大,传输中会受到明显的非线性效应的影响。本文将 RSOA 调制后的上行光信号通过衰减器衰减 11 dBm 后,再送入光纤传输。图 9(a)是背靠背上行信号 OLT 端接收到的眼图,其 Q 值约为 31.2。光信号经过 20 km 的 SMF 传输后,可以看出图 9(b)的眼图很不理想,无法看出眼图的“眼睛”,满足不了系统传输性能。

为了补偿色散,提升信号的传输性能,本文将光纤链路换为 16.7 km SMF 和 3.3 km 的 DCF。经过色散补偿后,OLT 端接收到的信号眼图如图 9(c)所示,眼开程度很大,轮廓清晰,表明色散补偿光纤很好地抑制了光纤色散, Q 值也达到了 24.5,上行传输系统性能良好,可以满足系统传输性能要求。

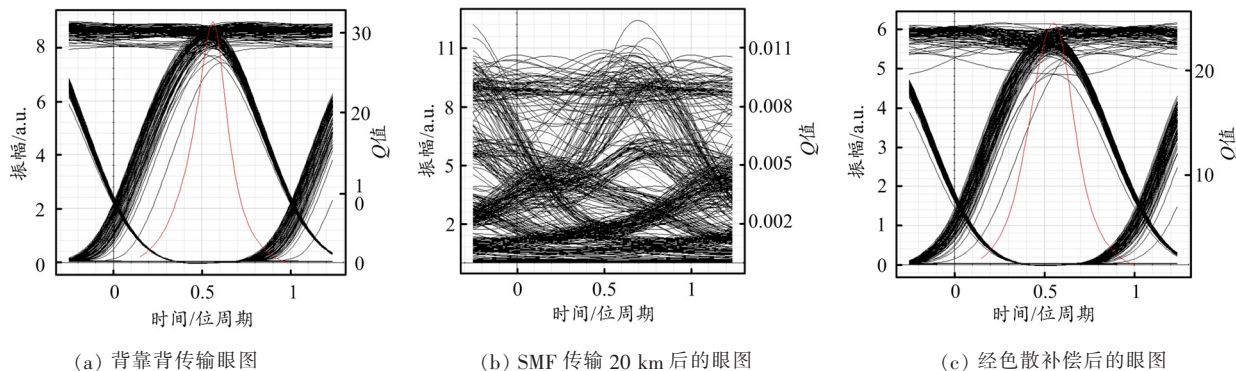


图 9 上行信号眼图

3 结束语

本文将基于 RSOA 再调制的 WDM-PON 系统作为前传网络的承载方案,其中下行传输系统采用外调制生成的 50 Gb/s PAM4 光信号,上行传输系统采用通过 RSOA 生成的 10 Gb/s NRZ 信号,构成 4 路不对称传输架构的 WDM-PON 前传网络,并在仿真平台上搭建了该系统,对系统的传输性能进行了仿真和分析。结果表明:采用 50 Gb/s 的 PAM4 信号作为下行系统的调制格式,当入纤功率为 2 dBm 时,下行信号的眼图最优;在有部分色散补偿的情况下传输 20 km 后,传输性能良好,能满足传输性能要求。上行传输系统中由 RSOA 再调整产生 10 Gb/s 的 NRZ 信号,在有部分色散补偿的情况下传输 20 km 后,眼图轮廓清晰,眼开度大,信号传输质量也可满足传输性能要求。因此,本文提出的 4×50 Gb/s WDM-PON 系统方案可用于承载前传网络。

参考文献:

- [1] PIZZINAT A, CHANCLOU P, SALIOU F, et al. Things you should know about fronthaul [J]. Journal of Light-wave Technology, 2015, 33(5): 1077-1083.
- [2] HARSTEAD E. 25G Based PON Technology [C]//2018 Optical Fiber Communications Conference and Exposition (OFC), March 11-15, 2018, San Diego, USA. Washington: IEEE, 2018: 1-3.
- [3] HOUTSMA V, VAN V D, HARSTEAD E. Recent progress on standardization of next-generation 25, 50, and 100 G EPON [J]. Journal of Lightwave Technology, 2017, 35(6): 1228-1234.
- [4] KRAMER G, ANDRADE M D, ROY R. Evolution of Optical Access

Networks: Architectures and Capacity Upgrades: Proceedings of the IEEE [C]. Washington: IEEE, 2012: 1188-1196.

[5] ZOU J, WAGNER C, EISELT M. Optical fronthauling for 5G mobile: A perspective of passive metro WDM technology [C]//Optical Fiber Communications Conference and Exhibition (OFC), March 19-23, 2017, Los Angeles, USA. Washington: IEEE, 2017: 1-3.

[6] 陈炜,宋英雄,李正璇,等. 基于 25 GHz 光器件的 50 Gb/s PAM4 传输实验研究[J]. 光通信技术,2018,42(12):35-38.

[7] TAO M, ZHOU L, ZENG H, et al. 50 Gb/s/λ TDM-PON based on 10 G DML and 10 G APD supporting PR10 link loss budget after 20km downstream transmission in the O-band[C]//Optical Fiber Communications Conference and Exhibition (OFC), March 19-23, 2017, Los Angeles, USA. Washington: OSA, 2017: 1-3.

[8] LI Z, WEN Y, LIU T, et al. DSP free 56Gb/s ODB generation using silicon photonic modulator with high tolerance to CD and MPI[C]//Optical Fiber Communications Conference and Exhibition (OFC), March 20-24, 2016, Los Angeles, USA. Washington: OSA, 2016: 1-3.

[9] DAS, SUNDAR A, PATRA A S. RSOA-Based Full-Duplex WDM-PON for 20 Gbps Transmission in Two Channels Over a Long-Haul SMF Using External Modulation Scheme[J]. Journal of Optical Communications, 2015, 36(3): 231-235.

[10] ZHONG K P, ZHOU X, WANG Y G, et al. Amplifier-Less Transmission of 56Gbit/s PAM4 over 60 km Using 25 Gbps EML and APD [C] //Optical Fiber Communications Conference and Exhibition (OFC), March 19-23, 2017, Los Angeles, USA. Washington: IEEE, 2017: 1-3.

[11] 朱梅冬,陆建鑫. PAM4 技术在光通信应用中的系统分析[J]. 中兴通讯技术,2018,24(4):33-37.

[12] ALEKSEJEVA M, SPOLITIS S. Performance Investigation of Dispersion Compensation Methods for WDM-PON Transmission Systems [C]// 2017 Progress In Electromagnetics Research Symposium-Spring (PIERS), May 22-25 2017, St. Petersburg, Russia. St. Petersburg: IEEE, 2017: 2437-2442.

欢迎投稿, 欢迎订阅!