



10/40/100 Gbit/s PON 技术的发展和展望

张成良¹, 王庆², 余景文¹, 万芬²

(1. 中国电信股份有限公司北京研究院, 北京 102209;
2. 湖北邮电规划设计有限公司, 湖北 武汉 430024)

摘要: 当前, EPON/GPON 向更高速率的升级演进已成为光接入领域颇受关注的议题。基于此, 对 XG(S)-PON、TWDM PON、WDM PON、100 Gbit/s EPON 的现状与面临的问题进行了分析, 并对各种技术的应用现状与前景进行了展望。

关键词: XG(S)-PON; TWDM PON; WDM PON; 100 Gbit/s EPON

中图分类号: TN929.1

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2017300

Development and forecast of 10/40/100 Gbit/s PON technology

ZHANG Chengliang¹, WANG Qing², YU Jingwen¹, WAN Fen²

1. Beijing Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Beijing 102209, China
2. China Comservie Hubei PTPD Co., Ltd., Wuhan 430024, China

Abstract: Currently, the evolution of EPON/GPON to higher bitrate technology has become a hot topic in optical access field. Based on this, the current situation and problems of XG(S)-PON, TWDM PON, WDM PON and 100 Gbit/s EPON were analyzed, then some forecast of above technologies was given.

Key words: XG(S)-PON, TWDM PON, WDM PON, 100 Gbit/s EPON

1 引言

众所周知, 提高单波长的承载速率和挖掘单根光纤的可用带宽是光传输领域研发与创新不变的主题, 同样地, 在光接入领域这一规律同样适用。经过近几年国内三大运营商基于 EPON/GPON 技术大力建设 FTTH, 中国已有上亿家庭享受到了光纤到户带来的 20~100 MHz 接入带宽的极速上网体验。但在政府“提速降费”的要求及运营商自身推出“千兆入户”“4K 高清视频”等超高速业务需求的驱动下, EPON/GPON

向更高速率的升级演进已成为当下光接入领域颇受关注的议题。

IEEE 在 EPON 之后制定了 10 Gbit/s EPON 标准, 且已发布多年, 2013 年成立了 IEEE 802.3ca 工作组, 标志着 IEEE 已开始关注 100 Gbit/s EPON 标准的制定; FSAN/ITU-T 在 GPON 之后制定了 10 Gbit/s PON (对称、非对称) 标准, 较 10 Gbit/s EPON 晚几年发布, 随后马上启动了 40 Gbit/s PON 标准的制定, 2016 年标准已定稿, 因其通过 4 个波长、每波长 10 Gbit/s GPON 的方式实现 40 Gbit/s GPON, 故称为 TWDM PON, 40 Gbit/s

收稿日期: 2017-10-10; 修回日期: 2017-11-10



PON 在 FSAN 的标准体系中被称为 NG-PON2(最初 10 Gbit/s GPON 被定义为 NG-PON, 不过这个名字在业界很少使用), NG-PON2 除定义了 TWDM PON 之外, 还以附录形式定义了一种波分复用的可选机制, 使得在 TWDM PON 系统中能以点到点波分的方式为有特殊需求的客户提供专属的高速连接, 目前定义的单波长速率最高为 10 Gbit/s, 这一可选方式在业界被认为是 WDM PON 的实现标准。因此, PON 技术的演进需关注 10 Gbit/s EPON、10 Gbit/s GPON、TWDM PON、WDM PON、100 Gbit/s EPON 的技术进展与产业链面临的问题。其中, 10 Gbit/s EPON 已经在现网规模部署, 不是本文讨论的重点。本文将对 10 Gbit/s GPON、TWDM PON、WDM PON 的应用前景与面临挑战进行分析阐述, 同时对 100 Gbit/s EPON 标准的进展做简单介绍。

2 10 Gbit/s GPON 技术进展及应用情况

在标准上, 10 Gbit/s GPON 细分为两种配置: 上下行对称 10 Gbit/s 的 XG(S)-PON 与上行 1.25 Gbit/s、下行 10 Gbit/s 的 XG-PON。受芯片与光模块成熟度限制, 目前只有 XG-PON 可提供商用设备。在前期多次实验室测试的基础上, 2016 年中国电信开展了 XG-PON 的现场试验, 主要验证了高速上网业务承载、设备性能和功能、网管配置、WDM1r 对 ODN 的影响等, 包括以下内容。

- XG-PON 用于新建 FTTH 场景。
- XG-PON (外置 WDM1r) 用于 FTTH 升级场景: GPON 与 XG-PON 共存, OLT 新增 XG-PON 板卡, GPON ONU 按需更换为 XG-PON ONU。
- XG-PON 用于 FTTB 升级场景: 选择已有 GPON FTTB 网络, 局端更换为 XG-PON 板卡, MDU 上联板更换为 XG-PON 板卡。试点表明, 非对称的 XG-PON 技术与设备已

满足现网规模部署的要求, 预计 2017 年底中国电信将完成数十万端口的 XG-PON 建设规模。XG-PON 的成熟商用得益于互通性和与 GPON 兼容性两个关键问题的解决。

2.1 10 Gbit/s GPON 互通性测试进展

为推动 XG(S)-PON 的成熟商用, FSAN 曾组织了多次 XG-PON 的互通性测试, 但是由于全球各运营商的部署计划尚不明确, 厂商参与积极性不高, 进展始终比较缓慢。但中国电信较早地意识到了 XG(S)-PON 对网络升级演进的重要性, 并且认为需通过推动异厂商互通促进产业链的成熟, 分别在 2012 年、2013 年、2015 年、2016 年组织了共计 4 次互通性测试。在最近一次的 2016 年 6—8 月的测试中, 共有华为、中兴、烽火和诺基亚 4 个厂商参与, 解决了前期遗留的若干问题, 同时进行了互通场景下的多业务承载和长期稳定性测试, 为现网规模部署开展了大量准备工作。

互通测试主要包括以下几部分。

- 基本传输汇聚层互通性测试: 包括 ONU 发现和激活, OAM 管理操作, DD40 差异接入操作, 带宽分配, 对不同 ONU 的相邻分配, 嵌入式 OAM 操作 (PON-ID 设置、断电报警 (dying gasp) 识别、PLOAM 队列状态识别、动态带宽报告), PLOAM 通道运行 (多 PLOAM 消息共帧、突发配置版本更改、ONU 停用和序列号失效操作), Alloc-ID 分配及 De-allocation 删除, 前向纠错 (FEC)。
- ONU 二层功能操作: 基于 LOID 的认证, ONU 的 VLAN 功能测试, ONU 的 QoS 功能测试, ONU 上行业务流分类、标记和调度功能测试, ONU 上/下行端口限速功能测试, ONU 的多播功能测试, IGMP snooping 功能测试, ONU 跨 VLAN 多播功能复制测试, 强行剥除 ONU 下行 VLAN 多播功能测试, 多播容量 (group capacity) 测试。

- OMCI 互通性测试：状态告警上报、重启，能力集查询，配置模型测试，OMCI 的通道建立互通性测试，OLT 对 ONU 能力集查询测试，ONU 的状态告警上报功能测试，重启 ONU 功能测试，ONU 支持的 TCONT 的类型和数量的互通性测试，MDU SNMP 的配置测试，MIB reset 和 MIB upload 过程中逻辑标识认证测试，ONU 环路检测功能测试，ONU 的远程重启功能测试，N:MP 配置模型验证测试，基于 VEIP 1:MP 配置模型测试。
- 单播和多播业务混合组网测试。
- 系统以太网业务 RFC2544 测试。

尽管测试中还存在一些小问题留待后续进一步解决完善，但是与前 3 次相比，XG-PON 的异厂商互通性有了明显的进步，几个主要厂商的设备已经实现互通。总体来讲，XG-PON 产业链渐趋成熟，具备了小规模商用的条件。

2.2 10 Gbit/s GPON 与 GPON 兼容性进展

10 Gbit/s GPON 由 ITU-T G.987 系列标准定义，标准定义之初考虑了与 GPON 系统的共存。G.987 标准为 10 Gbit/s GPON 定义的频谱规划如图 1 所示，其中，10 Gbit/s GPON 上行频谱范围为

1 260~1 280 nm、下行频谱范围为 1 575~1 580 nm，上述频段被称为基础波段，其他系统的频谱范围为增强波段，GPON 系统的上下行频谱正好处于 1 310 nm 窗口与 1 550 nm 窗口的增强波段内，分别为 1 290~1 320 nm 和 1 480~1 500 nm。因此，从频谱规划可知，10 Gbit/s GPON 与 GPON 的兼容共存是通过波分复用的方式实现的。

图 2 是 G.987 定义的 GPON 与 10 Gbit/s GPON 共存方式。其中，WDM1r 器件完成的功能是将 GPON、10 Gbit/s GPON 两个系统的信号进行合分波，这一器件的引入在技术上较易实现，但在实际部署实施时会对 ODN 带来较大的调整割接工作量，是 GPON 网络存量较大的运营商所不愿意看到的。为此，中国电信开展了内置 WDM1r 器件技术方案的研究，在业界被称为双模光模块技术，该方案将 GPON MAC、10 Gbit/s GPON MAC、WDM1r 器件集成在一个业务板卡甚至一个模块内实现，网络升级改造时，运营商只需对设备板卡进行升级，而不用对 ODN 进行任何改造，具有易规模实施的特点。目前该技术已经通过了实验室测试，测试结果表明，GPON/XG-PON 双模光模块方案较为成熟，稳定性较好，光路指标及业务性能均满足现网部署要求，可用于现网 GPON 的升级场景。

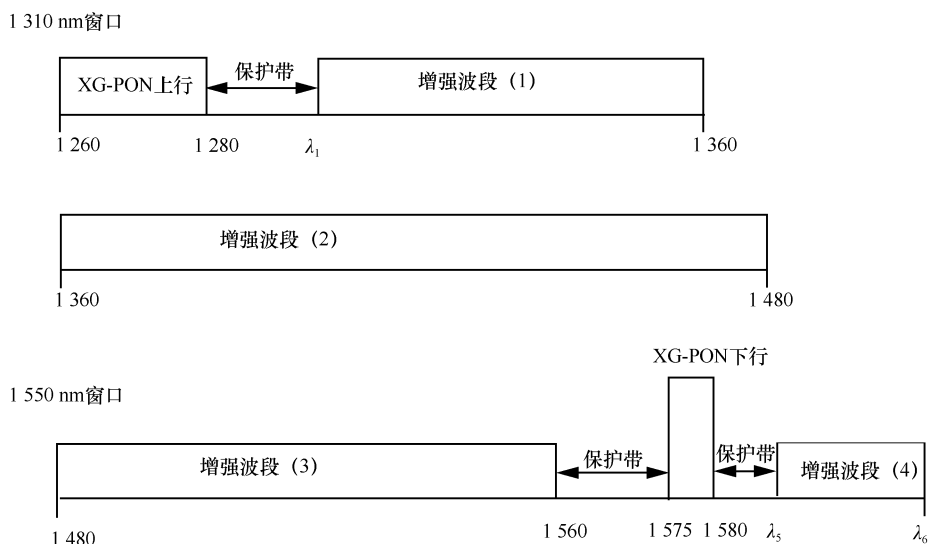


图 1 10 Gbit/s GPON 的频谱规划

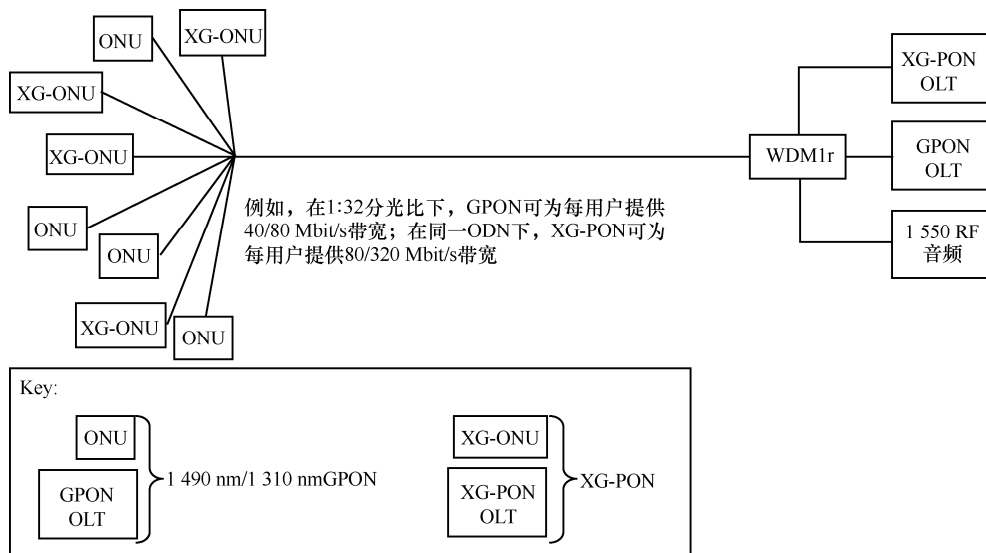


图2 G.987定义的GPON与10 Gbit/s GPON共存方式

目前双模光模块技术指标已经写入了 CCSA 相关标准，主要包括以下两点。

- class D1 级别的光指标要求，对应 GPON class B1、XG-PON class N1a。
- class D2 级别的光指标要求，对应 GPON class C++、XG-PON class N2a。

可以说，无论采用外置 WDM1r 器件，还是采用双模光模块方案，10 Gbit/s GPON 与 GPON 的兼容性都已解决，可支持现网规模部署。

3 TWDM PON 技术进展与面临的问题

3.1 TWDM PON 技术架构

TWDM PON 由 ITU-T G.989 系列标准定义，因突发模式的光模块在 10 Gbit/s 以上成本高昂，且技术实现难度太大，故标准定义的实现 40 Gbit/s 速率的方式是采用 4 个波长进行粗波分复用，每波长工作在 XG(S)-PON 模式下，一个典型的 TWDM PON 系统架构如图 3 所示。

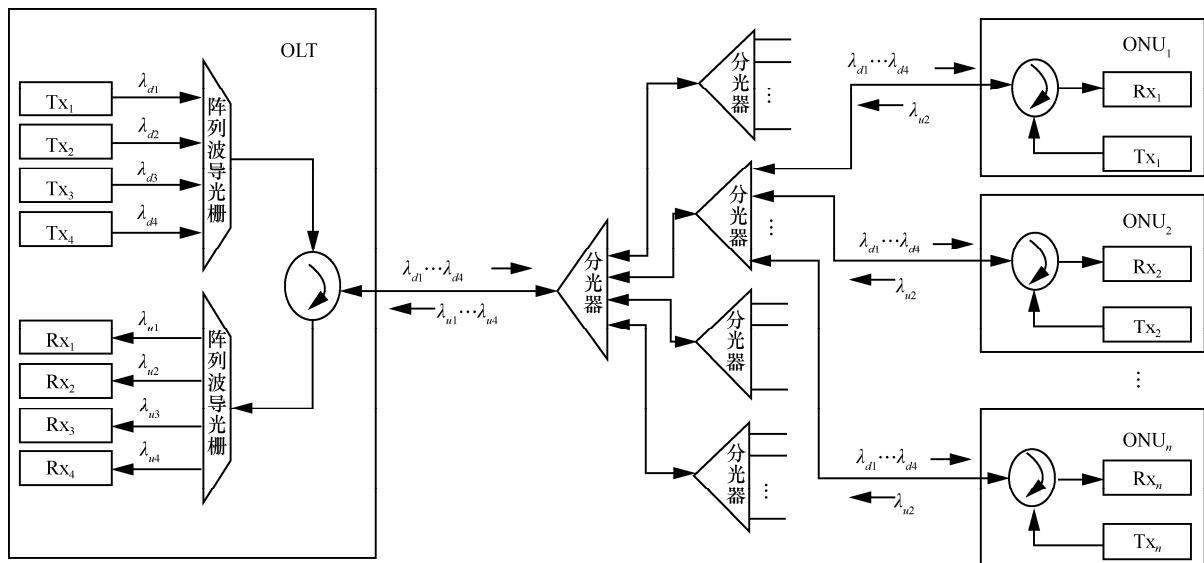


图3 典型的 TWDM PON 系统架构

3.2 TWDM PON 面临的问题

从技术架构可知, TWDM PON 重用了 XG(S)-PON 的技术方案, 在设备研发上只需增加粗波分复用及远端光模块的无色可调机制即可, 可以说相对于 XG(S)-PON 增加的实现难度并不大。但因为 XG-PON 刚刚成熟, XG(S)-PON 迟迟没有商用芯片与光模块支持, 何时可成熟商用尚不可预测, 因此, 设备商何时能推出可商用的 TWDM PON 设备仍需等待, 目前个别厂商推出的基于自研芯片或 FPGA 版本的 TWDM PON 板卡多数处于技术验证与演示阶段, 距离以商用芯片、商用光模块、可异厂商互通为标志的成熟阶段尚有一定的差距。

出现上述问题的原因在于绝大多数国际主流运营商都对 TWDM-PON 持观望态度, 不能给出明确的应用时间表, 导致主流设备厂商和光模块厂商投入有限。这一现象与 10 Gbit/s EPON、10 Gbit/s GPON 标准发布初期极其相似。回顾当初 EPON/GPON 迅速成熟商用的发展过程可知, 只有在业界出现几百万甚至上千万级别的市场需求才能促进设备的成熟商用。而目前国内运营商采用的是比较稳妥的逐步试验推广 XG-PON、XG(S)-PON 的发展战略, 在一定程度上更加让人看不到 TWDM PON 应用的明朗前景。

不过, 值得注意的是 Verizon 在 TWDM PON 应用上表现了积极的态度。2016 年, Verizon 与合作厂商在实验室测试 TWDM PON, 关注系统波长调谐能力、同平台承载家庭和政企业务、互通性等, 并宣称计划在 2017 年实现 TWDM PON 的政企场景商用部署。Verizon 接入技术总经理 Vincent O'Byrne 在 2017 年接受采访时表示, NG-PON2 可以在一根光纤上支持 4 个波长, 每个波长均可以承载 10 Gbit/s 上下行对称速率, 极大地增加了带宽; 另外, 采用 TWDM 的波长绑定技术, 可以将多个波长绑定提供给 1 个用户使用, 最大可以将所有的 40 Gbit/s 提供给 1 个用户。Vincent

O'Byrne 也提到, 2020 年北美家庭接入速率有望达到 10 Gbit/s, 届时必然需要下一代的 PON 接入技术来保证带宽。Verizon 跳过 XG-PON 选择 TWDM PON 的战略, 有可能会一定程度上加快该技术的商用与规模部署。

3.3 Google 光纤的 TWDM PON 技术实现

Google 光纤(Google Fiber)作为宽带接入领域的新进入运营商, 在技术创新上有很大的动力, 同时为快速部署新技术, 其对 ITU-T 等标准组织的依赖程度比传统运营商要小, 在这种背景下, Google 光纤推出了基于私有技术的 TWDM PON, 并已现网部署, 其项目名称为 go long。go long 系统由 12 波、每波 2.5 GB (GPON) 构成, 总系统容量为 30 GB。因其利用了现已成熟的 GPON 技术, 且通过 AWG+分光器的 ODN 架构, 用户终端不需要成本较高的可调光接收机, 因此实现难度与整体成本比 ITU-T G.989 定义的 TWDM 要低, 且支持每波长向 10 Gbit/s 速率的平滑演进。这一创新实现虽然不是经过国际标准化推广的技术, 但其思路是非常值得借鉴的。

4 WDM PON 技术的发展和应用

4.1 WDM PON 技术方案

在 G.989.2 的附录中, 针对波长选择型 WDM PON 的技术实现和相关技术指标进行了规范, 具体内容介绍如下。

- 波长选择型 WDM-PON 系统架构。
- 波长选择型 WDM-PON PMD 层要求: 4 个等级的线路速率、FEC 码、线路码型、2 个波段的工作波长以及相关参数。
- 波长选择型 WDM-PON 系统 OLT 和 ONU 的发射激光器相关内容。

WDM PON 为每个最终用户(可以是商业用户、基站、家庭客户等)提供了一个波长级的接入通道, 在带宽能力上无疑比 TDM 方式有了较大的提升及无限的想象空间。在讨论 WDM PON 的



技术特性时,业界公认的一点是 ONU 的无色化是实现 WDM PON 规模应用、最终走进家庭宽带用户的关键。无色化是指虽然每个 ONU 的工作波长不同,但在 ONU 发布到用户手中时是不需要每个 ONU 预先配置不同波长的,工作波长的分配与选择完全由系统上电后 OLT 自动化地实现远程的配置,就好像 ONU 是无波长特性的,即“无色”。无色的概念既是 WDM PON 最重要的应用特性之一,也是技术方案上最大的难点,业界在近些年进行了各种实现方案的探索。

表 1 列出了 5 种经过尝试的实现无色光模块的技术方案。5 种实现方案中,外部注入方案的要点是通过在 OLT 的种子光源注入实现无色光模块,ONU 采用 RSOA 或 FP-LD;在实际部署时由于需要种子光源,整体实现成本较高,由于受到光链路反射影响严重,传输距离受限在 20 km 以内。波长重用方案的要点是 ONU 采用 RSOA 激光器,上下行采用不同的调制格式(IRZ/RZ);此方案由于不同方向的调整格式不同,并且上行方向需要重用下行数据光作为种子光导致复杂性增加;此方案的优点是无需额外的种子光源,缺点是上行发射功率受限,光功率预算较小。可调型方案的要点是 ONU 采用可调激光器,可以灵活地调整上下行的波长;由于可调激光器内需要控制

波长的电路,结构复杂,同时可调激光器的成本也比较高,需要采用新型的无制冷器和波长锁定器的激光器;此方案的优点也比较明显,功率预算高并且可以支持很高的带宽(10 Gbit/s 以上)。超密集方案的要点是相干 PON 技术、ONU 可调激光器作为上行发射和下行接收本振;由于上下行采用相干接收技术,光功率预算大,具有更高的灵敏度,从而支持更大的分光比(1:1 000)和更远的传输距离(100 km),但是成本过高、技术尚不成熟导致近几年来并无突破性进展,此方案适合作为未来 NG PON3 的可选技术。自注入方案属于波长路由型 WDM PON,采用自注入锁定 RSOA 方案,无需种子光源,采用法拉第旋转反射镜,可以控制注入种子光偏振,结构简单,成本很低,但是目前只能支持 2.5 Gbit/s 以下的速率。

在这些 WDM PON 的技术方案中,业界普遍认为比较可行的是可调型和自注入两种,主要原因是这两种方案性能好,实际部署上也比较可行。早期在 2.5 Gbit/s 速率以下时,自注入获得更多青睐,主要由于其成本较低、实现简单。但是随着近期 WDM PON 的主要应用场景定位为无线前传,并且 CPRI 的速率逐渐升高到 10 Gbit/s 级别,目前 5G 的前传带宽需求也基本确定为 25/50 Gbit/s,自注入技术方案只能被放弃,可调型方案成为唯

表 1 WDM-PON 各种实现方案比较

技术方案	OLT	ONU	技术难点	性能	成本	方案介绍
外部注入	RSOA+L BLS	RSOA+远端 C BLS	OLT 阵列集成技术、RSOA 温度性能	较差	高	器件相对成熟,受种子光功率、反射等影响,性能较差
波长重用	激光器阵列	RSOA	OLT 阵列集成技术、RSOA 温度性能,下行信号重用技术,反射问题	差	较高	不需要独立的种子光,成本较低,但性能差,业界认同较低
可调型	激光器阵列	可调激光器	OLT 阵列集成技术、低成本可调激光器技术	好	高	可以实现灵活的 WDM PON 组网,结合可调滤波器可以重用 ODN,可用于长短路等各种应用
超密集	相干接收机+MZI	可调激光器+相干接收机	相干接收技术、可调激光器技术	很好	超高	功率预算高,支持长距大分光比应用,但技术成熟度低,成本高昂,目前仍处于实验室研究阶段
自注入	RSOA	RSOA	OLT 阵列集成技术、RSOA 温度性能	差	较高	与重调制一样不需独立种子光,成本较低,但性能差,业界认同较低,仅限实验室研究

一有可能实现 25/50 Gbit/s 速率的无色光模块技术方案。

无色光模块中的低成本可调激光器也是 TWDM PON、WDM PON 和 Q6 G.Metro 的核心器件。最近两年, 10 Gbit/s 级别的无色光模块渐渐成熟, 主要采用 QSFP28 和 SFP28 封装, 但目前成本仍然较高, 未来在降低成本的同时将向 25 Gbit/s 速率继续发展, 借助于 100 Gbit/s DWDM 客户侧光模块 (4×25 Gbit/s) 的成熟产业链, 25 Gbit/s 速率从激光器和调制器等器件角度来讲, 有望较快成熟。

4.2 WDM PON 应用进展

可以说, 在光接入领域, WDM PON 是目前最为前沿、距离落地部署最遥远的技术。因为其 2016 年才基本完成多种技术方案的归一化 (可调激光器成为主流), 所以 2016 年有关 WDM PON 的标准才有实质性的进展; 产业链的进展也比较缓慢, 目前厂商可提供的 WDM PON 样机在传输性能上都不能支持单波长 10 Gbit/s。但因为 WDM PON 可应用于 4G、5G 网络的移动前传场景, 在这方面的研究与试验还是有一定的进展。

中国电信在 2015 年完成了 WDM PON 在商用环境中承载 LTE 前传的试验, 采用了 2.5 Gbit/s 速率的无色光模块, 验证了 WDM PON 用于前传

的可行性。图 4 展示了试验环境, 将 WDM-PON 设备直接部署在无线 BBU 和 RRU 设备之间, WDM PON 的 OLT 和 ONU 之间通过无色光模块连接, 可以自动适配任何支持的波长, OLT 与 BBU 以及 ONU 与 RRU 之间通过白光光模块通信。试验测试了前传的物理性能, 包括抖动、频偏、时延, 并对业务承载能力进行了验证, 包括无线终端实时观看高清视频 (包括上网卡与手机) 与 FTP 大文件上传/下载等。测试结果表明, 采用 WDM PON 的 LTE 前传性能完全等同于采用光纤直驱的性能。

此外, 中国电信在安徽试点了无源彩光前传方案, 韩国运营商规模部署了各种点到点 WDM 方案承载 LTE 和 LTE-Advanced 前传, 有源和无源 WDM 均有应用, 法国电信也在实验室验证了 CPRI 速率压缩后采用 WDM-PON 承载前传。

总体来讲, LTE 时代运营商对于各种点到点 WDM 前传技术 (包括 WDM PON) 进行了大量的试验甚至部署, 在前传带宽、传输时延要求更高的 5G 时代, WDM PON 在某些光纤资源紧张的场景下将是一种比较可行的技术选择, 但因 eCPRI 最新发布的版本显示 25 Gbit/s 将是 5G 前传的主要接口带宽, 在标准支持、光模块与设备研发方面, 还需进一步推进才能促进其商用化进程。

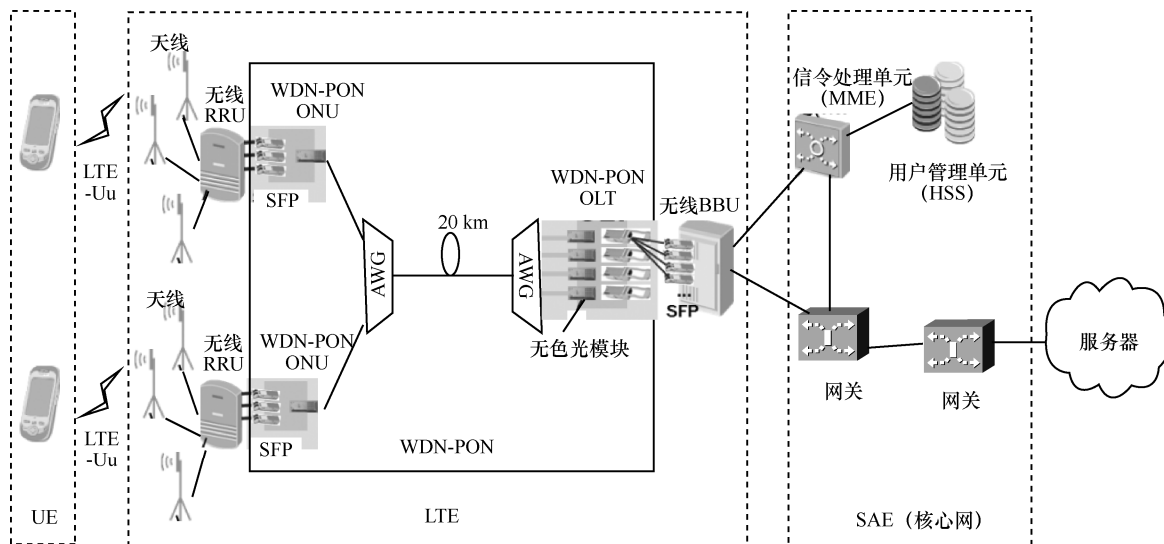


图 4 WDM PON 承载商用 LTE 前传试验拓扑



5 100 Gbit/s EPON 标准化介绍

NG-EPON 于 2013 年 7 月在 IEEE 802 全会提出了立项讨论, 得到了多数厂商的响应, 并由此建立了兴趣组讨论 NG-EPON 的需求以及可能的技术方案。正式立项为 IEEE 802.3ca(包含 25/50/100 Gbit/s EPON) 标准后, 预计 2017 年底前发布第一版草案, 2019 年上半年发布标准正式版本。标准实际研发进度目前落后当初的预期, 主要由于物理层和协议层影响因素多, 关键技术的决策缓慢, 主要包括以下两点。

- 物理层指标: 通道波长、功率预算、发射功率、接收灵敏度等指标相互影响。
- 协议层机制: MPRS、MPCP(CH、OLT、ONU) 机制的调整复杂。

为了提高国内运营商和厂商在 IEEE 100 Gbit/s EPON 标准制定中的话语权, 体现国内未来可能的应用需求, 由中国电信牵头, 召集国内主要设备和光模块厂商于 2016 年 4 月成立 100 Gbit/s EPON 讨论组, 讨论关键技术, 明确技术建议, 并共同推动 IEEE 会议上的讨论和决策。目前已经取得的工作成果如下。

- 明确国内未来可能的应用场景中, 100 Gbit/s EPON 系统的技术需求。
- 共同推动 100 Gbit/s EPON 中“1+3”波长组合, 在 IEEE 全会上决策通过。
- 研究讨论波长规划, 对方案 A(上下行所有波长通道都在 O 波段) 进行修改。
- 讨论并明确 10 Gbit/s EPON 上行波长收窄方案。

6 结束语

综上所述, 1 Gbit/s 速率 PON 的演进路径并不是唯一的, 10 Gbit/s GPON 与 TWDM PON 都有可能是运营商下一步的选择, 甚至在 5G 前传场景下有可能直接部署 WDM PON。可以说, 技术

标准提供了丰富完善的可选项, 芯片、光模块、设备商、运营商也分别进行了有益的技术探索与积累, 当前各种技术进展缓慢的原因还在于需求不明朗, 国内运营商虽然在进行 10 Gbit/s PON 的部署, 但总体来说目前国内外还是处在 EPON/GPON 的时代, 在市场没有实质性需求的现阶段, 10/40/100 Gbit/s 的 PON 技术都是应重点关注的方向。

参考文献:

- [1] ITU-T G.987.1. 10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): general requirements[S]. 2010.
- [2] ITU-T G.987.2. 10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): physical media dependent (PMD) layer specification[S]. 2016.
- [3] ITU-T G.989.2. 40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): physical media dependent (PMD) layer specification[S]. 2014.

[作者简介]



张成良(1970—), 男, 中国电信股份有限公司北京研究院副院长、教授级高级工程师, 主要研究方向为光接入及光传输技术。



王庆(1969—), 男, 湖北邮电规划设计有限公司总工程师、教授级高级工程师, 主要研究方向为光接入及光传输技术。



余景文(1973—), 男, 中国电信股份有限公司北京研究院高级工程师, 主要研究方向为光接入及光传输技术。

万芬(1978—), 女, 湖北邮电规划设计有限公司高级工程师, 主要研究方向为光接入及光传输技术。