

在光纤达数公里的条件下测试 PON 设备

作者: Joe Evangelista, 安捷伦科技

直至目前, PON 设备测试都仅限于在短光纤条件下。新技术使得设备测试可以在更长光纤的条件下进行。

测试工程师都想了解长光纤对于 PON 光网络单元 (ONU) 发送的原始信号的质量的影响。例如, 一名测试工程师可以通过误码率测试仪 (BERT) 的误码探测器来监测误码数量, 以评估通过某个网络的光功率的损耗。在光功率不断衰减直至出现误码的过程中, BERT 的误码探测器可以实时监测 BER, 从而得到系统光灵敏度的信息。

然而直到目前, 因为要求发送光信号和接收光信号之间的传输时延足够小, 人们只能在短光纤的条件下用这种方法测试 PON 设备。本文讨论在 1.25GHz 下, ONU 收发机和光线路终端 (OLT) 收发机之间有数公里光纤时, 测试 PON 元器件误码率 (BER) 的问题。

光纤长度问题

在过去的 PON 测试条件下, 需要较小的传输时延以确保接收机能采用和发送信号同步的时钟信号, 正确采样接收数据。短传输距离能保持发送的数据和发送端的同步时钟之间的相位相干性。接收机系统过去常需要时钟将接

收到的数据和存储在系统内存里的期望数据对准, 来采样接收到的数据, 以计算误码。图 1 表示了 BERT 的误码探测器可通过相位同步时钟来采样接收到的突发数据。

当在 ONU 的信号发送端和 OLT 的接收端间插入多于数米的光纤, BERT 的误码探测器不再能用 BERT 的码型发生器时钟来采样它接收到的数据。你可能认为可以简单地在发送端同步时钟和接收机接收到的时钟间, 插入和传输数据所用光纤长度相等的另外一卷光纤。不幸的是, 没有任何两根光纤的特性完全一致, 因而用来采样接收信号的时钟与接收信号之间的相位相干性很难保证。

你还可能考虑采用时钟数据恢复 (CDR) 机制, 从接收到的数据中重新建立一个相位相干时钟, 提供给接收机系统采样。然而, PON 系统采用异步时间复用, ONU 突发地发送数据而不是连续发送, 在网络中复用多个 ONU 来实现高网络带宽利用率。图 2 为突发数据的示波器截图。

传统 CDR 需要连续数据流以保证连续相位相干时钟的输出。因而 PON 系统需要开发一种当数据不连续时,

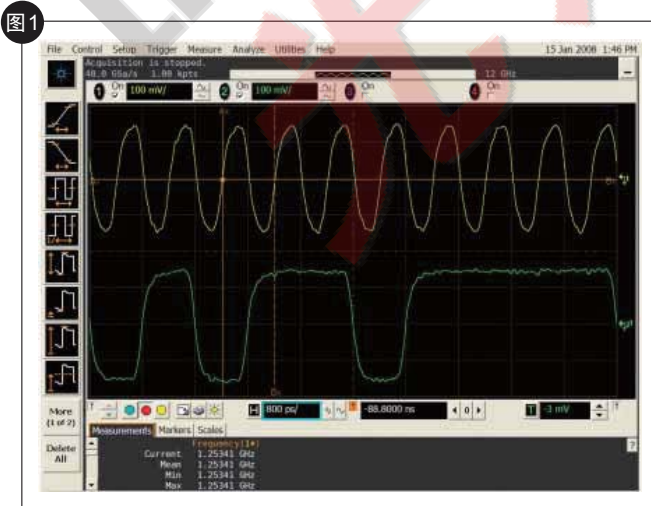
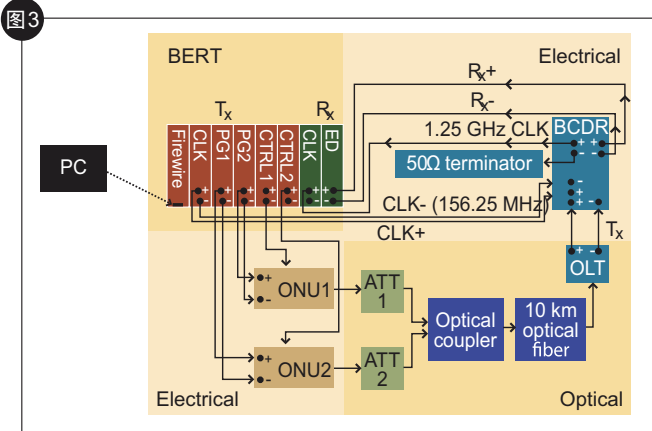


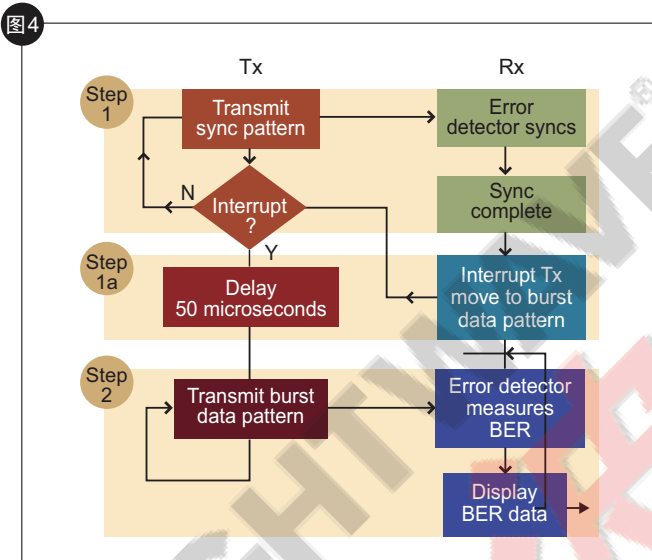
图 1 BERT 的误码探测器可通过相位同步时钟来采样接收到的突发数据。



图 2 突发数据的示波器截图。



在数公里光纤系统中采用 BCDR 和 BERT 误码探测器的实验架构。



在 10km 光纤测试条件下, BERT 的发射机和 BERT 的误码探测器之间的数据流。

可以提供恒定相位相干时钟的新型 CDR。突发模式数据 CDR (BCDR) 的发明满足了这个需求。

这还解决了在较长光缆中测试 PON 设备的问题。现在可以同时采用 BCDR 和 BERT，做两套同步差分码型发生器和差分误码探测器。这种测试可以在真实条件下评估设备，因而更有价值。同时采用多通道同步 BERT 和 BCDR，可以在多种多样的测试环境中，更好地了解 PON 设备的光学特性。

BERT 的要求

BERT 都需要满足哪些要求才能在有数公里光纤的 PON 系统中准确测量 BER？BERT 码型发生器需要提供电压控制的差分电数据输出，连接到 ONU 接收机的电输入。作为 OLT 的光收发器的电输出发送到 BCDR，将

数据和 1.25GHz 的时钟对准，然后再和同步差分信号一起，发送到 BERT 的误码探测器时钟模块。这使得在数据信号中测得的 BER 包含了长光纤色散效应的影响。

在采用长光纤之前，需要保证 BERT 和 BCDR 在 Tx 和 Rx 背靠背模式下的协同工作能力。这种测试证明了 BCDR 在无数据传送的长时间间隙中，BCDR 提供连续时钟并发送到 BERT 误码探测器时钟模块的能力。

BERT 还需要实现受限 BER 测试。在这种模式下，BERT 的误码探测器可配置到仅测量突发信号的负载 BER，而忽视前同步信号和保证时间。

BERT 还需要提供各种各样的同步控制信号，例如激光器开启和 BCDR 重启，需要和特定的突发数据严格地保持时间一致。BERT 的码型发生器需要和差分数据一起，给 BCDR 提供一个 156.25MHz 的时钟。BERT 的误码探测器时钟模块被从 BCDR 恢复的时钟和从 BCDR 发送的差分数据一起驱动。一旦启动了 BERT 码型发生器和误码探测器，就会看到无误码操作。在该实验中采用的 BCDR 通过 I²C 总线控制。

PON 设备测试举例

搭建如图 3 所示的系统，在数公里光纤系统中采用 BCDR 和 BERT 误码探测器。在该实验中，由于使用了 BCDR，发送的光信号和接收的光信号之间仅有数百纳秒延迟，长延迟的问题不复存在。被发送到光纤中的数据不再和原本的 BERT 码型发生器时钟相位相干，但 BCDR 解决了这个问题。BCDR 保持了和被送到 BERT 误码探测器的重新对准过的数据同步的时钟。

和 BCDR 一起，BERT 提供了与简单连续码同步的功能，在不牺牲发送数据和期望数据时间同步性的条件下，相干切换到突发模式，提供了评估网络物理层特性的灵活性。图 4 显示了在这个过程中 BERT 发送机和 BERT 误码探测器间的数据流关系。

在另一个例子中，ONU 和 OLT 之间插入了 10km 的光纤。需要计算数据以 1.25Gbps 通过光纤传输的时间。BERT 要能够处理数据通过光纤传输的较长时间。

去除光纤传输时延的另外一种途径是产生一种数据码型，一次重复能够完全填充光纤。需要通过光速、光纤长度、数据信号码率来计算需要多少数据才能填充光纤。光纤中光速为 2×10^8 m/s，实验中采用了 10 公里的光纤，即 1×10^4 m。

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]