



基于差分相位再调制与时延干涉检测的 WDM-PON 辅助管理和控制通道实现方法

罗滨¹, 刘涌², 陆继钊¹, 巩锐¹, 杨宏宇², 袁秋实²

(1. 国网河南省电力公司信息通信公司, 河南 郑州 450052; 2. 上海博英信息科技有限公司, 上海 200240)

摘要: 波分复用无源光网络 (wavelength-division multiplexed passive optical network, WDM-PON) 中, 操作管理和维护数据路径与用户数据路径在传输汇聚层是彼此独立的。操作管理和维护数据可以通过透传和码传两种方式进行发送。其中, 透传方式由于无需额外的转码器件以及具有低时延等特性被广泛应用于各种行业网络。不同于现有的透传模式, 即基带再调制和射频通道, 提出了一种新型的基于差分相位再调制与时延干涉检测的辅助管理和控制通道实现方法。所提方法的辅助管理和控制信号以相位参数再调制于用户信号之上, 而用户信号采用传统强度调制, 因此辅助管理和控制信号的再调制过程将不会对用户信号质量产生影响。相对地, 基带再调制和射频通道都会对用户信号造成扰动, 这在抖动要求较高的行业网内是不允许的。所提方法被认为是波分复用无源光网络中一种有效的辅助管理和控制通道的实现方法。

关键词: 波分复用无源光网络; 操作管理和维护数据; 辅助管理和控制通道

中图分类号: TN913.7

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2018233

Realization of auxiliary management and control channel in WDM-PON based on DBPSK re-modulation and delay interferometer detection

LUO Bin¹, LIU Yong², LU Jizhao¹, GONG Rui¹, YANG Hongyu², YUAN Qiushi²

1. HAEPC Information & Telecommunication Company, Zhengzhou 450052, China

2. Shanghai Proinvent Info Tech Co., Ltd., Shanghai 200240, China

Abstract: In WDM-PON, the OAM data path and user data path were independent in the TC layer. The OAM data could be transmitted either transparently or by codec. Specifically, the transparent mode was preferred by the industry network due to the free of codec and low latency. Different from the existing transparent modes, such as base-band re-modulation and RF band, a novel method for the realization of auxiliary management and control channel was proposed, which was based on the DBPSK re-modulation and delay interferometer detection. Since the OAM data was re-modulated on the phase of user data, which was modulated intensively, it would not take any impact on the quality of user data. But, in both base-band re-modulation and RF band methods, the re-modulation of OAM data would introduce interference to the user data, which was not allowed in the demanding industry network. The proposed method is thought promising as one of the solutions for auxiliary management and control channel in WDM-PON.

Key words: WDM-PON, OAM, AMCC

收稿日期: 2017-11-13; 修回日期: 2018-08-09

通信作者: 杨宏宇, proyanghongyu@126.com



1 引言

随着互联网应用的不断发展,如大数据、云计算、高清视频等,光网络演化已经步入 5G 时代。5G 网络拟提供业务的主要特征包括大带宽、低时延和海量连接,从而对承载网的带宽、容量、时延和组网灵活性提出了新的需求^[1-2]。可重构光分插复用器和波分复用光层技术可以提升光纤传输容量至 Tbit/s 级别,并大幅降低网络时延^[3]。基于波分复用技术的无源波分方案,将彩光模块安装在无线设备上,如有源天线处理单元(active antenna unit, AAU)和分布单元(distributed unit, DU)^[4-5],再通过无源的合/分波板卡完成波分复用功能,利用一根光纤可以实现多个 AAU 到 DU 汇聚单元之间的连接,如图 1 所示。相比于光纤直连方案,无源波分方案的好处是节省了光纤资源,但是也存在一定的局限性。局限性主要体现在其每个 AAU 使用不同波长,需要波长可调彩光模块;如若采用固定波长的彩光模块,则对光模块的管理、备品备件等带来诸多困难^[6]。

辅助管理和控制通道用于实现波分复用系统的操作管理与维护^[7],操作管理与维护数据路径与用户数据路径在传输汇聚层是彼此独立的。由于无需额外的转码器以及低时延特性,操作管理与维护数据在行业网中通常采用透传方式来实现。现有的透传方式有两种^[8-9]:一种是基带再调制,即将辅助管理和控制通道的信号以基带方式叠加于用户数据之上;另一种是射频通道方式,即先将辅助管

理和控制通道信号调制到指定的射频通道,再叠加于用户数据之上。以上两种方式在进行辅助管理和控制信号叠加的时候,都会对用户数据造成一定的影响,这一点在抖动要求较高的行业网内是不允许的。本文提出了一种新型的基于差分相位再调制与时延干涉检测的辅助管理和控制通道实现方法。在所提方法中,辅助管理和控制信号将以相位参数再调制于用户信号之上。由于用户信号采用强度调制,辅助管理和控制信号的再调制过程不会对用户信号质量产生任何影响。本文通过实验验证了这种方法的可行性,将 500 kbit/s 的辅助管理和控制信号通过所提方法加载于 10.137 6 Gbit/s 的 CPRI Option-8 数据之上,并传输 20 km。实验结果表明,按照所提方法进行辅助管理和控制信号传输对用户数据造成的影响可以忽略,在 -30 dBm 的接收功率下其对应误码率可达 1×10^{-4} ,小于硬纠错码 RS(255, 39)的误码率门限^[10]。

2 原理介绍

基带再调制方法将辅助管理和控制通道信号以幅度键控方式叠加于用户信号之上形成幅度包络,该方案通过可调光衰减器或者半导体光放大器来实现。在接收端,辅助管理和控制信号所对应的幅度包络通过简单的光电探测器以及一个窄带低通滤波器来实现^[5]。射频通道方法首先将辅助管理和控制信号以幅度键控方式上变频到指定射频通道,再叠加于用户信号之上。在接收端,辅助管理和控制信号所对应的射频通道首先经过

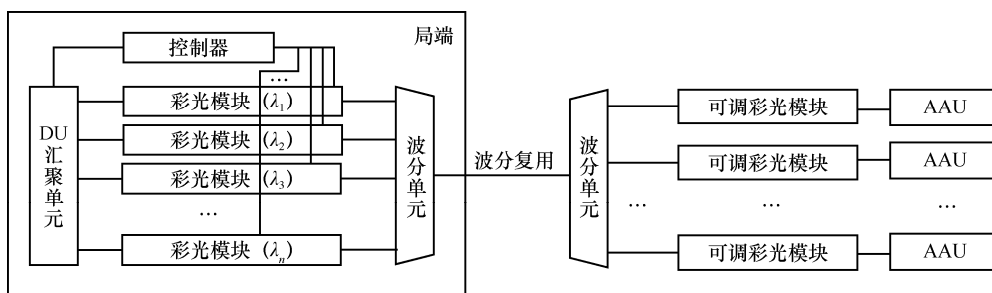


图 1 基于波分复用技术的无源波分方案

下变频, 再通过低通滤波器来实现信号恢复。以上两种方式, 辅助管理和控制信号的叠加, 不论在基带还是射频通道都会对用户信号形成干扰, 从而影响用户信号的接收质量^[5-7]。

本文提出一种基于差分相位再调制的辅助管理和控制通道实现方法。将相位调制器放置于用户信号调制器之后, 通过对辅助管理与控制信号进行二元差分相位编码以产生驱动所需差分相位信号。在接收端, 首先将接收到的光信号分成两路, 接收信号同时含有强度调制的用户信息以及差分相位调制的辅助管理与控制信息。其中一路送往光电探测器, 即用户信号接收模块, 进行用户数据的接收; 另外一路则送往所提时延干涉探测器, 将差分相位信息转化为强度信息。具体地, 在所提时延干涉探测器中输入信号先被分成两路, 其中一路信号经过一个辅助管理与控制信号的符号周期时延, 然后与另一路信号进行合波。在合波的过程中, 两路信号因时延彼此干涉, 即差分相位解码, 从而产生强度调制输出。假设时延干涉探测器的输入信号为:

$$E_i(t) = I(t)e^{j\sigma(t)} \quad (1)$$

其中, $I(t)$ 是调制于光载波幅度之上的用户信号, $\sigma(t)$ 是调制于光载波相位之上的辅助管理与控制信号。经时延干涉之后, 输出信号可以表示为:

$$E_o(t) = \frac{1}{2}(E_i(t) + E_i(t-T)) \quad (2)$$

其中, T 表示一个辅助管理与控制信号的符号周期。经光电探测器后, 最终输出信号可以表示为:

$$E(|E_o(t)|^2) = \frac{1}{4}[I(t)^2 + I(t-T)^2 + 2I(t)I(t-T)\cos\beta] \quad (3)$$

其中, β 表示两个连续辅助管理与控制信号之间的相位差。由于用户信号已经调制于载波幅度之上, $I(t)$ 不再是常数, 会导致辅助管理与控制信号质量产生一定程度的恶化。可以通过降低用户信号的消光比, 并引入一个窄带宽的低通滤波器来解决。实验发现, 在 6 dB 的用户信号消光比情况下, 辅助管理与控制信号的 Q 值损耗仅为 1 dB, 该损耗对于速率较低的辅助管理与控制信号而言可以忽略。假设 $I(t)$ 的变化可以忽略, 理想情况下当两个连续辅助管理与控制信号之间的相位差 β 为 0° 的时候, 时延干涉检测器的输出为“1”; 反之, 当 β 为 180° 的时候, 时延干涉检测器的输出为“0”。

3 实验设置

基于所提差分相位再调制方法的波分复用无源光网络辅助管理和控制通道实验装置如图 2 所示, 其中, ECL 为外腔激光器, PM 为相位调制器, AWG 为任意波形发生器, DSO 为数字采样示波器, Delay 为延时器, PD 为光电探测器, DDMZM 为双驱 MZ 调制器, VOA 为可调光衰减器。采用可调外腔激光器作为光源, 采用双臂驱动 MZ 调制器实现强度调制。双臂 MZ 调制器由 10.137 6 Gbit/s 的 CPRI (选项 8) 信号驱动, 该信号由任意波形发生器以 PRBS31 的形式产生, 采样率为 10.137 6 GSa/s。AWG 输出信号经过电放

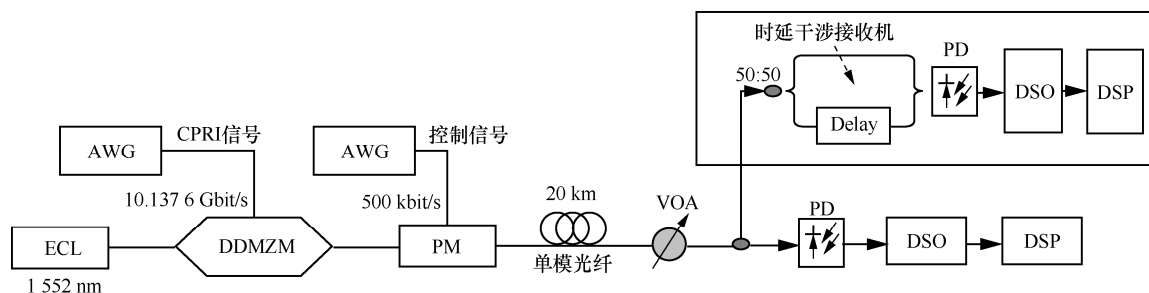


图 2 波分复用无源光网络辅助管理和控制通道实验装置



大器后的 VPP (voltage peak to peak) 为 2~3 V (可调), MZ 调制器的偏置设在线性调制区, 可以通过改变信号 VPP 以及 MZ 调制器的偏置电压来改变用户信号的消光比。在双臂 MZ 调制器后接一个相位调制器, 该调制器由 500 kbit/s 的差分相位信号驱动。该驱动信号首先以离线的方式由 PRBS7 产生, 然后经过差分相位编码, 由任意波形发生器产生, 其对应采样频率为 500 kSa/s。光分布网络由 20 km 的单模光纤以及一个可调光衰减器构成, 其中可调光衰减器用来模拟光合/分波板卡的损耗。在接收端信号被分为两路, 一路送往 CPRI 信号接收机, CPRI 信号接收机由一个光电探测器和数字采用示波器构成。另一路信号送往辅助管理和控制信号接收机。在辅助管理和控制信号接收机中, 信号首先被分成两个支路, 其中一个支路的信号被时延一个符号周期 T , 另一个支路信号保持不变。在合波干涉之后通过低速光电探测器将干涉信号接收下来, 然后由数字采样示波器进行采集。最后, 在离线程序中对采集的信号进行低通滤波, 同时进行信号与时钟恢复。

4 结果分析

尽管辅助管理和控制信号的差分相位再调制过程不会对用户信号质量造成影响, 反过来用户信号调制过程中的消光比会影响辅助管理和控制的信号质量, 这一点可以从式 (3) 看出来。这里, 消光比的定义是眼图中电平 “1” 和电平 “0” 之间的功率比值。可以通过降低 CPRI 信号的消光比, 并在接收端采用窄带宽的低通滤波器来提高辅助管理和控制的信号传输质量。在实验中, 改变了 CPRI 信号的消光比, 在接收端示波器设置 500 MHz 的低通滤波器来观察所提方法的具体性能。较低的消光比意味着电平 “1” 和电平 “0” 之间的扰动更低, 即 $I(t)$ 和 $I(t-T)$ 之间的差值更小, 因此通过时延干涉检测之后的信号

Q 值更高。如图 3 所示, 测试了在不同消光比下的信号 Q 值代价。不难发现, 当 CPRI 信号的消光比小于 7 dB 的时候, 辅助管理和控制信号的 Q 值代价不高于 1 dB。在实验中, CPRI 信号消光比变化通过改变双驱 MZ 调制器的驱动电压以及偏振来实现。

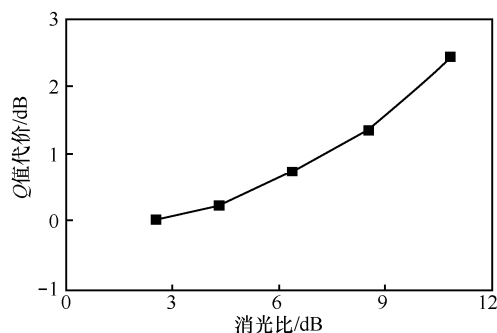


图 3 辅助管理和控制信号的 Q 值代价与 CPRI 信号消光比之间的关系

图 4 显示了所提装置的接收灵敏度。测试了两种情况: 单独发送 CPRI 信号, 即不含辅助管理于控制信号 (w/o AMCC); 含有辅助管理于控制信号 (w/AMCC)。实验中, CPRI 信号的消光比约为 6 dB。可以发现, 以上两种情况的测量曲线基本吻合, 说明辅助管理于控制信号的传输确实不会对 CPRI 信号质量造成任何影响。最佳的接收机灵敏度可以达到 -30 dBm, 这里 FEC 门限参考 RS (255/239) 的硬解码门限。假设系统入纤功率为 0 dBm, 那么整个系统的功率预算为 30 dB, 可以支持 1:256 的分光比 (24 dB 插入损耗) 并且支持 20 km 标准单模光纤传输距离。

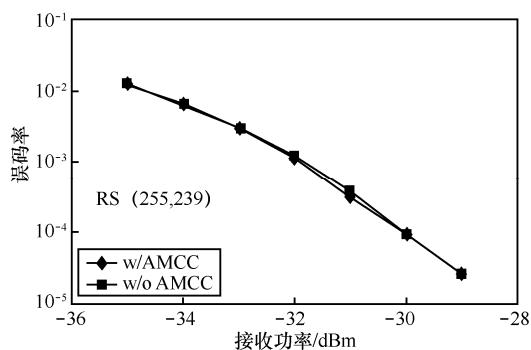


图 4 接收机灵敏度测试结果

图 5 给出了 2 种不同情况下的针对 CPRI 信号的光电探测器输出眼图。图 5 (a) 是在光背对背情况下测试的眼图, 该眼图对应接收功率为 0 dBm, 消光比为 4 dB 左右。不难发现, 在较低消光比的时候 CPRI 信号眼图中电平“0”和“1”之间的扰动更小, 这样有利于时延干涉探测进行检测。图 5 (b) 显示在 20 km 传输情况下的接收眼图, 该眼图对应接收功率为 -32 dBm, 消光比为 6 dB 左右。这种情况下, 眼图中电平“0”和“1”之间的扰动更大。

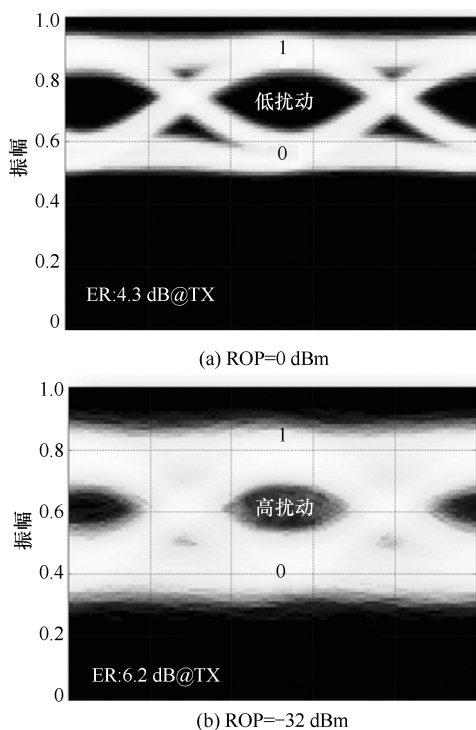
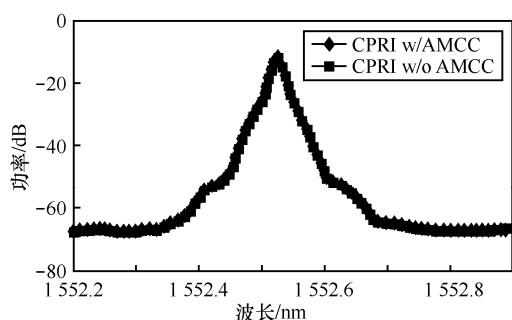
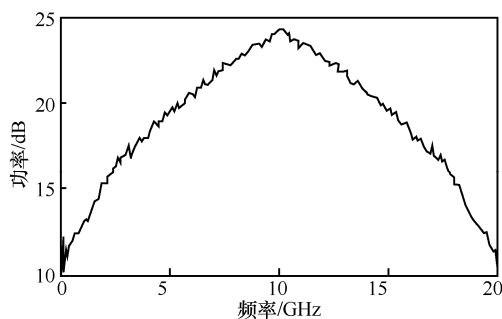


图 5 不同消光比以及接收灵敏度下的 CPRI 信号眼图

图 6 (a) 展示了传输信号的光频谱截图, 其中心波长在 1 552.5 nm 左右, 光谱宽度约为 0.2 nm。由于 DDMZM 的偏置点在线性调制区, 其中心波长处有明显的光载波分量 (非载波抑制)。叠加辅助控制信号之后, 可以发现光频谱没有出现明显的展宽, 这主要归功于较低的辅助控制信号发送速率。经过光电探测器后, 辅助控制信号被抹除, 剩下已隔离直流分量的 CPRI 信号, 其频谱截图如图 6 (b) 所示。



(a) 传输信号的光频谱截图 (含与不含辅助控制信号)



(b) 接收信号经光电探测器后的频谱截图

图 6 频谱截图

5 结束语

本文提出了一种基于差分相位再调制的波分无源光网络辅助管理和控制通道信号发送与接收方法。该方法实现装置简单, 在接收端采用时延干涉检测器即可恢复信号。不同于传统基带信号再调制与射频通道方法, 所提方法对 CPRI 信号的传输性能没有任何影响。实验表面, 在 10.137 6 Gbit/s 的 CPRI 选项 8 信号上加载 500 MHz 辅助管理和控制通道信号的接收灵敏度可达 -30 dBm。

参考文献:

- [1] China Mobile Research Institute. C-RAN: the road towards green RAN[R]. 2013.
- [2] 林金桐, 许晓东. 第五代移动互联网[J]. 电信科学, 2015, 31(5): 7-14.
LIN J T, XU X D. The 5th generation of mobile internet[J]. Telecommunications Science, 2015, 31(5): 7-14.
- [3] GNAUCK A H, CHARLET G, TRAN P, et al. 25.6 Tbit/s WDM transmission of polarization-multiplexed RZ-DQPSK signals[J]. Journal of Lightwave Technology, 2008, 26(1): 79-84.
- [4] PIZZINAT A, CHANCLOU P, SALIOU F, et al. Things you



- should know about fronthaul[J]. Journal of Lightwave Technology, 2015, 33(5):1077-1083.
- [5] 雷秋燕, 张治中, 程方, 等. 基于 C-RAN 的 5G 无线接入网架构[J]. 电信科学, 2015, 31(1): 112-121.
LEI Q Y, ZHANG Z Z, CHENG F, et al. 5G radio access network architecture based on C-RAN[J]. Telecommunications Science, 2015, 31(1): 112-121.
- [6] BANERJEE A, PARK Y, CLARKE F, et al. Wavelength-division-multiplexed passive optical network (WDM-PON) technologies for broadband access: a review [J]. Journal of Optical Networking, 2005, 4(11): 737-758.
- [7] ITU-T. 40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): transmission convergence (TC) layer specifications: Recommendation G.989.3[S]. 2015.
- [8] HONDA K, KOBAYASHI T, SHIMADA T, et al. WDM passive optical network managed with embedded pilot tone for mobile fronthaul[C]//European Fiber Conference on Optical Communication (2015), March 22-26, 2015, Los Angeles, USA. [S.l.: s.n.], 2015.
- [9] EISELT M H, WAGNER C, LAWIN M. Remotely controllable WDM-PON technology for wireless fronthaul/backhaul application[C]//Optoelectronics and Communications Conference, July 3-7, 2016, Niigata, Japan. Piscataway: IEEE Press, 2016.
- [10] 王进祥, 毛志刚. RS 码译码器综述[J]. 微电子学, 1997(2): 115-120.
WANG J X, MAO Z G. A review of RS decoder[J]. Microelectronics, 1997(2): 115-120.

[作者简介]



罗滨 (1959-), 男, 国网河南省电力公司信息通信公司高级工程师, 主要从事电力自动化、信息化和智能电网通信系统设计等方面的科研与管理工作。

刘涌 (1976-), 男, 博士, 现就职于上海博英信息科技有限公司, 主要从事电网自动化以及电力通信方面的研究工作。

陆继钊 (1985-), 男, 国网河南省电力公司工程师, 主要从事电力系统通信研究及管理工作。

巩锐 (1989-), 男, 国网河南省电力公司工程师, 主要从事电网自动化以及通信运维专责、规划计划管理相关工作。

杨宏宇 (1982-), 男, 现就职于上海博英信息科技有限公司, 主要从事电网自动化以及电力通信相关研究工作。

袁秋实 (1984-), 男, 现就职于上海博英信息科技有限公司, 主要从事电网自动化以及电力通信相关研究工作。