

25G/50G PON 技术发展趋势

成 刚

(上海诺基亚贝尔股份有限公司, 上海 200127)

摘要:在 10G 无源光网络(PON)商用之后,下一代 PON 的成本和向前兼容性是影响后续发展的重要因素。为了尽量利用运营商在现有光分配网络(ODN)上的投资以及与原来的 PON 共存,着重讨论基于时分复用(TDM)的单波长 25G PON 方案的物理层技术以及成本控制相关的技术要点。对于 50G PON 的技术演进,则简要介绍了调制方案的特点和新引入的数字信号处理(DSP)技术。最后对 25G 和 50G PON 在行业内的现状和发展做了归纳和展望。

关键词:无源光网络;脉冲幅度调制;NRZ 调制;数字信号处理;时分复用

中图分类号:TN929.11 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-5561(2020)01-0035-04

DOI:10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2020.01.009

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Development trend of 25G/50G PON technology

CHENG Gang

(Nokia Shanghai Bell Co. Ltd., Shanghai 200127, China)

Abstract: The cost and backward compatibility are the key factors for next passive optical network (PON) evolution after commercial 10G PON readiness. To leverage the investment from operator for current optical distribution network (ODN) deployment and support co-existed PON system, this article focuses on the technical solution at physical layer for 25G PON with relevant cost control based on time division multiplexing (TDM) mode related with single wavelength. To support 50G PON evolution, it briefly introduces the characteristics of modulation scheme and the newly introduced digital signal processing (DSP) technology. Finally, it summarizes the latest industrial situation and gives the forecast evolution of 25G and 50G PON.

Key words: passive optical network; 4-pulse amplitude modulation; non-return-zero modulation; digital signal processing; time division multiplexing

0 引言

经过十几年无源光网络(PON)的商用化部署,在 2019 年,中国运营商通过招标正式启动了 10G PON 在中国的大规模部署,使得 PON 的下行线路速率从 2.5 Gb/s 升级到了 10 Gb/s。

10G PON 分为 10G Ethernet PON(EPON)和 10G Gigabit PON(GPON)。2006 年,电气与电子工程师协会(IEEE) 802.3av 开始研究和制定 10G EPON 标准;2009 年 9 月,IEEE 802.3av 正式发布了 10G EPON 标

准。10G EPON 根据下、上行速率速率分为非对称方式(下、上行速率分别为 10 Gb/s、1 Gb/s)和对称方式(下、上行速率均为 10 Gb/s)。从 2008 年起,国际电信联盟电信标准(ITU-T)开始制定下一代 GPON 技术的标准,即 NG-PON1 和 NG-PON2。NG-PON1 通常指的是 XG-PON1 (ITU-T G.987),下、上行速率分别为 10 Gb/s、2.5 Gb/s。在 NG-PON2 (ITU-T G.989)^[1]得到商用前,根据下、上行 10 Gb/s 对称速率的市场需求和 PON 技术演进的规划,ITU-T 制定了对称 10G GPON 的 XGS-PON 标准(ITU-T G.9807.1),该标准在 2016 年 6 月被 ITU-T 审核批准。

在 10G PON 之后的技术演进主要体现在速率的升级,它可以通过单波长支持 25G/50G 或更高速率来实现,或者通过多波长堆叠方式来支持 40G/80G/100G。NG-PON2 采用时分与波分复用(TWDM)的技术方案,支持 4×10 Gb/s 或更多波长堆叠的波分复用。

收稿日期:2019-08-06。

作者简介:成刚(1972-),男,硕士,上海诺基亚贝尔股份公司高级工程师,1999 年同济大学毕业,加入该公司一直从事有线宽带网络接入和终端的研发工作,目前主要是为国内及全球研发各种光网络终端和智能家庭网关,是该公司中国数字家庭事业部的负责人及家庭终端研发中心负责人。



但 NG-PON2 标准制定后并没有得到多数运营商的支持,另外可调多波长的光器件还没有降到可商用化的成本。

不管是支持 25G PON 或者更高速率,提高单波长速率是下一代 PON 系统演进的关键技术。本文以基于 TDM 的单波长速率提升作为技术出发点,就 25G 和 50G PON 的现状和发展进行讨论。

1 25G PON 技术

2016 年,IEEE 成立了 P802.3ca^[2]任务组,北美的 MSO (Multiple System Operator) 是驱动标准制定的主要厂商。任务组致力于基于 TDM 的 25G EPON 的标准定义,也包含对 50G PON 技术的研究和讨论。目前物理层规范基本稳定,期望在 2020 年公布最后的规范。ITU-T 则没有对 25G PON 进行正式立项,因为不同的厂家对于 PON 的技术演进有不同的理解和要求,所以 25G PON 的立项建议没有在 ITU-T 中得到批准。

25G PON 速率只比 10G PON 速率增长了 2.5 倍,但提升 10G PON 速率需要解决色散容限和光功率损耗预算的技术挑战,同时避免光器件成本偏高是实现 25G PON 方案的关键因素。25G PON 能够被商用的基本前提是在 10G PON 基础上只有少量的成本增长,否则运营商更愿意把投资放在速率提升较高的 50G PON 技术。其次,在全球各个地区已经有大量的 PON 系统在使用,运营商不会因为新的 PON 技术而重新搭建光纤传输的基础设施,如果运营商要引入下一代 PON 技术,则他们期望新技术在光路分配系统(ODN)中与已有的 GPON 和 10G PON 系统相兼容和共存,新的 PON 标准要在波长定义、传输距离和光功率预算等规格定义上兼容实际已部署的 PON 系统。所以研究 25G PON 技术,要把成本控制和向前兼容性作为技术发展的前提。下面以 25G EPON 标准的演进以及其它相关 25G PON 物理层技术讨论作为参考来介绍如何支持这两方面的技术要求。

◆波长范围。波长选择与光纤损耗、光纤色散、光器件实现复杂度和已有 PON 兼容性都有关系。零色散波长(ZDW)在 1310 nm 附近,为了有效利用这个特性,对于 25G PON 的演进,建议把波长放在 O 波段^[3],25G PON 上行可以分别与 GPON

和 XGS-PON 的上行波长进行波分复用,而下行可以作为单根波长在光纤中进行传输。NG-PON2 的波长则是定义在 C 和 L 波段。在 O 波段的 25G PON 可以采用非归零(NRZ)调制,因为它不需要复杂的色散补偿,从而可以采用无制冷激光器。而在 C 和 L 波段的传输通常需要均衡等技术进行色散补偿。25G PON 波长范围示例如图 1 所示。

◆光功率损耗。与 10G PON 相比,25G PON 有额外 5dB 的功率损耗,为了使 25G PON 达到 10G PON 系统的 29 dB 的功率损耗预算的要求 (ITU-T 的 N1 和 IEEE802.3 的 PR30),并且避免使用额外的光功率放大器,则系统设计时要在发射功率、调制方式、接收灵敏度性能和前向纠错(FEC)都要进行组合优化,并选择合适的发送光器件和接收光器件确保成本控制和色散容限的权衡。对于 5 dB 的功率损耗,在 25G PON 下行方向,基于低密度奇偶校验(LDPC)的 FEC 机制可以获得 1 dB 的增益;商业 10 Gb/s 的雪崩光电二极管(APD)在 2009 年之后已经提高了 1 dB 的接收灵敏度^[3];剩下的 3 dB 可以由光线路终端(OLT)的光发送器件电吸收调制激光器 (EML) 来支持。在 25G PON 上行方向,25G 制冷直调激光器(DML)可以支持与 25G PON 下行一样的功率损耗预算。

◆调制方式。目前可以选择的调制技术有 NRZ 调制、双二进制(EDB)调制和脉冲幅度调制(PAM4)。虽然高阶调制的 PAM4 比 NRZ 提高了 4 倍的色散容限,但同时在发送端和接收端增加了实现的复杂度和额外的成本。与 PAM4 相比,基于 NRZ 的方案在实现上比较简单,器件成熟度也较高,是 25G PON 的推荐方案。

◆光器件的选择。从光发送器件来看,相比 EML 而言,DML 的复杂度和成本都较低。如果使用 EML 进行传输,NRZ 调制下的色散容限与速率平方成反比^[3]。GPON 和 10G PON 选择的是 DML,P802.3ca 在 25G PON 的上行邻近 ZDW 的波长范围也选择 DML,减少了 25G ONU 的总体成本。但在 25G PON 下行方向,则可以在 OLT 上使用 EML。对于光接收器件,为了控制成本,可以考虑使用 10G APD 和 EDB 检测技术^[4]来实

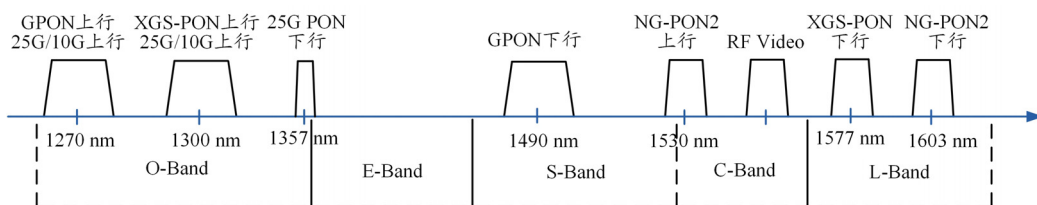


图 1 25G PON 波长范围的示例

现 ONU 接收端处的信号处理,这种方式需要在发射端进行预编码,以及接收端通过均衡算法来恢复 25G 速率的信号。

◆非对称模式。为了控制 25G PON 系统的成本,其中关键之一是控制 ONU 的成本。在 25G 商业化时,可以首先使用 25 Gb/s 下行和 10 Gb/s 上行的非对称方式,它在上行方向能重用 10G 无制冷 DML,从而使 ONU 的成本相对较低。如果支持 25G 上、下行对称速率,则需要使用成本较高的 25G 制冷 DML。因此,25G PON 的商用化可以先从非对称模式开始。

图 2 是基于上述技术讨论的 25G PON 框架图。其中,ONU 有 2 种接收方案(10G APD 和 25G APD)可选择,当前建议选择 10G APD,随着 25G APD 商用之后的成本下降,可以过渡到 25G APD 的方案。

以较小成本增长的代价构建单波长 25G 速率的接入系统,在后面的 PON 技术演进中则可以通过 4 个或 8 个波长堆叠来构成 100G 或 200G 的传输系统。

2 50G PON 技术

2018 年 2 月的 ITU-T SG15 会议中,经过对多种下一代高速 PON 系统候选方案的充分讨论后,在中国运营商和厂家为主的推动下,基于 TDM 的 50G PON 成功完成了标准立项。50G TDM-PON 标准体系将包含总体要求标准、50G 物理层标准和统一传输汇聚层标准。50G TDM-PON 通过单波长提供 50 Gb/s 速率能力,仍然沿用点到多点的 PON 的架构以及 TDM 技术,能够支持现有 ODN 部署及传统网络的共存升级。

下面是 50G PON 在技术演进和标准研究过程中的相关技术特点。

支持单波长 50G 速率的系统的基本方案可以由 25G 光器件和 PAM4 来实现,在接收端则增加数字信号处理(DSP)技术,提供信号处理的均衡算法、去除非线性干扰因素或者其它影响 PAM4 性能的问题。但不管是 PAM4 技术,还是 DSP 技术,它们都给 50G PON 系统带来理论和技术实现的复杂性。

2.1 50G 的调制方式

在发送端和接收端上实现 PAM4 技术使得 PON 系统在不同的场景下都增加了复杂性,例如 50G PON 上行方向的突发模式,光网络终端(ONT)在启动过程

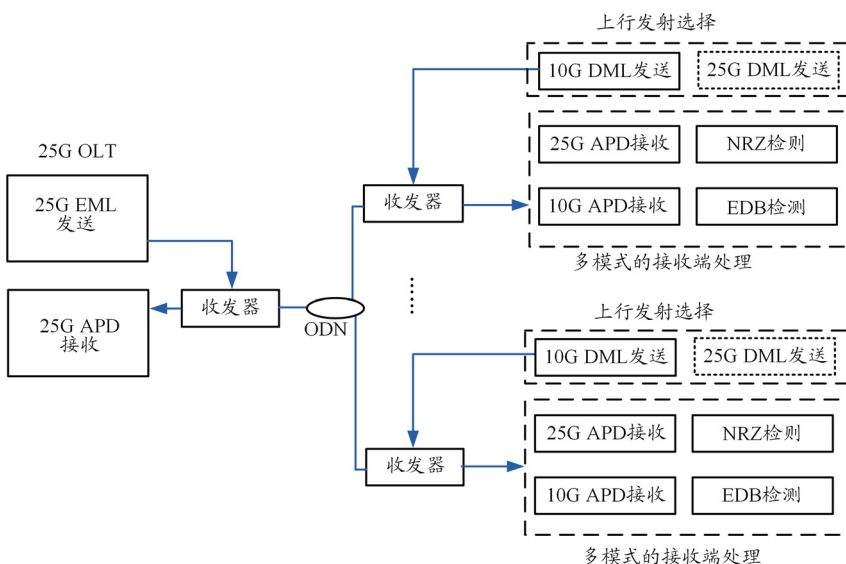


图 2 25G PON 的实现方案的例子

中的测距过程等都有了在实现上的新的技术挑战^[3];对于来自异厂家的 OLT 和 ONT,PAM4 在物理层上增加了 OLT 与 ONT 之间互通的难度。

对于光功率损耗预算的计算,文献 [3] 认为 50G PON PAM4 的功率损耗要比 25G PON 的 NRZ 调制至少高 4.8 dB 以上。

NRZ 调制在复杂度和兼容性方面要好于 PAM4。但在 NRZ 调制的条件下,如果使用 EML 进行传输,与 25G PON 相比,50G PON 下的色散容限要小 4 倍。如果没有色散补偿机制,基于 NRZ 的方案只能使波长在上行方向上选择非常靠近 ZDW 的波段范围。研究人员指出,如果使用 NRZ 调制和 EDB 检测技术,则波长范围可以选择 1344 nm^[3]。

文献[5]采用 25G EML 和 25G APD 来传输 NRZ 信号,激光器工作波长选择在 O 波段,利用最大似然序列估计(MLSE)和基于最小均方误差(LMS)算法的判决反馈均衡(DFE)进行译码,在 25 km 长度的标准单模光纤上实现了 50 Gb/s 的传输。也有使用 10G 光器件进行 50G 传输研究,例如使用 10G DML 和 10G APD 在 O 波段上实现 50 Gb/s DMT 信号的 20 km 下行传输^[6],误码率为 10^{-3} 时,灵敏度达到 -18 dBm。但使用低带宽的器件则需要更复杂的 DSP 算法,成本和实现的难度也相应增加。因此,如果 25G 光器件趋于成熟,则优先考虑使用这样的高带宽光器件。

2.2 DSP 技术

DSP 可以应用在 OLT 或 ONU 侧,它起到的作用是提高信号处理的能力和性能,支持在低带宽的光器件上传输高速信号。例如,在 ONU 中使用 NRZ 调制和

DSP 技术,可以获得与 NRZ 调制加上 EDB 检测技术所类似的色散容限的测试结果。然而,DSP 技术同时也给 PON 系统带来了新的技术难度和复杂性,例如每一个 ONU 的光发射器件在初始化时都要对 DSP 进行数据训练。另外,额外的 DSP 也必然增加了 ONU 的成本和功耗。

单波长 50G PON 也要在 ODN 中与已有的 GPON 和 10G PON 系统相兼容,它所要解决的色散容限和光功率损耗预算的挑战要比 25G PON 更大,使用 PAM4 和 DSP 技术使 50G PON 方案比 25G PON 复杂很多,在 ITU-T 标准制定过程中必然有成本和技术方案的反复讨论和确认。

3 结束语

10G PON 从标准制定到商用化经历了 10 年,支持多波长堆叠复用的 NG-PON2 并没有得到规模商用化,除了 NG-PON2 的成本居高不下的原因以外,单波长速率提升的技术得到了研究人员的认可和厂家的支持,使得 10G 速率的波长复用变得不再重要。基于单波长的方案可以支持 25G PON 或 50G PON,如果能兼容已有的 ODN,并控制较小幅度的成本增长,则会使得运营商愿意把 PON 升级到下一代 PON 系统。至于是 25G PON 还是 50G PON 先得到商业应用,全球不同运营商与设备厂家有不同的判断和愿景,目前

行业内没有统一的认识。25G PON 的 IEEE P802.3ca 标准得到了北美 MSO 的支持,而 ITU-T 的 50G PON 的标准和规范制定得到了中国运营商和厂家的推动。相比 25G PON 目前在 ITU-T 中处于徘徊和讨论的状态,可以预见 ITU-T 制定的 50G PON 在中国会得到更大的发展和商用。

参考文献:

- [1] ITU-T. 40Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): Definitions, abbreviations and acronyms: ITU-T G.989: 2015 [S]. Geneva: I-TU-T.
- [2] IEEE. 50G-EPON Task Force, Physical layer specifications and management parameters for 25 Gb/s and 50 Gb/s passive optical networks: IEEE P802.3ca: 2018[S/OL]. [2019-08-06]. <http://www.ieee802.org/3/ca/>.
- [3] HARSTEAD E, VEEN D V, HOUTSMA V, et al. Technology Roadmap for Time-Division Multiplexed Passive Optical Networks (TDM PONs)[J]. Journal of Lightwave Technology, 2019, 37(2): 657-664.
- [4] VEEN D V, HOUTSMA V. Proposals for cost-effectively upgrading passive optical networks to a 25G line rate [J]. Journal of Lightwave Technology, 2017, 35(6): 1180-1187.
- [5] 陈炜,宋英雄,李正璇,等.基于 25G 级光器件的 50 Gb/s NRZ IM-DD 下行传输系统[J].光学学报,2019, 39(6):0606003-1-0606003-9.
- [6] TAO M, ZHOU L, ZENG H, et al. 50Gb/s/λ TDM-PON based on 10G DML and 10G APD supporting PR10 link loss budget after 20km downstream transmission in the O-band [C]//Optical Fiber Communication Conference, March 19-23, 2017, Los Angeles, USA. Los Angeles: Optical Society of America, 2017: Tu3G.2.

征稿简则

- 1、来稿文责自负,稿件刊用后如出现泄密、侵犯他人著作权等问题,本刊概不承担连带责任。
- 2、稿件内容必须与光通信密切相关(栏目有:光网络、光器件、光传感、光传输、可见光通信、无线光通信、量子通信、光纤光缆、光通信工程),稿件内容要真实、准确,且不得抄袭或重复发表。
- 3、本刊现已与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签署《CAJ-N 网络首发学术期刊合作出版协议》,通过《中国学术期刊(网络版)》(CAJ-N)正式出版我刊网络版。录用定稿网络首发之后,在后续的排版定稿、整期定稿网络版和印刷版中,不得修改论文题目、作者署名、作者单位以及其学术内容,只允许修改少量文字或少量不影响研究结果和结论的数据。由于网络首发周期短,因此凡被录用的稿件不允许撤稿。按国家有关网络连续型出版物管理规定,网络首发论文视为正式出版论文,我刊编辑部与电子杂志社共同为论文作者颁发论文网络首发证书(论文作者可以从“中国知网”下载或打印)。
- 4、来稿一经本刊录用,该文章全部版权即转归本刊所有;稿件印刷版出版后,当月赠寄当期杂志 2 册;2 个月内向作者一次性支付各版次(网络版、光盘版和印刷版)稿酬。
- 5、来稿中的标点符号格式要注意规范,英文中的逗号、冒号、句号分别用半角加一空格(“,”、“:”、“.”),中文中的标点符号一律用全角。
- 6、来稿中的圆括号不分中英文,一律用全角。

《光通信技术》编辑部