

下一代 PON 技术

周小平

华为技术有限公司，深圳市龙岗区坂田华为基地，邮编 518129

随着各国宽带政策的驱动以及用户对带宽需求的持续增长，现在光纤接入网开始进入大规模布放的时代，“最后一公里”的方案已经开始切实推行。

整个带宽升级或者“光进铜退”本质上来说，是个基础设施建设问题，它投资巨大，而且运营商希望网络一旦建设完成，就希望可以长时间运营；尽量避免因为升级或者扩容，导致对已有网络的大变动。因此在接入网技术和方案的选择上，必须考虑共存这个核心的问题，即由单模光纤和光分路器构成的 ODN（光分配网络）需要在长时间内维持不动。

当前主流的 PON 系统包括 GPON 和 EPON。它们有相同的上下行波长，即 1310nm 和 1490nm。而下一代 10G PON 系统采用的上下行波长是 1270nm 和 1577nm。因此两代 PON 系统之间，可以通过波分复用器件共存在同一个 ODN 上，带宽升级不影响原有业务。当前，10G GPON (XG PON) 和 10G EPON 的标准制订工作均已完成，很多运营商也已经完成了试验局测试。不过，当前面临的一个问题是：10G PON 提供的带宽超过了当前的需求，而且成本较高；另外一方面，运营商也希望减小整个升级的中间阶段。由此提出一个问题：什么时候用到 10G PON？当 10G PON 的需求开始凸显的时候，是否已经有其他解决方案可以用来替代？这就引出了 NG PON2 的技术方案选择问题。

后 10G PON 时代的技术选择方案，从当前来看，就包括：波长堆叠时分复用 TDM PON，波分复用 WDM PON，光正交复用 OFDM PON，光码分多址 OCDMA PON 等，覆盖从时间、波长，频率，编码多个纬度，涉及动态波长管理 DSM，相干检测 Coherent

Detection，数字信号处理 DSP 等多项技术。

从 2011 年 5 月份 FSAN 发布的 NG PON2 需求白皮书角度来看，10G PON 之后的无源光网络需要提供最起码 40Gb/s 下行和 10Gb/s 上行的速率。从市场对技术选择的历史经验、与现有网络的兼容和共存、产业与技术的成熟度等多个角度考虑，波分技术会在成为 10G 后演进的主要方向。本报告，会介绍能满足 40G PON 需求，同时利用 WDM 波分技术的两种方案：基于 10G PON 和少量波长堆叠的 TWDM PON 和基于 1G 以太网的 WDM PON。

一. 波长堆叠 TWDM PON 构架

图 1 是基于波长堆叠的 TWDM PON 与 G/EPON 和 10G PON 共存的架构图。TWDM PON 是利用 4 对不同上下行波长，把原有的 10G PON 扩容成原来的四倍。为了实现与原有网络的共存，40G PON 的波长需要重新规划，避开 1577/1490 下行和 1270/1310 的上行波段。

关键技术与器件

由于在同一个 PON 中引入了多个波长，因此产生不同波长的可调激光器和滤出特定波长的可调滤波器会是关键器件。

可调滤波器

下行的四个波长，经过分路器后，会到达所有的 ONU。因此每个 ONU 需要有一个可调滤波器，滤出特定的下行波长。当前，可调滤波的方法多种多样，包括压电、声电、光电、热电和机械等。但很少有小型化和低成本解决方案。

可调激光器

由于不同的 ONU 发出不同的波长，为了解决仓储问题，ONU 发射机需要采用波

长可调或者可选择技术。传统的可调激光器无疑太贵；如何通过较简单的波长控制手段来降低波长改变的成本，这是 TWDM PON 的另一挑战。

应用场景

考虑到 TWDM PON 天然得继承了 10G PON 的特性，因此最适合作为从 G/E PON 到 10G PON 及以后的自然演进方案，以最大程度得沿用原有的 ODN 网络，实现现有网络的带宽提升和平滑演进。同时，如果能解决功率预算问题，那 TWDM PON 可支持超过 256 的用户及更长的距离，实现 FTTB/C 到 FTTH 升级，并实现 CO 融合。另一方面，由于同一个 ODN 中有多个波长，并且每个 ONU 都可以选择或重配置别的波长，这使得多个运营商共享同一个网络成为可能，满足 Open Access 的需求。

如果 TWDM PON 技术及产业链能较快成熟，而近期 10G PON 不大可能被大规模部署，因此它可能跨过 10G PON，直接在 G/E PON 基础上进行升级。

二. WDM PON 构架

图 2 是常用 WDM PON 的构架图。整个网络呈简洁的对称结构：OLT 和 ONU 都由 LD 发射机，Rx 接收机和 AWG 波导阵列光栅组成。每个用户独享一个波长；所有用户通过波分复用的方式同一根主干光纤汇聚，因此既保存了点对点的以太网特性，同时又可共享光纤。

WDM PON 的用户数，由 AWG 的通道间隔和波段决定。在当前，以 32 路通道，间隔 100GHz 为主，后续研究集中在通过扩大波段或者减小通道间隔的方式延伸到 64 个用户，并把通道的速率从 1.25Gb/s 提升到 2.5Gb/s 或更高。

关键技术与器件

当前有多种 WDM PON 技术，分别基于种子光源、可调激光器、下行重调制、可调激光器和自注入等。所有技术方案，都需要解决如下两个核心问题：

波长对准

OLT 的光源、OLT 的 AWG，远端结点的 AWG 以及 ONU 的光源四者之间的波长需要对准，以便上下行波长可以顺利通过两个 AWG，进入接收机。因此，控制各个光器件之间的波长关系，确保彼此之间的相对稳定，是 WDM PON 的关键点之一。

另一方面，在远端结点的位置不能提供温度控制，这要求该区域的 AWG 的光学特性在不同的温度情况下（-40 到 85°C）保持稳定，因此实现 AWG 的温度不敏感，是另一个关键问题。

无色 ONU

每个 ONU 对应一个波长，但是 ONU 不能只发出一个波长，否则会产生严重的仓储问题；用户数越多，波长越多，仓储问题越严重。因此所有 WDM PON 解决方案需要克服的另一个关键技术挑战是实现 ONU 的无色，即用同一种光模块，按照不同的需要，发出不同的波长。

最自然的解决方案，是采用可调激光器。但是由于它的成本极高，当前不适合在接入网领域应用，因此，学术界和工业界提出了很多的替代方案，最具代表性的，就是反射型半导体器件，比如注入锁定 FP 腔、反射型 RSOA 和反射型 REAM 等。

应用场景

WDM PON 本质上是点对点的网络结构，因此非常适合高带宽、高安全的应用场景，比如移动基站回传，政企用户等；同时它也可以替代基于以太网的点对点到户方式，这在欧洲各国的应用比较明显。

由于 WDM PON 是基于 AWG 的网络构架，ODN 需要作调整，被视为下一代网络的“革命”式的演进方案。

随着下一代 PON 对带宽的进一步要求，WDM 技术成为自然的选择。本文从技术角度，介绍了两种利用 WDM 的 PON 方案，并探讨它们与现有 PON 网络的共存性和平滑演进方案。这两种方案符合“超宽带，可共存”下一代网络演进原则，在标准组织 ITU-T 和 IEEE 中都在热烈讨论中。

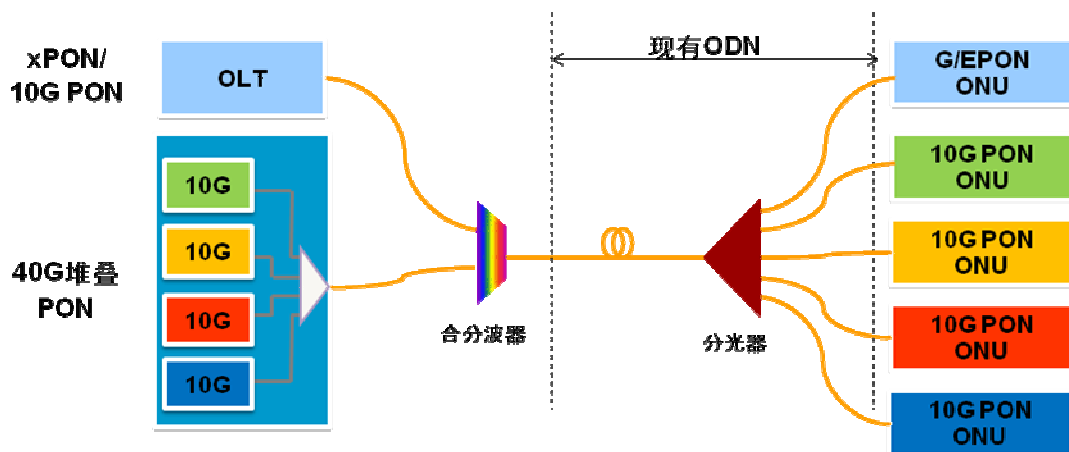


图 1 TWDM PON 与 G/E PON、10G PON 共存构架图

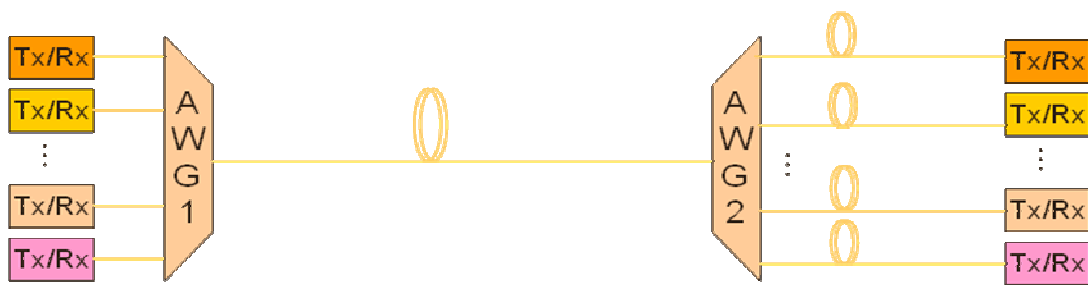


图 2 WDM PON 构架图