



NG-PON2 技术进展及其应用研究 *

蒋 铭, 沈成彬, 金嘉亮

(中国电信股份有限公司上海研究院 上海 200122)

摘 要: 简要介绍了 NG-PON2 技术的总体要求, 详细分析了以时分波分复用 (TWDM) PON 和点对点 (PtP) WDM 为核心的 NG-PON2 的架构以及重用 ODN 原则下多种技术的混合组网问题, 重点讨论了 NG-PON2 的主要技术特性以及 NG-PON2 系统的关键技术, 最后介绍了 NG-PON2 的标准化和产业链进展。

关键词: NG-PON2; TWDM PON; PtP WDM; “无色”ONU

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2014.06.018

Research on Development and Application of NG-PON2

Jiang Ming, Shen Chengbin, Jin Jialiang

(Shanghai Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Shanghai 200122, China)

Abstract: The general requirements for NG-PON2 technology and its overlay configuration based on TWDM PON & point-to-point WDM were introduced briefly. The architecture of NG-PON2 system and mixture of multiple technologies over reused ODN were analyzed. And then the main technical features and key technologies in NG-PON2 system were investigated. Finally, the progress of standardization and eco-system were introduced.

Key words: NG-PON2, TWDM PON, PtP WDM, colorless ONU

1 引言

互联网技术的发展和革新使 IPTV、高清电视、3D 电视、移动多媒体等新兴业务不断涌现, 信息传输带宽的需求一直在以爆炸式的速度增长; 同时, 随着 4G 牌照发放, LTE 移动网络将在今后几年广泛部署, 这也对运营商移动基站前传等业务提出了更高的性能要求。支持家庭、企业、无线等全业务接入是下一代 PON 的发展方向。目前“百兆到户”已经成为用户的普遍需求, 部分运营商和部分地区已经提出了“千兆 (吉比特) 到户”的目标, 接入网络面临着前所未有的带宽压力。因此, 提高光纤接入网容量是解决今后带宽瓶颈限制的根本手段。

图 1 给出了 PON 技术的演进路线。PON 技术将从

速率为 1 Gbit/s 的 PON 系统向着 10 Gbit/s, 甚至 40 Gbit/s 的 PON 系统或更高速率的方向发展。EPON/GPON 已经在网络中规模部署, 10 Gbit/s 速率的时分复用 (time division multiplexing, TDM) PON 系统也在快速发展, 特别是 10 Gbit/s-EPON 也已开始商用。从技术实现上来讲, 由于单纯的时分多址 (time division multiple access, TDMA) 技术已经很难有更大的突破, 10 Gbit/s 速率以后仅从单波长速率上提升难度很大, 在后 10 Gbit/s 时代将多种接入技术混合会成为主流实现方式。

在完成 XG-PON 标准的制定之后, 国际标准化组织全业务接入网 (full service access network, FSAN) 联盟即开始了 NG-PON2 标准研究。基于全球各主流运营商对 NG-PON2 的技术需求, FSAN 联盟确定 NG-PON2 技术的

* 国家高技术研究发展计划 (“863”计划) 基金资助项目 (No.2011AA01A104)

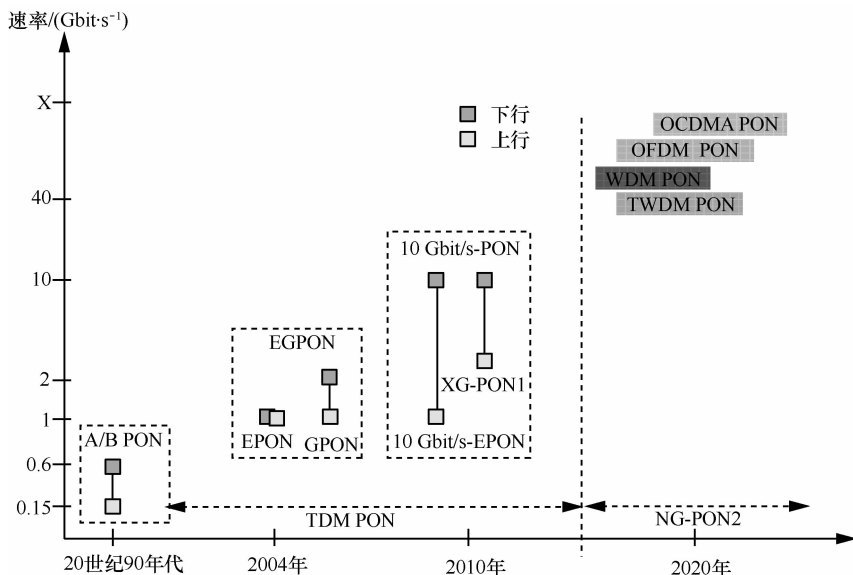


图1 PON 技术的演进路线

主要特征如下。

- 更好的技术性能:包括更高的上下行速率、更强的组网能力、更先进的业务管控和网络维护能力。
- 光分配网络(optical distribution network,ODN)重用: ODN 的生命周期长达 20 年以上, 并且其建设成本是整个 PON 系统中最大的部分, 因此 NG-PON2 所采用的技术方案必须尽可能重用现有的 ODN。
- 技术的平滑演进: 由于各运营商的 PON 的部署情况和规划不一致, 因此需要考虑多样化的 PON 技术演进路线并尽可能保证演进的平滑性, 包括 GPON 演进到 NG-PON2、XG-PON 演进到 NG-PON2 以及 GPON/XG-PON 同时演进到 NG-PON2。
- 多业务承载:能够承载家庭客户、企业专线以及基站回传和基站前传等业务。

NG-PON2 的主流备选技术方案包括高速 TDMA-PON、TWDM PON、OFDM-PON 及 WDM-PON。FSAN 联盟对上述技术进行了系统的分析和对比,包括传输距离、分光比、功耗、器件成熟度和成本、ODN 重用、与已有 PON 系统的共存等方面,并在 2012 年 4 月份的 FSAN 会议上确定采用 TWDM PON 技术作为 NG-PON2 的实现方案,并且开始起草 G.989 系列标准。

2 NG-PON2 技术分析

2.1 NG-PON2 系统架构

NG-PON2 选择 TWDM PON 作为主要技术方案,主要

的诉求就是充分利用传统 PON 技术在器件层面的长期技术积累和已经成熟的 XG-PON 芯片协议层技术,并且能够与传统的 GPON/XG-PON 共存于已有的 ODN 中,并在网络 and 用户两个维度上都能支持平滑演进。TWDM PON 系统采用波分时分混合复用技术,技术思路是在一个 ODN 上将多个时分 PON 通道(类 XG-PON 系统)通过波长通道堆叠起来,提高系统的能力。图 2 给出了 TWDM PON 的逻辑架构,其中 OLT 同时对多路波长通道进行复用和解复用,在任何时刻,ONU 通过可调光收发器选择具体一个波长通道(接收波长和发送波长)和 OLT 进行通信。在每个波长通道中,采用现有的 XG-PON 的传输汇聚(TC)层协议,实现 OLT 和 ONU 之间的交互。另外,在 NG-PON2 技术方案中还可选支持可调谐的点对点波长堆叠(point-to-point WDM)技术。其中,每个 ONU 被分配独有的上行波长和下行波长,因此 ONU 之间的功能、性能都互不影响,通信业务特征也具有低时延、高带宽等优点,适用于对时延和带宽非常敏感的移动前传和企业应用等场景。

NG-PON2 技术有一个关键系统需求,也是其最大特点,就是能与传统已经部署的 PON 共存同一张 ODN 中,也就是重用 ODN,这点是运营商最为关注的特性。图 3 给出了 NG-PON2 系统通过波分复用器/解复用器(CEX)在同一个 ODN 上实现 TWDM PON、PtP WDM 与 OTDR、GPON/XG-PON 以及 RF 视频等技术的共存,并可基于业务需求及后续器件成熟度,扩展堆叠更多的波长通道,实现系统能力的扩容以及灵活部署。

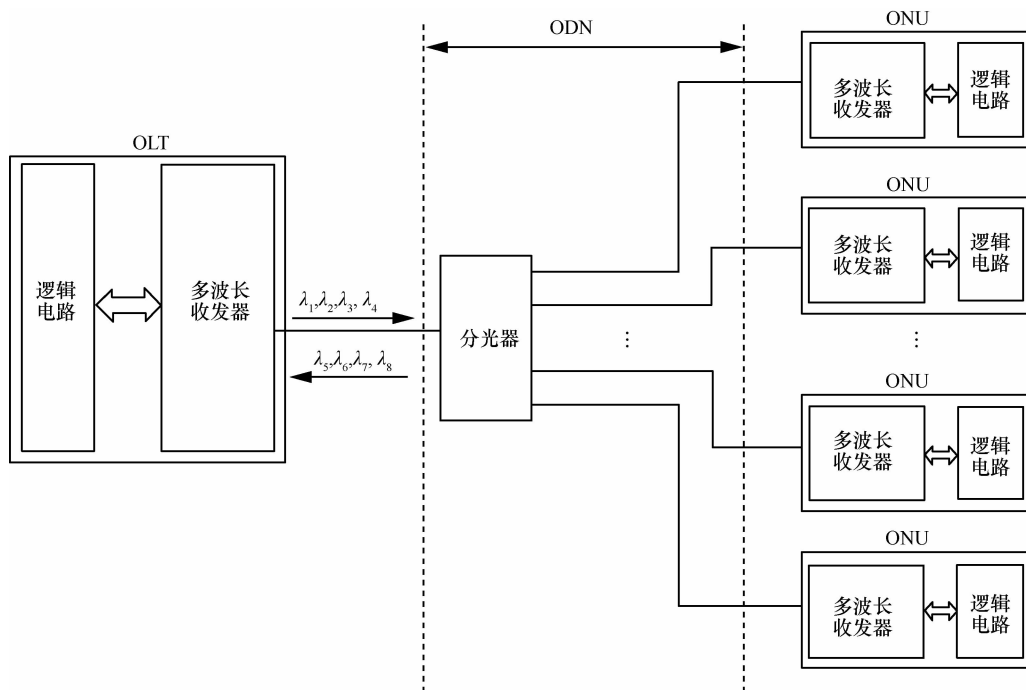


图 2 TWDM PON 逻辑架构

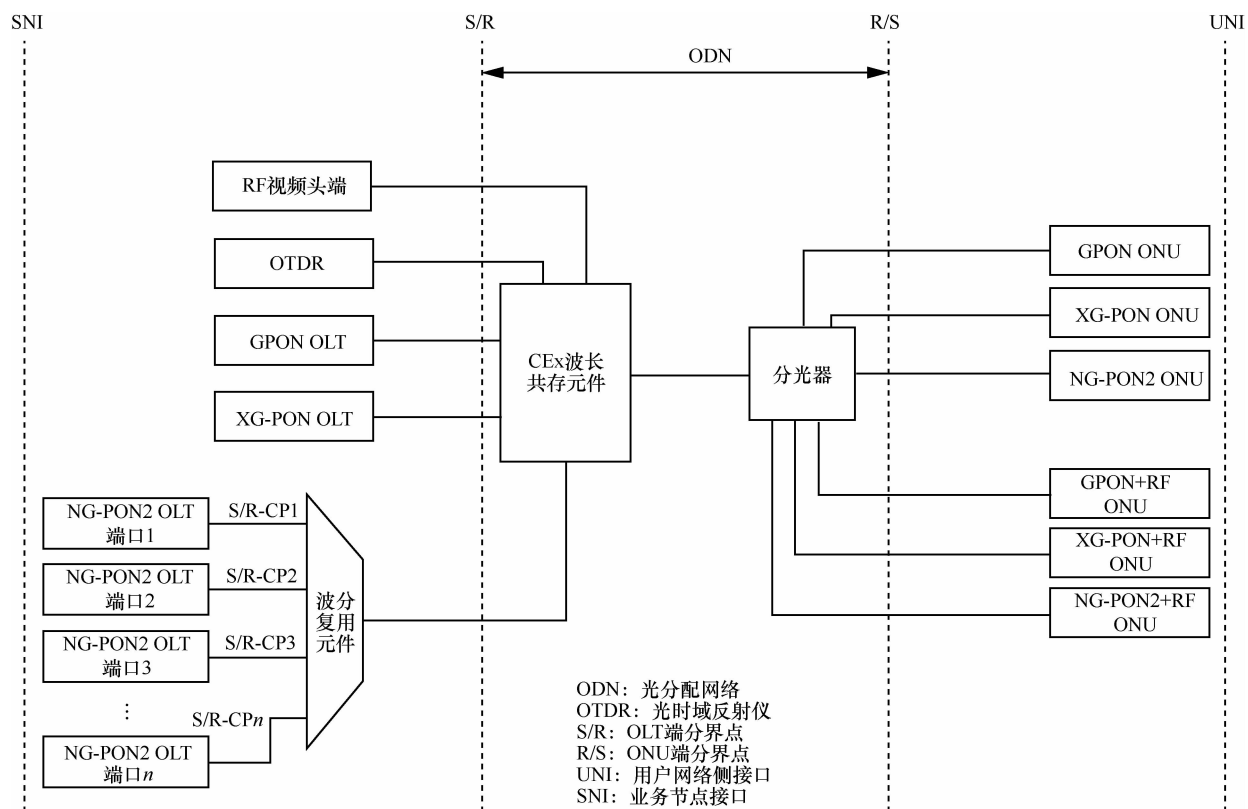


图 3 NG-PON2 与传统 PON 技术共存的逻辑



2.2 NG-PON2 的关键技术特性

尽管 NG-PON2 技术在 TC 层重用 XG-PON 的协议,但是由于引入了波长堆叠的技术方案,因此仍然有很多独特的技术特性,以支持新的架构和功能。扩展功能主要集中在多速率上行支持、波长通道管理、OLT 端口间通信等方面。

(1) 基本要求

传统的 XG-PON 技术只支持上行 2.5 Gbit/s、下行 10 Gbit/s 速率,而在 NG-PON2 系统中除了要求单波长支持上述速率外,还额外增加了两类对称速率的要求:上下行 10 Gbit/s 和上下行 2.5 Gbit/s,见表 1。

表 1 TWDM PON 速率要求

OLT 的速率要求		ONU 的速率要求	
下行速率/ (Gbit·s ⁻¹)	上行速率/ (Gbit·s ⁻¹)	下行速率/ (Gbit·s ⁻¹)	上行速率/ (Gbit·s ⁻¹)
2.488 32	2.488 32	2.488 32	2.488 32
9.953 28	2.488 32	9.953 28	2.488 32
9.953 28	9.953 28	9.953 28	9.953 28
9.953 28	9.953 28 & 2.488 32		

OLT 支持端口速率有 4 种类型,其中包含上行双速率的支持。正常情况下,ONU 在上行和下行各仅需支持一种速率。对称速率的要求源自运营商开展对称宽带业务的需求,但是在 XG-PON 技术中 TC 层协议未对对称速率做过标准化,因此 NG-PON2 技术中需要在 TC 层协议上增加对称速率的要求,并且考虑 3 种速率混合组网的情况。协议层设计中对带宽分配规则进行了增强,并纳入了多速率的 ID 设计,以支持上述提到的多种速率场景要求。

系统容量方面,标准要求 NG-PON2 系统至少支持 4 个波长的堆叠,可选支持 8 个波长的堆叠。也就是说 NG-PON2 系统单 OLT PON 端口可以达到 40 Gbit/s 的系统能力。

传输距离方面,充分考虑了运营商局点融合的部署思路,减少接入站点的数量,要求在无源 ODN 下传输距离至少是 40 km,并具备扩展到 60 km(有源室外站或无源室外站,优选后者)的能力。

ODN 重用是运营商最关注的特性,因此 NG-PON2 技

术明确要求支持部署有功率分光器(power splitter)方式的传统 ODN。NG-PON2 系统尽管要求至少支持 1:256 的分光比,但是考虑到技术成熟度和成本,提出结合应用场景在速率、传输距离和分光比上做出灵活调整,比如 1:64 分光比以及 20 km 传输距离下可以达到下行 40 Gbit/s、上行 10 Gbit/s 的速率能力,或者在相同传输距离下降低分光比至 1:32,将系统能力提升到上下行对称 40 Gbit/s。

(2) 波长规划

NG-PON2 技术与传统的 TDM PON 最大的区别,就是引入了波长维度,因此 NG-PON2 需要明确所使用的波长范围。由于 NG-PON2 系统要能够与传统已部署的 PON 通过波分复用的方式在同一个 ODN 中共存,因此 TWDM PON 系统在规划波长时必须避开传统 PON 已经占用的波段,上行波长选择了 C-波段,下行波长选择了 L+波段,具体波长参数见表 2。PiP WDM 的波长规划则分为两类:共享谱宽和扩展谱宽。其中共享谱宽主要是考虑和 TWDM PON 共存时的应用场景,但代价则是对于器件的技术性能要求较高(保护带 3 nm 过于狭窄)。扩展谱宽则考虑没有需要与传统的 XG-PON 以及 TWDM PON 共存的应用场景,从而带来的好处则是可以重复利用 C 和 L 两个光学性能优异、器件也相对成熟的波段。

另外,在 NG-PON2 标准中详细定义了 TWDM PON 系统中 8 个下行波长的值,但考虑到“无色”ONU(colorless ONU)的实现方式不同,如温控的波长调谐收发器以及基于 TEC 控制的波长调谐收发器,因此没有规定上行方向的绝对波长值。但是这种方式可能会导致不同厂商的设备提供的上行方向的值以及相应波长复用/解复用器件的指标不同,给统一管理和异厂商的设备互操作带来相当的难度。

目前 TWDM PON 和 PiP WDM 的上下行波长范围均已经在 ITU-T G.989.2 中详细定义,但是具体上下行波长间隔及格点具体值还有待进一步讨论确定,波长间隔应为固定值,以保证某一信道波长随温度的漂移不会影响到相邻信道。对于 PiP WDM,由于存在移动前传等室外场景应用,温度波动较大,因此在标准制定时应考虑波长间隔和信道带宽两个参数的合理折中。

表 2 NG-PON2 波长规划情况

可兼容的系统	TWDM		PtP WDM
	下行	上行	上行/下行
GPON、RF 视频、XG-PON	1 596~1 603 nm	宽谱宽:1 524~1 544 nm; 收窄谱宽:1 524~1 540 nm	共享谱宽:1 603~1 625 nm; 扩展谱宽:1 524~1 625 nm

(3) PMD 层关键技术

TWDM PON 是多个时分 PON 通道在波长维度上堆叠而成,因此 PMD 层是 NG-PON2 的一个核心内容。PMD 层的指标要求与设备的实现也紧密相关,需要同步考虑设备的性能和可实现性。关键技术包括 ONU 可调谐器件的指标要求、OLT 模块光收发特性、FEC 功能要求、共存器件 CEx 和 WM 的指标要求、高速率的编码方式和 ODN 功率预算等级等。

在编码方式上,TWDM PON 的下行信号和速率为 25 Gbit/s 的上行信号的线路编码方式均沿用非归零(NRZ)码。而对于对称系统中的速率为 10 Gbit/s 的上行信号,由于考虑长距离场景线路色散加剧,沿用非归零码有可能会对 OLT 端接收机性能提出较高要求,从而增加研发难度和成本,因此目前 40 km 场景+10 Gbit/s 速率的场景中,具体应用的线路编码方式仍然待定,有一定可能考虑引入高阶编码方式,改善长距离光纤色散的影响。

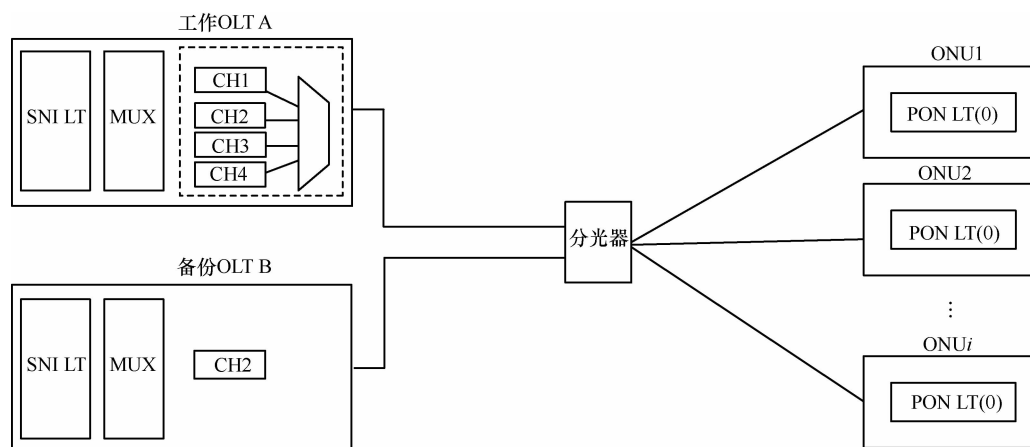
(4) TC 层的关键技术

TWDM PON 由 4~8 个时分 PON 通道堆叠而成,原则

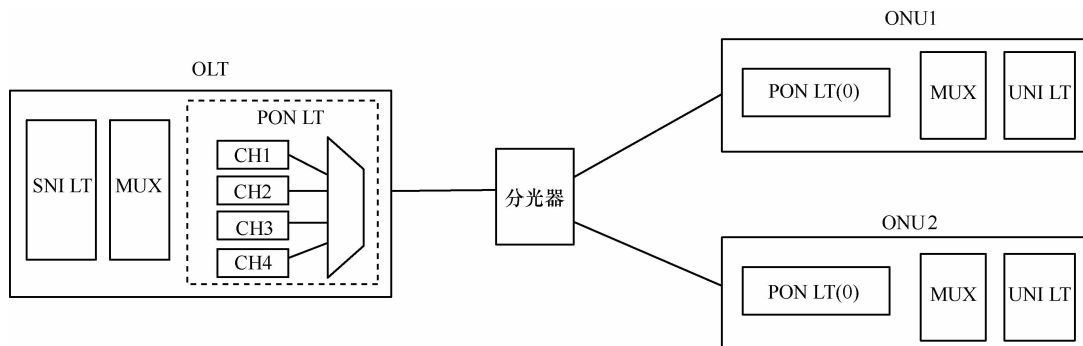
上每个波长通道都以 XG-PON 的 TC 层协议为基础,进行统一功能和性能的扩展。比如说由于多波长的引入,TC 层协议需要增加对波长管理、波长的资源分配、波长调谐以及波长监控等方面的功能,由此 ONU 的激活流程、ONU 的状态机都需要在 XG-PON 的基础之上进行修订和增强。目前标准中已经基本明确了 ONU 的激活流程、波长调谐和波长校准的 PLOAM 消息,但是 ONU 的状态机、动态带宽分配算法、TWDM PON 保护、流氓 ONU(rogue ONU)等方面都是目前持续讨论的研究热点。

在 TWDM PON 的保护中,波长是新的保护元素,且“无色”ONU 的需求,也给保护机制带来了更高的灵活性。除了典型的 Type B、Type C 等保护结构之外,图 4 给出了 TWDM PON 系统中的新型保护架构。

ONU 的波长调谐和波长校准均需要花费毫秒级别的时间,对保护倒换时间造成一定影响。通过设计合理的 TC 层协议,例如,OLT 提前通过 PLOAM(物理层运行管理维护)消息或者 OMCI(ONU management and control interface)消息通知 ONU 备用波长的相关信息,使 ONU 在保护倒换



(a) N:1 Type B 保护架构



(b) OLT PON 端口内的保护架构

图 4 TWDM PON 的保护架构示例



前已经完成备用波长的校准和切换准备工作,可以有效缩短保护倒换时间。同时,ONU 保护过程中涉及波长的调谐和校准,ONU 的状态转移也需要重新规范。

另外,流氓 ONU 的问题也是 TC 层中讨论的热点。在传统的 TDM PON 中,流氓 ONU 的情况源自于 ONU 没有按照协议的要求发光或者发光的光功率过高或过低,造成自身上行数据与其他正常 ONU 的上行数据发生重叠,造成干扰后分组丢失。在 TWDM PON 中由于多波长和可调谐技术的引入,会产生更多的流氓 ONU 可能性。例如 ONU 的上行波长在注册激活阶段由于自身波长校准精度不高,漂移到了相邻工作信道中;或者 ONU 在工作状态时,由于自身故障,将自身工作波长切换到其他信道等。因此检测、隔离流氓 ONU 的机制也是研究和标准制定的关键点。

最后 TWDM PON 在讨论需求的过程中,还引入了 PAYG (pay as you grow) 的重要概念,这就需要 TWDM PON OLT 的不同波长 OLT 端口能部署在同框的不同的线卡中,甚至是不同框的设备中。目前有诸多功能(例如在线校准、波长调节、流氓 ONU 处理以及 OLT 端口节能等)都需要不同程度的 OLT 波长端口间的通信和协作。目前研究关注点在于通信协作所需要的信息,而将具体的通信协议留作未来的研究内容之一。

3 NG-PON2 系统实现的关键器件

在传统的 TDM PON 中,定义了上行和下行波长值,OLT 和 ONU 按照标准的波长进行发送和接收。而 NG-PON2 系统考虑到多波长系统工作的灵活性,明确要求 TWDM PON 和 PiP WDM 系统中支持“无色”ONU,也就是说 ONU 具备可调谐发送和可调谐接收的能力,可以调谐至指定的波长信道进行注册和工作,因此对 ONU 的器件实现提出了很大的挑战。另外,OLT 侧的光模块要集成 4~8 个波长小型化紧凑型设计也具有很难的难度。

(1)ONU 可调激光器

半导体可调谐激光器按照调谐机理分类,主要可以分为电控制调谐、热调谐和机械调谐三大类。目前国际上已商用的可调谐半导体激光器,主要是采用第一种方式实现大范围可调激光器,范围可达 30 nm,主要用于传输网,这种大范围可调激光器芯片都需要进行额外的外延生长和光栅制作,工艺复杂、成本高昂、尺寸大,无法直接用于 PON 领域。在下一代光接入技术发展推动下,目前已经有一批企业、研究所进行研究。可调激光器目前主要是研究

采用 DFB、DBR 激光器温度调谐,在一些厂商的原型机上已经有所采用,而要实现低成本的光组件,最终形态必须是 TO(transistor-outline)型封装,以利用现有的 PON 光组件制造技术。

(2)ONU 可调滤波器

ONU 光接收机所用的可调滤波器也是一个研究热点,目前商用的可调滤波器大多基于调整薄膜滤波器的光入射角实现。这种机械式可调谐滤波器体积大、成本高,需要对每个滤波器单独组装和测试,无法用于 TWDM PON 光组件中。因此开发可置于 TO 内的微型可调谐滤波器芯片将是 TWDM PON 光组件成功的关键。目前的研究热点主要集中在基于薄膜、微机电系统(MEMS)、液晶或硅光子集成技术的微型可调谐滤波器的小型化和产业化方向。

(3)OLT 紧凑型光模块

由于 OLT 端光器件及配套电层芯片的性能指标(例如激光器线宽、波长稳定性、调谐精度、突发接收性能等)均高于 ONU 端同类器件,造成目前大多数厂商的原型机的 OLT 端光模块均为 CFP(centum form-factor pluggable)等大体封装形式,单块线卡上可用端口有限。提高 OLT 的端口密度可以有效降低部署成本,采用集成光电子的相关技术,将多个功能模块集成到单一器件上,远景上可以大幅度缩小光模块封装尺寸,达到目前单线卡 4~8 个端口的性能要求。

4 NG-PON2 技术的标准化进展

2012 年确定采用 TWDM PON 技术方案后,FSAN 联盟就启动了 NG-PON2 标准化的工作,制定 G.989.x 系列标准。其中,ITU-T G.989.1 规范了 NG-PON2 的总体技术要求,该标准的主体内容来自于 FSAN 联盟中运营商牵头制定的 NG-PON2 白皮书,2013 年初通过表决,2014 年将制定 G.989.1 Amd1,增加 NG-PON2 保护功能以及节能相关的总体要求;G.989.2 规范了物理介质关联(PMD)层要求,在 2013 年 12 月的 ITU-T SG15 会议上通过表决;G.989.3 规范了 TC 层的技术要求,现处于研究和起草阶段,其中 TC 层多种 ID 的标识方法、ONU 的状态机、ONU 波长调谐相关的 PLOAM 消息等方面是当前讨论的热点问题,尚未达成一致意见且 PiP WDM 的 TC 层要求完全空白,还需要大量的工作,预计该标准最早在 2014 年 11 月通过表决。在 OMCI 层面,仍然沿用 G.988 标准,2014 年会启动修订工作,将 NG-PON2 的新需求纳入该标准中。预计在 2015 年,

将形成比较完善的 NG-PON2 国际标准。

欧美主流运营商对 NG-PON2 的态度十分积极,特别是以 Verizon 为代表的运营商提出现有的 PON 已经存在局限,计划在 2015 年部署 NG-PON2 技术。另外 BT、FT 等运营商也提出 NG-PON2 技术必须支持移动前传、移动回传以及企业专线承载的应用,并指出会将 NG-PON2 技术优先应用在移动前传的场景。这些需求极大地推动了 NG-PON2 的技术标准制定和厂商设备的研制。设备厂商纷纷开展了技术研究和原型机研制工作,紧凑型的 OLT 光模块和“无色”ONU 的光模块都已经有了样品,华为技术、中兴通讯等公司已研制出 NG-PON2 的原型机。但是从目前来看,受限于低成本、高可靠性的可调光器件不成熟等问题,NG-PON2 的规模商用尚待时日。

5 结束语

NG-PON2 作为下一代 PON 的技术方案,在提升性能、满足新兴应用需求的同时,兼顾了与现有 PON 的兼容性,是 PON 技术的发展方向,受到了国际主流运营商的高度关注和广泛支持。NG-PON2 的国际标准处于制定中,预计在 2015 年将形成比较完善的技术标准。产业链也在快速发展中,一些设备厂商和器件厂商已经推出了相关的样机和样品。随着高速宽带接入、移动基站前传等新型应用的快速发展,以 TWDM PON 和 PiP WDM 为基础的 NG-PON2 技术将在今后作为接入网领域的主力得到广泛部署应用。

参考文献

- 1 ITU-T G.989.1. 40-Gigabit-Capable Passive Optical Networks

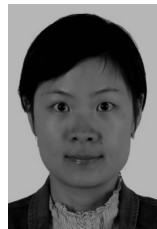
(上接第 110 页)

- 探讨. 情报杂志, 2013(9)
- 2 李凌. 云计算服务中数据安全的若干问题研究. 中国科学技术大学博士学位论文, 2013
- 3 何宝宏, 栗蔚. 公共云服务认证研究. 邮电设计技术, 2013(9)
- 4 刘婷婷. 面向云计算的数据安全保护关键技术研究. 解放军信息工程大学博士学位论文, 2013
- 5 乔宏明, 姚文胜. 基于策略提升公共云存储信息安全水平的方案研究. 移动通信, 2013(21)
- 6 刘素清. 云时代的信息安全问题. 电信快报, 2013(9)
- 7 张逢喆. 公共云计算环境下用户数据的隐私性与安全性保护. 复旦大学博士学位论文, 2010
- 8 房晶, 吴昊, 白松林. 云计算安全研究综述. 电信科学, 2011, 27(4): 37~42

(NG-PON2): General Requirements, 2013

- 2 ITU-T G.989.2, 40-Gigabit-Capable Passive Optical Networks 2 (NG-PON2): Physical Media Dependent (PMD) Layer Specification, 2013
- 3 ITU-T G.989.3 Draft, 40-Gigabit-Capable Passive Optical Networks (NG-PON2): Transmission Convergence Layer, 2014

[作者简介]



蒋铭, 女, 博士, 中国电信股份有限公司上海研究院高级工程师、基础网络部接入室主任, 长期从事光纤接入网的技术研究工作, 是 FSAN NG-PON2 IOP 组的 Co-chair (共同主席) 和 G.989.3 的 Co-editor (合编者), 参与推动了 EPON 和 GPON 技术的发展和在国内的应用部署, 主导制定了多项 ITU-T、CCSA 等国际国内标准, 先后发表了 10 多篇学术论文, 发明 10 多项专利, 曾获得国家科学技术进步奖二等奖和多次省部级奖励, 目前主要研究方向为下一代 PON 技术以及 PON 的网络规划和运维。

沈成彬, 男, 博士, 中国电信股份有限公司上海研究院教授级高级工程师、技术总监, 多年从事宽带光接入与传输技术及其应用研究工作, 主导制定了多项 BBF、IEEE、ITU-T、CCSA 等国际国内标准, 先后发表了 20 多篇学术论文, 发明近 20 项专利并有多项专利转化为标准, 多次获得国家级和省部级奖励。

金嘉亮, 男, 博士, 中国电信股份有限公司上海研究院工程师, 主要研究方向为宽带光接入网和传输技术。

(收稿日期: 2014-03-28)

[作者简介]



郭丰, 男, 工业和信息化部电信研究院通信信息所互联网络与市场研究部副主任、工程师, 网络与信息安全研究领域副主席, 主要从事网络空间战略、互联网治理、互联网行业监管、互联网技术业务、ICT 国际合作等方面的研究工作。

栗蔚, 女, 工业和信息化部电信研究院通信标准研究所工程师, 数据中心联盟可信云服务工作组组长, 主要从事云计算和多媒体领域的研究工作。

(收稿日期: 2014-06-03)