

波长灵活的 PON 将替代 XG-PON1

作者：Rob Murano, Aegis Lightwave

波长灵活的 PON 系统采用了 4 路 2.5Gbps 下行信道和可调接收器，能够为基于 10Gbps 单波长链路的系统提供显著的成本和传输距离优势。

虽然目前部署的 FTTH GPON 能够满足未来几年的带宽需求，但运营商已经在实验室内外开始尝试 XG-PON1 系统（下行速率为 10Gbps，上行为 2.5Gbps）。除了带宽需求的推动外，随着 BPON 向 GPON 发展，当 XG-PON1 每用户的成本与 GPON 接近时，其商业应用就会大范围铺开。而每用户的成本将由系统的成本和链路支持的损耗预算所决定。

随着制造技术的进步、价格的压力和竞争激烈的 GPON 元器件市场的推动，目前 GPON 的每用户部署成本已经有了显著的降低。随着 10Gbps 串行速率逐渐成为下一代网络的主流，GPON 的成本和传输距离都受到了一定压制。

不过还有一种替代的方法，最早出现在上世纪九十年代的传输网络中，那就是采用多波长的 2.5Gbps 系统。PON 的光分配网络（ODN）与传输网络不同，它天生的无色性和向后兼容性，都要求与 WDM 共存时，ONT 必须具备波长选择能力。固定波长的滤波器可以用于此种场合（即单色 ONT），但却为运营商带来了极大的运行负担。

只需要增加一点点成本，就可以将光可调薄膜带通滤波器放进传统的 GPON 接收器中，形成“可调接收器”。无论是 PIN 型还是 APD 型接收器，与这种滤波器配合，都能在一个信道窗口 5 到 6nm 宽、信道间隔 50GHz、有多路独立调制信道的 ODN 中运行。这样的系统被称为波长灵活的 PON（WA-PON），虽然尚未有标准组织建立相关标准，但它的成本和传输距离优势都很有吸引力。

WA-PON 的技术细节

图 1 给出了一个 WA-PON 的例子。WA-PON 的 5 到 6nm 可寻址信道窗口与 ITU-T 准备为 XG-PON1 分配的 1575nm 到 1580nm 或 1581nm 信道范围恰好一致。在某一时刻，接收器的可调带通滤波器只会允许 WDM 多个信道中的一个通过并接收，而且可以在很短的时间内从任何一个信道调谐到另一个信道。在这个波长范围内，系统可

以升级到支持 4 路下行带宽。WA-PON 系统最初的设计目标就是在 ITU 建议的 100 或 200GHz 信道间隔基础上使用 4 路 2.5Gbps 信道。

这种 4×2.5Gbps WA-PON 方法不仅能够继承 GPON 的成本和传输距离优势，其汇聚带宽还与一个串行 10Gbps 链路一致。与在 ODN 中采用固定波长滤波器（单色滤波器）或单色 ONT 相比，WA-PON 的网络灵活性体现在每个 ONT 上都使用了低成本的可调接收器。使用这些接收器，不仅可以实现为 PON 网络用户和带宽提供远程动态信道分配能力，而且根据需要，还能在 OLT 上增加新的 WA-PON 下行信道。

WA-PON 需要的商用可调接收器已经在改进的 GPON ONT 中得到应用，目前正在尝试集成到单纤双向或单纤三向光组件（OSA）中。OSA 的设计简单易懂，即在工业标准化的 TO46 中，将可调滤波器做得足够小，以实现与 GPON 接收器所需的光子和电子器件封装在一起。

与 GPON 共存

GPON 系统的部署遵循 ITU-T 984.5 标准，允许在同一个 ODN 中与 XG-PON1 波段共存。如果可调接收器的可寻址信道窗口能够在 1250 到 1620nm 的范围内任意调整，那么使用 XG-PON1 波段就可以与 GPON 共存。事实

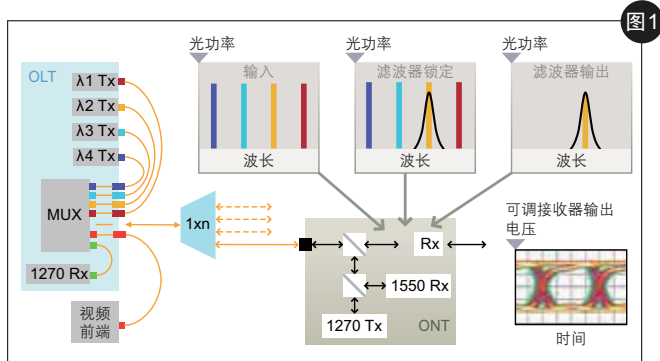
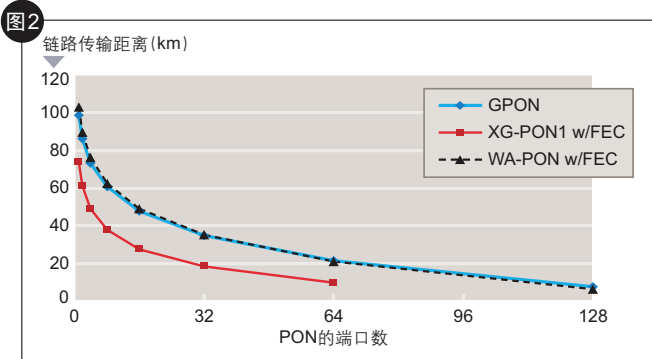
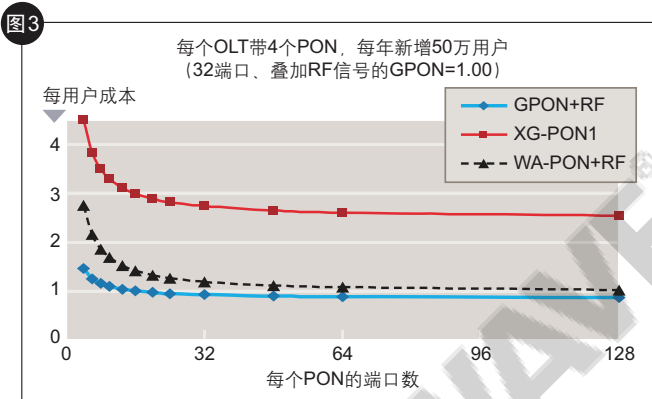


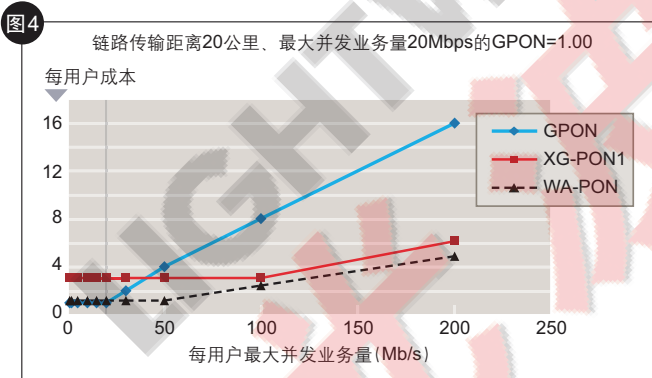
图 1 一个 WA-PON 系统示意图，叠加了 RF 视频信号。



采用不同下行技术，链路传输距离与端口数的关系。



每用户成本与不同PON技术承载的端口数的关系。



每用户成本与最大并发业务量的关系。

上，在GPON ODN上已经成功实现了WA-PON的共存。

未来PON部署需要考虑的一点是，是否还需要叠加视频广播的RF信号。这种方法最广为人知的应用是Verizon在美国提供的FiOS业务。视频业务在未来3到5年完全实现IP化还不大可能，这就决定了同时支持RF信号叠加的需求仍然存在。

为了尽可能缩短投放市场的时间以获取更多利益，WA-PON也需要支持RF信号叠加。然而，在最近3到5年XG-PON1系统的成本还不大可能降低，因此为了降低系统成本，WA-PON也可以选择不支持视频RF信号叠加。

传输距离

将PON的串行比特率从2.5Gbps提高到10Gbps，接收器灵敏度的降低将会导致至少6dB的链路损耗预算。而且，增加的比特率还会产生显著的色散，进一步提高链路损耗。在XG-PON1中计划部署更高灵敏度的电子器件，以及前向纠错（FEC）和更高的发射功率，可以弥补以上这些问题，以达到XG-PON1标准要求的29dB和31dB链路损耗预算。但是，在10Gbps系统中增加链路损耗预算的任何方法同样可以用到GPON和2.5Gbps WA-PON中。WA-PON也有自己的传输距离限制——在OLT中将下行波长复用，以及位于ONT中的可调滤波器带来的插损（典型值分别<2.5dB和<1.5dB），是其产生损耗的主要来源。

与所有的系统设计参数一样，PON系统的链路预算也可以通过计算得到，譬如设发射功率为+5dBm，接收器的噪声、光纤损耗和FEC增益之和为4dB。然后就可以进一步确定最大传输距离与PON承载用户数量之间的关系，图2标识出了其结果与一个标准GPON系统的比较。在GPON中增加FEC可以提高传输距离，但下行汇聚带宽的限制仍然是2.5Gbps。

在WA-PON系统中增加FEC，可以克服OLT中光复用和ONT中滤波所产生的损耗。如果工作波长从1490nm转到更低衰减的1575nm，那么WA-PON的传输距离会超过GPON。当然，这一分析未考虑上行传输的限制。上行速率为1.25Gbps时，WA-PON与GPON一致，为2.5Gbps时与XG-PON1一致。同时也没有考虑叠加射频信号的情况。

成本

ONT的成本对下一代系统经济性的影响将比OLT大，这是由于每个PON承载的所有用户平摊了OLT的成本。为此，2.5Gbps WA-PON系统采用了标准的GPON接收器电子器件，每个ONT驱动电路的附加成本比过去仅高了不到1美元。将GPON ONT主板上已有的控制激光二极管和光电探测器的微控制电路，同时用于控制可调滤波器，是实现如此低的额外成本的关键。

采用标准的半导体工艺，就可以在晶片上制造可调薄膜滤波器。在晶片切割和加工时可以同时进行光电集成，从而进一步保证运作效率。这种晶片级的制造和自动化的工艺控制很容易做到量产，因此能够以极低的成本满足大范围部署的需要。

导致XG-PON1和WA-PON成本提高的最大原因还是

光子器件。但如前所述，ONT 对每用户成本的影响更大。这在速率达到 10Gbps 时尤甚，因为要使用高比特率接收器，而在 WA-PON 中，因为增加了发射器和复用光子器件，OLT 的成本增加额占总成本增加额的大部分。

综合来自市场研究公司、芯片制造商和器件制造商的有关链路长度和端口数与成本的数据，我们可以计算得到标准 GPON 每用户成本和端口数量的关系。图 3 显示了计算结果。

即使假设 10Gbps 的电子器件价格与 2.5Gbps 的一样，2.5Gbps 多波长系统的成本优势仍然很明显。另外，XG-PON1 不包括 RF 信号叠加，与 GPON 和 XG-PON1 相比，WA-PON 的性价比更高。

业务考量

每用户获得每比特的成本也说明了 WA-PON 是一种极具竞争力的技术。在图 4 中，简单地计算了在传输距离为 20km（见图 2）时下行带宽除以端口数量的结果，并对结果进行了比较。统计复用效果对计算的影响未作考虑。不过由于相对关系不变，其所产生的影响基本上是一致的。

假设一条 GPON 链路，其传输距离是 20 公里，支持的端口数是 128，并发业务量的峰值为 20Mbps。当然，大量超额使用带宽的现象比比皆是，而 PON 实际承载的端口

数也没有这么多，因此目前 GPON 的容量在不久之后就会赶不上需求。然而，随着每端口带宽的增加，GPON 的成本也会增加（这是由于业务水平越高，能够承载的端口数量越少），其总成本很快就超过了 WA-PON。而不管业务水平如何，WA-PON 比 XG-PON1 都具有明显的成本优势。

不会过时的基础架构

部署下一代 PON 还必须考虑未来的技术发展。如果采用 WA-PON，每个 ONT 都配有窄带带通滤波器，这意味着即使未来波长增加了它也能够适应。同时，滤波器具备天然的可调能力，保证了在最初四个信道上还能再增加新的波长，那么总的带宽将超过 XG-PON1。

另外，一旦运行在串行 10Gbps 上的可调接收器成本和带宽需求能够满足实用条件，就可以在一个系统中将 2.5Gbps 和 10Gbps 信号混用，以进一步提高容量。这些因素都说明，WA-PON 天生就具有不会过时的能力。

由于串行 10Gbps 技术的成本需要进一步压缩，导致 XG-PON1 存在成本问题，整个 PON 市场目前正经历着一个技术停滞期。作为近中期解决方案，2.5Gbps WA-PON 具备可以与 GPON 相比拟的成本和传输距离，同时能够提供提供一个超过 10Gbps 汇聚带宽的链路。[LWC]

上接第19页

下述公式计算了光通过 10km 光纤的时间。

光纤长度 (l, 以米为单位) / 光速 (s, 以米每秒为单位)
= 光传输时间 (t)

$$t = \frac{l}{s} = \frac{1 \times 10^4 \text{ m}}{2 \times 10^8 \text{ m/s}} = 50 \times 10^{-6} \text{ sec}$$

可以得出光纤中的光传输时间为 50 微秒，又已知比特率，即可计算出填充光纤所需要的比特数。下述公式计算了当数据信号比特周期为 0.8×10^{-9} 秒或者数据率为 1.25GHz 时，填充传输时间为 50 微秒的光纤所需比特数。

传输时间 (以秒为单位) ÷ 数据信号比特周期 (B)
= 填充光纤所需的比特数 (b)

$$b = \frac{t}{B} = \frac{50 \times 10^{-6}}{0.8 \times 10^{-9}} = 6 \times 10^4 \text{ bits}$$

在这个例子中，BERT 采用的同步码数至少为 60kbits。由于用来进行 BER 测试的数据流和 BERT 的数据同步码型不一致，将光纤完全填充显得很重要。

让光纤完全被一套完整的同步码型填充，保证了一

旦 BERT 的码型发生器和误码探测器从同步进程转移到 BER 测试进程，光纤中已经没有同步码。如果有的话，误码探测器将会在同步码数据完全在光纤中清空前探测到一些误码。如图 4 中，一旦 Rx 从第一步走到第 1a 步，Tx 和 Rx 严格的时间相关，Tx 的 50 微秒时延会保证误码探测器在 Tx 和 Rx 到达第 2 步时开始测量突发数据码。

灵活性最关键

BERT 需要提供控制 ONU 数据突发内容和长度以及用户自定义数据的灵活性，从而其前同步信号可兼容测量多种设备。BERT 需要提供和突发数据时间相干的一系列低速控制信号。

BERT 的分析仪系统需要支持受限 BER 测试，其 BERT 可灵活配置，指出哪些 ONU 突发数据比特需要测量，哪些需要忽略。用来做 PON 测试的 BERT 还需要可升级到测试 1.25Gbps 和 10Gbps PON。[LWC]