

基于 RSOA 再调制 WDM-PON 的移动前传调制方式

张春蕾, 赵 凯, 杨勋发

(兰州交通大学 电子与信息工程学院, 兰州 730070)

摘要: 将波分复用无源光网络(WDM-PON)作为移动前传解决方案,研究了基于 RSOA 的 WDM-PON 移动前传网络在下行速率 40Gb/s、上行速率 10Gb/s 时不同调制方式对系统性能的影响。上行信号采用不归零(NRZ)码,下行信号分别采用光双二进制(ODB)、改进型双二进制(MDB)、4 阶强度调制(PAM-4)和差分相移键控(DPSK)调制方式。通过建立仿真系统,研究 4 种下行调制方式时的系统性能,测得了上/下行信号的眼图和 Q 值。

关键词: 波分复用无源光网络;反射型半导体光放大器;差分相移键控;4 阶强度调制

中图分类号: TN929 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-5561(2018)02-0009-04

DOI: 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2018.02.003

Modulation method of mobile fronthaul based on RSOA re-modulation WDM-PON

ZHANG Chunlei, ZHAO Kai, YANG Xunfa

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

Abstract: This paper taking WDM-PON as mobile fronthaul solution, studied the effect of different modulation schemes on the WDM-PON mobile fronthaul network system performance, which is based on the RSOA. The study was conducted at a downlink rate of 40Gbit/s and an uplink rate of 10Gbit/s. With uplink signals using no-return-to-zero (NRZ) modulation mode, the downlink signals use optical duobinary (ODB), modified duobinary (MDB), 4 order pulse amplitude modulation(PAM-4), differential phase shift keying(DPSK) modulation method respectively. In software, a simulation system is established to study the system performance of four descending modulation methods. The eye diagram and Q values of the up/down link signals are detected.

Key words: wavelength division multiplexing PON (WDM-PON); reflective semiconductor optical amplifier(RSOA); differential phase shift keying (DPSK); 4 order pulse amplitude modulation (PAM-4)

0 引言

随着移动通信技术的发展,集中式无线接入网(C-RAN)成为 5G 关键结构^[1]。而作为 C-RAN 结构中的新技术,集中式基带单元(BBUs)和远端射频单位(RRU)之间的移动前传网络需要支持高容量的点对点连接。考虑到移动前传网络中网络设备的不断增多、空口速率不断增大以及对成本的敏感性,波分复用无源光网络(WDM-PON)被认为是移动前传网络的解决方案之一^[2]。随着光网络技术的进步,人们提出基于“无色”ONU 的 WDM-PON 实现方案,以有效降低

WDM-PON 的实现成本。其中,基于反射型半导体光放大器(RSOA)再调制的方案是最具潜力的 WDM-PON 系统无色解决方案。在 40Gb/s 及以上的高速通信系统中,由于信道传输中的色度色散(CD)、非线性效应、偏振模色散和放大器噪音等因素会对信号传输产生较大影响,因此码型调制技术是影响 WDM-PON 系统性能的关键^[3]。为了减少色散和非线性效应对 WDM-PON 的性能影响,新型的调制码型在 40Gb/s 速率的 WDM-PON 移动前传系统中意义重大。本文将 WDM-PON 系统应用于移动前传网络结构中,下行调制格式分别采用光双二进制(ODB)、改进型双二进制(MDB)、4 阶强度调制(PAM-4)和差分相移键控(DPSK)调制方式,以得到适用于移动前传网络的调制格式。

收稿日期:2017-09-28。

作者简介:张春蕾(1976-),女,博士,副教授,主要从事光网络方面的教学和研究。

1 基于 RSOA 再调制的 8×40Gb/s WDM-PON 系统

WDM-PON 被普遍认为是最具潜力的下一代宽带光接入技术。而基于 RSOA 再调制 WDM-PON 是最具低成本潜力的无色 ONU 方案。该方案中,利用 RSOA 的增益饱和效应擦除下行信号所携带的信息,之后对该波长进行再调制来传输上行信号^[4]。WDM-PON 系统方案中每个波长只需要在 OLT 端设置激光器,就可以实现 OLT 到 ONU 间的双向通信,从而降低系统成本和复杂度。

基于 RSOA 再调制的 8×40Gb/s WDM-PON 系统框图如图 1 所示,在下行方向,OLT 端采用 NRZ 调制

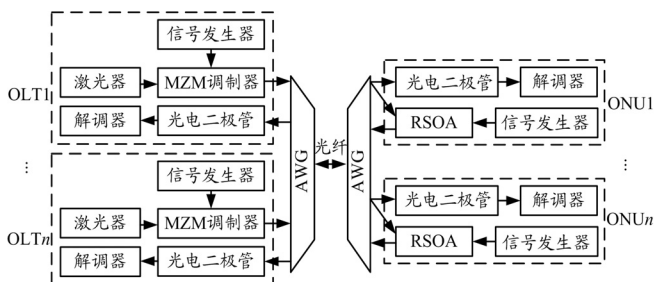


图 1 WDM-PON 系统框图

方式调制下行信号,调制速率为 40Gb/s,中心频率为 193.1~193.8THz,频率间隔 0.1THz。经过马赫-曾德尔调制器(MZM)外调制后的信号通过阵列波导光栅(AWG)进行 8:1 合路复用,复用后的信号光谱图如图 2 所示。由图 2 可知,复用后信号中心频率与发送端激光器频率一致,复用后的信号经过 20km 光纤传输送入解复用器,按照中心频率送入不同的 ONU 接收。ONU 处接收到的信号将被分为两部分,一部分送入光接收机完成接收,另一部分注入到 RSOA,利用 RSOA 的增益饱和效应对下行数据进行擦除,完成光载波的恢复,然后直接调制到该波长传输上行数据,发送回 OLT,从而完成 WDM-PON 的双向通信^[5]。

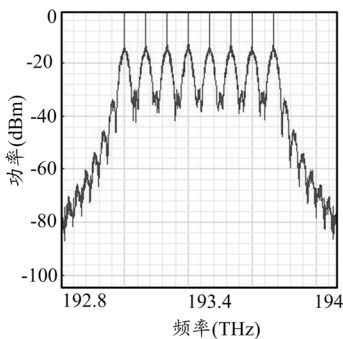


图 2 WDM-PON 信号频谱图

2 调制方式

随着单信道速率的增加,光纤色散与非线性效应成为高速率光传输系统的主要限制因素。因此,人们提出新型调制码型以提高系统的色散容限和非线性

容限,同时新型调制技术把强度、相位甚至偏振态相结合,提高了系统的光信噪比、群速度色散、偏振模色散容限和光谱效率。以下介绍光双二进制(ODB)、改进型双二进制(MDB)、差分相移键控(DPSK)和 4 阶强度调制(PAM-4)4 种调制方式,并将其应用于移动前传 WDM-PON 系统中。

2.1 ODB

在光纤通信系统中的双二进制调制有两种产生方式,一种采用三电平幅度调制,这种方式需要在接收机添加双二进制解码电路,与传统二进制系统相比,三电平判决会导致接收机灵敏度劣化;另一种是在光上使用二电平(即 ODB),使用 MZM,将幅度调制和相位调制(AM-PSK)相结合,与传统二进制系统接收机兼容,不导致灵敏度劣化,只需要适当改变发射机电路。本文选择第二种双二进制调制方式,即 ODB。ODB 码可以将信号的带宽压缩为信号速率的 1/4,采用 1bit 延迟相加的方式产生。ODB 信号的谱宽相当于传统二进制直接调制信号的一半,有着更高的色散容限和更长的传输距离。在 WDM 系统中,由于 EDFA 增益带宽有限,采用 ODB 传输可以提高频谱利用率^[6]。ODB 信号的产生首先用预编码器和双二进制脉冲发生器生成 NRZ 双二进制信号,进入第一级 MZM,然后用 40GHz 频率的正弦信号驱动第二级 MZM,最后将两个调制器连接起来,即得到 ODB 信号。

2.2 MDB

MDB 调制格式与 ODB 略有不同,在电域编码的电双二进制部分,普通双二进制编码发射端由延时和相加单元构成,而 MDB 调制发射端由延时和相减单元构成。因此,MDB 调制格式的优势是具有载波抑制特征,即其中的“1”码会进行相位翻转,从而达到抑制载波分量,提高调制格式的功率效率的作用,并且可以降低光纤中的非线性效应如自相位调制、交叉相位调制和四波混频等的影响。MDB 码的产生可以用两级 MZM 来实现:驱动第一级 MZM 的 NRZ 双二进制信号,通过延迟,产生相减电路;驱动第二级 MZM 的为 20GHz 频率的正弦信号,将两个调制器相连,即得到 MDB 信号。

2.3 DPSK

DPSK 是指利用调制信号前后码元之间载波相对相位的变化来传递信息。本文实现的为占空比 33% 的 RZ-DPSK 信号。用双二进制预编码器对 NRZ 信号编码驱动第一级 MZM,并调制 CW 激光器信号的相位,用频率为 20GHz 的正弦脉冲驱动第二级 MZM,将两

个调制器相连即得到 RZ-DPSK 信号。RZ-DPSK 在发射端采用幅度调制和相位调制相结合,信息由相邻光脉冲的差分相位变化来表示,而光脉冲仅作为载波使用。

2.4 PAM-4

PAM-4 是一种 4 电平的强度调制格式,每个符号提供 2bit 的信息。因此 PAM-4 能够提供实现 $2b/s \cdot Hz$ 的频谱效率,与传统的 OOK 调制格式相比,在不降低比特率的情况下,对光电、电光器件的带宽要求可降低一半。在无源光网络等低成本光传输网络中,PAM-4 已经成为实现高速光纤传输的主要方案。在相同的波特率下,PAM-4 码型信号的传输速率是 NRZ 码的两倍,能携带更多的信息,并且具有更高的传输效率。PAM-4 信号通过两路速率为 20Gb/s 的脉冲叠加得到。将其中一路衰减 3dB,并与另一路耦合,即可得到 4 电平脉冲原始电信号。在软件中也可以直接使用 PAM 脉冲发生器产生的 PAM-4 电信号驱动 MZM 产生 PAM-4 光信号。

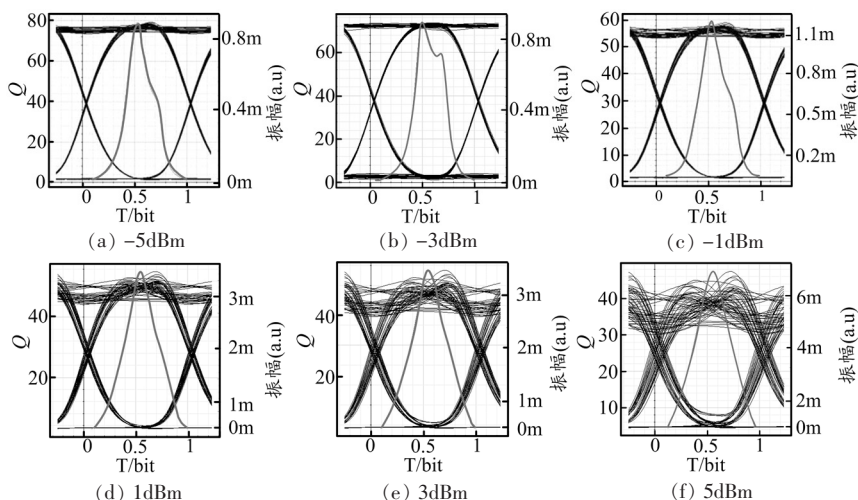


图 3 不同发射功率时的下行眼图

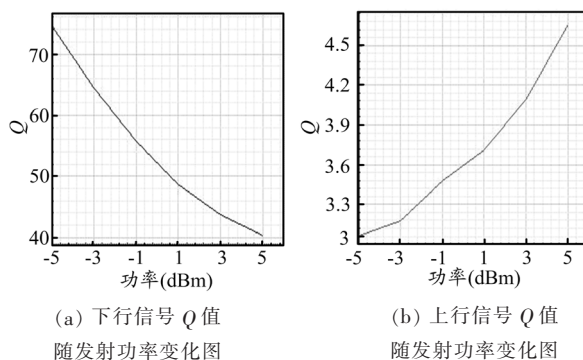


图 4 下行/上行信号 Q 值随发射功率变化图

3 仿真结果与分析

3.1 WDM-PON 系统仿真结果分析

WDM-PON 系统中的下行信号速率设为 40Gb/s,用 NRZ 码结合 MZ 外调制器对下行信号进行调制;上行信号速率 10Gb/s,使用 NRZ 码结合 RSOA 对上行信号进行再调制。传输距离 20km,由 16.7km 的标准单模光纤和 3.3km 的色散补偿光纤组成,色散补偿方式选择后置补偿。改变下行信号的发射功率,得到不同功率的下行眼图和信号 Q 值,分别如图 3、图 4(a)和图 4(b)所示。根据 Q 值的定义,Q 值可以表征光信噪比(OSNR)和误码率(BER),Q 因子越大,BER 越小,对于 40G 系统而言当 Q 值大于 3 时,可以认为信号质量满足传输需要。这里只对中心频率为 193.1THz 的信号进行分析。

由图 3、图 4 可以看出,当发射功率由 -5dBm 增加到 5dBm 时,下行信号眼图张开程度越来越小,同时眼线变粗,表示眼图的质量逐渐劣化。同样,下行信号的 Q 值也在逐渐降低,因此随着发射功率的增加,下行信号质量逐渐下降,这是因为当发射功率增大时,信道间串扰也会增大,从而导致信号质量下降。反观上行信号 Q 值,由于上行信号传输距离是下行信号的两

倍,上行信号 Q 值要低于下行 Q 值,然而随着下行反射功率的增大,上行信号的 Q 值也不断增大,因为此时 RSOA 还是工作在饱和区。总的来说,在保持其它参数不变时,下行接收信号明显优于上行接收信号,随着发射功率的增加,下行信号逐渐变差,上行信号逐渐变好。为使上/下行信号同时满足系统需求,可将发射功率设置为 0dBm,此时下行信号 Q 值为 52 左右,上行信号 Q 值约为 3.5,上/下行信号都可以满足传输需求,对应 0dBm 时的下行眼图和 Q 值如图 5(a)所示,上行眼图和 Q 值如图 5(b)所示。

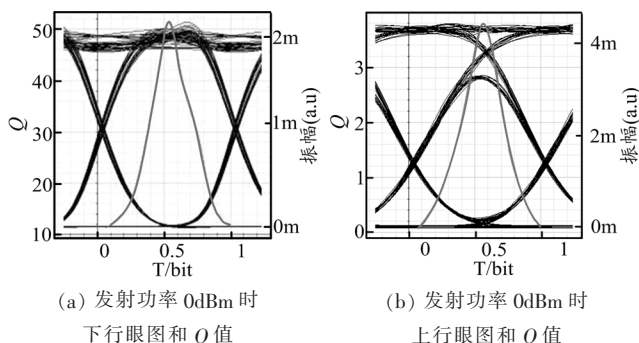


图 5 发射功率 0dBm 时下行/上行眼图和 Q 值

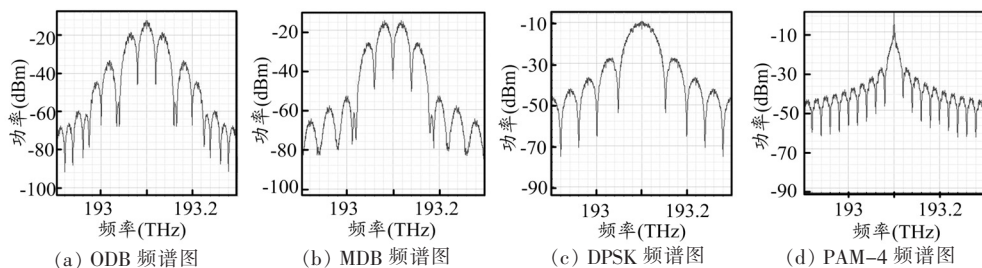


图 6 4 种调制格式频谱图

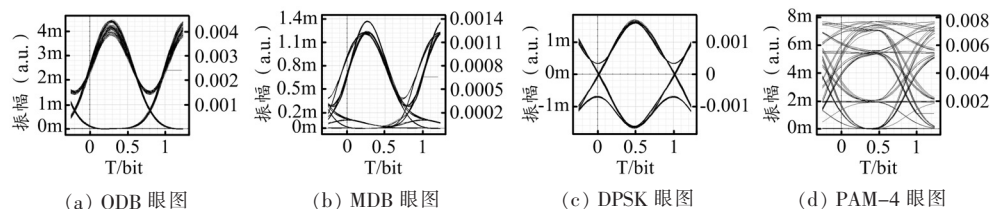


图 7 4 种调制格式眼图

3.2 调制格式的影响

4 种调制格式的频谱图如图 6 所示,其中 PAM-4 信号是一种 4 电平强度调制格式,每 bit 传输容量是其它信号的 2 倍,因此具有最窄的信号频谱,PAM-4 信号谱宽约为 40GHz。同样,ODB 信号频谱宽度也为 40GHz,且旁瓣衰落也比较快。因此,这两种信号具有最高的色度色散容限。MDB 信号谱宽为 80GHz,在光载频 193.1THz 处,除了没有载频分量外也没有直流分量,即在光载频 193.1THz 处形成了一个“凹谷”,使其具有更强的非线性容忍度。DPSK 信号谱宽为 100GHz,在基带和一阶边带中不含有任何线性光谱,受非线性影响较小。

将上述 4 种调制格式应用于 WDM-PON 系统中,仅需改动下行调制模块和下行接收模块。系统统一发送功率为 0dBm,得到仿真结果,我们分别比较各个系统的下行眼图和上/下行信号 Q 值,从而判断系统性能。各系统下行眼图如图 7 所示,从中可以看出,经过 20km 光纤传输后,DPSK 调制方式的眼图张开度最大,眼线最细,下行 Q 值为 58,上行 Q 值为 8,这表明 DPSK 调制方式可以同时使上/下行信号传输效果最好。ODB 信号和 MDB 信号眼图张开度相似,下行信号的 Q 值分别为 40 和 38,上行信号 Q 值分别为 6.2 和 5.5,因此两种都信号都满足上/下行传输需求,传输效果较好,在短距离传输中两种信号的性能差异并不能很好地体现。虽然 PAM-4 信号因多电平判决机制造成其眼图不如以上 3 种调制方式,但其下行信号 Q 值为 22、上行信号 Q 值为 3.2,均可满足系统传输需求;又由于其可以用低速器件完成高速传输任务,调制过程中也仅需一个 MZM 调制器,因此可以作为系统升

级过程中的方案,从而减少系统改造成本。综上所述,4 种调制格式都可应用于移动前传 WDM-PON 系统中,而 DPSK 调制方式由于可以取得最佳传输效果,成为首选方案。

4 结束语

本文将 WDM-PON 系统应用于移动前传网络结构中,首先分析了基于 RSOA 的 WDM-PON 移动前传系统结构及 4 种调制方式,然后对系统进行仿真,下行信号

为速率 40Gb/s 的 NRZ 信号,上行信号为速率 10Gb/s 的 NRZ 信号,结果显示:当发射功率为 0dBm 时,上/下行信号都可满足移动前传系统传输需求。改变下行调制方式分别为 ODB、MDB、DPSK 和 PAM-4,仿真 4 种不同调制方式的 WDM-PON 移动前传系统,测得上/下行信号的眼图和 Q 值,结果显示:当下行信号调制方式为 DPSK 时,系统性能最佳,同时 ODB、MDB 和 PAM-4 三种调制方式也能在不影响系统性能的情况下完成系统传输,可以作为 WDM-PON 系统下行调制方案应用于移动前传网络。由于 WDM-PON 的波长独立的特性,不同波长通道可以采用不同协议、速率、码型承载不同业务,使得 WDM-PON 系统在移动前传网络中的应用可以更加灵活。

参考文献:

- [1] SALIOU F, SIMON G, CHANCLOU P, et al. Self-Seeded RSOAs WDM PON Field Trial for Business and Mobile Fronthaul Applications[C] //Optical Fiber Communication Conference (OFC) March 24, 2015, Los Angeles. New York: OSA, 2015: M2A.2.
- [2] GATTO A, PAROLARI P, COMBIET L, et al. Fronthaul based on pulse-width modulation in RSOA WDM PONS with broadband and coherent seeds [J]. Journal of Optical Communications and Networking, 2016, 8 (11): B55-B60.
- [3] 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.
- [4] 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, 34(3): 482-485.
- [5] 蒋莉玲,姜淳. 基于 RSOA 再调技术 40Gb/s 传输系统研究[J]. 信息技术, 2014(9): 110-112, 117.
- [6] 王欣. 高速光纤通信系统调制格式的研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2007: 26-36.