



OLT PON 端口内置 OTDR 技术分析

欧月华,任 艳

(中国电信股份有限公司广州研究院 广州 510630)

摘 要:伴随着“宽带中国”战略的推进,FTTx 大规模部署,同时光纤故障检测需求越来越多,需要一种以较低成本实现 PON 故障检测,提高运维效率的解决方案。因此,研究了 OLT PON 端口内置 OTDR 技术,分析比较了不同波长方案的实现和成本,重点提出了基于 PON 端口内置 OTDR 的 PON 系统架构,给出 PON 端口内置 OTDR 技术的测试性能要求以及限制其对设备、通信业务影响的要求,从而使 PON 端口内置 OTDR 能够满足运营商的 PON 运营检测需求,提高运维效率。

关键词:OTDR;端口检测;PON

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2015225

OTDR Integrated in OLT PON Port

Ou Yuehua, Ren Yan

(Guangzhou Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Guangzhou 510630, China)

Abstract: Along with the propulsion of the “broadband China” strategy, FTTx has been deployed massively, therefore there are more and more requirements on detecting optic fiber faults, solutions with low cost are needed to detect fiber faults and improve the efficiency of PON operation and maintenance. OTDR integrated in OLT PON port was studied, and the implementation and the cost of different wavelength solutions were analyzed and compared. The PON system architecture based on OTDR integrated in PON port was proposed, and the requirements of OTDR detection ability and the limitation requirements of OTDR effecting the physical parameters of PON port and the communication service were given. The goal is that OTDR integrated in PON port can satisfy the requirements of operators’ PON detection, and improve the efficiency of PON operation and maintenance.

Key words: optical time domain reflectometer, port detection, passive optical network

1 引言

随着 FTTx 大规模部署,光纤故障检测需求越来越多,外置 OTDR(optical time domain reflectometer,光时域反射仪)的故障检测方法存在种种问题:OTDR 仪表和光开关价格昂贵、局端机房布线复杂、与 PON (passive optical

network,无源光纤网络)设备不兼容,不能满足大部分 PON 故障检测低成本和方便管理的需求。为了解决这些问题,把 OTDR 技术集成在 OLT(optical line terminal,光线路终端)PON 端口上,即内置 OTDR 功能的光模块技术应运而生。OLT PON 端口内置 OTDR,以大大低于外置 OTDR 的成本尽可能保留了外置 OTDR 的测量精度,同时简化了局

收稿日期:2015-06-02;修回日期:2015-09-02

论文引用格式:欧月华,任艳. OLT PON 端口内置 OTDR 技术分析. 电信科学, 2015225
Ou Y H, Ren Y. OTDR integrated in OLT PON port. Telecommunications Science, 2015225



端机房的设备连线,降低了运维成本。

2 OLT PON 端口内置 OTDR 技术

2.1 基本原理

OLT PON 端口内置 OTDR 技术(以下 PON 端口内置 OTDR 均指 OLT 的 PON 端口内置 OTDR)能支持各种类型的 xPON 设备,在不影响原有的光模块传输功能的基础上增加 OTDR 光纤故障检测功能,这样 OLT 将只需要更换插拔式的具有 OTDR 的光模块,其他硬件无须改动,同时软件升级即可实现 OTDR 光纤故障检测功能,其中的 OTDR 检测基本原理和其他 OTDR 仪表的原理一样,都是利用光纤后向散射和非涅尔反射来测量光衰减和反射事件,从而定位衰减和反射异常。

2.2 3 种实现方案及技术比较

PON 端口内置 OTDR 的实现按照波长划分可以分成 3 种方案:非通信波长方案、上行波长方案、下行波长方案。下面从实现上对这 3 种方案进行分析。

(1) 非通信波长方案

非通信波长方案不重用原有光模块的有源器件,OTDR 信号的发射和接收采用非通信波长(1 625 nm/1 650 nm)的独立器件,因此在线测试就可以避免影响正常的通信信号,但由于增加了两个新的器件,光模块的封装难度较高并且成本略高。

在脉冲技术实现上,非通信波长方案主要有两种方法:一是采取传统 OTDR 仪器中使用的单脉冲 OTDR 技术,光发射器发送一个短脉冲到待测光纤,然后光接收器接收从待测光纤返回的 OTDR 信号,同时为提高信噪比,需要多次重复以上过程,然后对所得数据取平均值,最后得到相应的 OTDR 曲线数据;二是互补正交多脉冲 OTDR 技术,它采用序列相关技术,对比单脉冲技术,优势在于可使用较低功率的光发射器,同时可缩短检测的时间,提高检测的效率。

(2) 上行波长方案

上行波长方案充分利用原来光模块的光接收器,需要在光模块中增加一个上行光发射器,专门发射 OTDR 的测试光。由于重用了原有光模块的器件,同时增加的光发射器的成本较低,因此该方案的总体成本较低。如果采用传统的单脉冲 OTDR 技术,技术难度也较低,容易实现。

但是上行波长方案 OTDR 测试时需要占用上行带宽,要依赖 OLT 调度 OTDR 的测试时隙,测试时间较长。

(3) 下行波长方案

下行波长方案采用下行光波长作为 OTDR 的检测光波长,重用原来的光发射器,即在下行数据上调制一定幅度的 OTDR 的信号,同时需要增加一个下行光波长的光接收器接收返回的测试信号。下行波长方案的调制技术有两种:一是正弦波调制,在原有的下行数字化数据上加了一个低频正弦波的调制;二是编码序列调制,在原有的下行光信号基础上调制伪随机编码序列,在接收端采用相关运算恢复 OTDR 测试数据,编码序列调制是在正弦波调制基础上的改进,利用伪随机编码序列的方法减少了噪声对信号的影响,提高了信噪比。但是由于下行波长方案中 OTDR 的信号是加载在下行通信光上的,需要占用下行通信光的功率预算,并且对发光功率、眼图、抖动等有影响,ONU(optical network unit,光网络单元)的灵敏度和发送抖动也都会随着劣化。为了减轻对下行通信光影响,需要增加下行通信光的功率或者控制 OTDR 测试信号调制幅度。

以上 3 种不同波长方案的 PON 端口内置 OTDR 技术由于实现原理不同,导致成本、性能等有所差异。表 1 简单总结了这几种方案的优劣,并在性能和网络升级方面进行了分析比较。

2.3 器件成本分析

外置 OTDR 的成本受光开关和合波器的成本影响较大,而且端口越多光开关和合波器的成本就越大,PON 端口内置 OTDR 技术不需要采用光开关和合波器,因此相比外置 OTDR,它的成本优势在于可以避免光开关和合波器的开销,主要在于芯片、新器件增加以及原有器件调整和模块封装等成本。

由于 3 种波长方案的 PON 端口内置 OTDR 在实现上的差异,它们在成本上也稍有差异,表 2 给出了小规模商用下(约 100 万个 PON 端口)3 种方案的成本估算,非通信波长方案增加了两个光器件,所以相比其他内置方案成本略高。预计大规模商用后,PON 端口内置方案 OTDR 芯片以及其他器件成本有望进一步降低,估计每个 PON 端口可以再降低 160 元左右。

3 基于 PON 端口内置 OTDR 的 PON 系统

3.1 系统架构

基于 PON 端口内置 OTDR 的 PON 系统架构和各个模块连接如图 1 所示,在该架构中除了原来 PON 系统中的 EMS、OLT、ODN(optical distribution network,光分配网络)

表 1 PON 端口内置 OTDR 方案的比较

	非通信波长方案	上行波长方案	下行波长方案
优点	使用独立发射器和接收器，测试时不影响通信光	能够重用上行接收器	能够重用下行发射器
缺点	需要增加两个有源光器件的模块成本；受到模块的结构、尺寸的限制，给模块封装增加了难度	需停止发射上行业务光时才能进行 OTDR 的检测；为了减少对上行业务的影响，OTDR 检测时隙分配间隔拉长，导致 OTDR 测试时间变长	占用下行光功率预算；ONU 接收端的消光比被减少；增加了噪声和抖动，发送眼图变差；下行抖动增加，导致上行信号的抖动性能产生一定的劣化
目前检测光纤的性能	可以检测到瑞利散射事件和非涅尔反射事件，比如光纤弯曲事件和断裂事件，测试能力最接近外置仪表	可以检测到瑞利散射事件和非涅尔反射事件，但检测时间取决于上行分配带宽	可以检测到瑞利散射事件和非涅尔反射事件，调制幅度越大，OTDR 的检测事件的能力越高，但对下行光的影响越大
网络升级	模块升级时，对原光组件基本无影响。但是对于 GPON 和 XG-PON 共存于同一个 ODN 时，GPON 或 XG-PON 中需要有一个 OLT 光模块具有 OTDR 检测功能，同时需要配置特殊 WDM1r 滤波片	升级后，10 Gbit/s 接收器与模拟信号复用难度增大	需要评估 OTDR 信号对下行信号的影响。在 10 Gbit/s PON 下，下行信号除速率外，调制方式、消光比等光参数与低速 PON 相比都有了很大的变化，需要重新评估 OTDR 性能与业务性能之间的影响

表 2 成本分析比较

方案	项目	成本/元	说明
非通信波长方案	发送器件	50	包括激光器和驱动
	接收器件	70	包括 APD、TIA、APD 升压
	OTDR 芯片	200	芯片数模工艺复杂，要求比较高，按 200 元估算，最终有望降到 1/3
	封装+滤波片+分光器	200	这部分成本目前无法详细估算
	合计	520	
上行波长方案	发送器件	50	包括激光器和驱动
	接收器件	20	环路带宽和增益可调整，现有激光器成本略有增加
	OTDR 芯片	200	芯片数模工艺复杂，要求比较高，按 200 元估算，最终有望降到 1/3
	封装+滤波片+分光器	200	这部分成本目前无法详细估算
	合计	470	
下行波长方案	发送器件	20	OTDR 调制在下行数据上的方式影响消光比，需要提升激光器性能，因此成本略有增加
	接收器件	70	包括 APD、TIA、APD 升压
	OTDR 芯片	200	芯片数模工艺复杂，要求比较高，按 200 元估算，最终有望降到 1/3
	封装+滤波片+分光器	200	这部分成本目前无法详细估算
	合计	490	

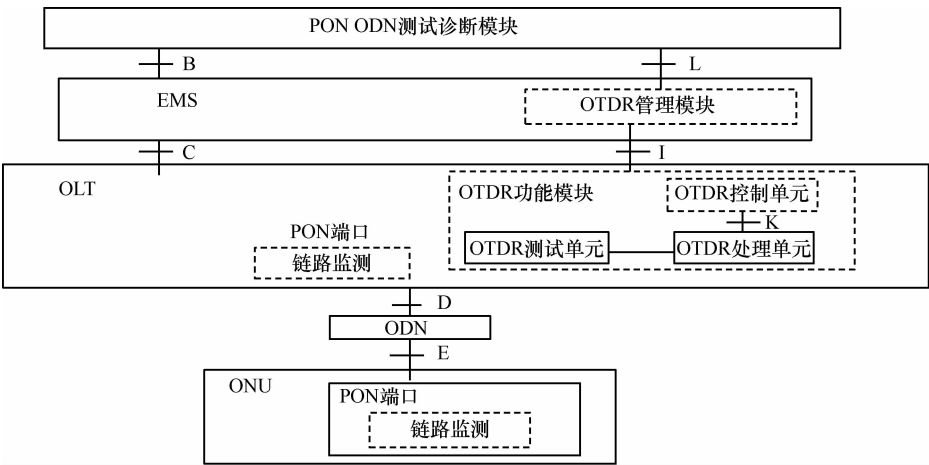


图 1 基于 PON 端口内置 OTDR 的 PON 系统架构



和 ONU 外,主要增加 PON ODN 测试诊断模块、OTDR 管理模块(内置在 EMS 中)和 OTDR 功能模块(内置在 OLT 中,其中光模块具备 OTDR 能力)。

其中,PON ODN 测试诊断模块可以存在于运营商的 OSS(operation support system,运营支撑系统)或其他系统中,也可以独立存在,主要功能是实现 PON 的光层参数测试诊断和 OTDR 测试诊断,能够综合光层参数测试和 OTDR 测试的结果分析 PON 健康状态,定位网络故障和找到故障原因。

OTDR 管理模块内置在 EMS 中,这样就可以不用单独外设服务器,只要在 EMS 里进行软件升级就可以实现快速部署。OTDR 管理模块的主要功能在于:OTDR 管理模块实现对 OLT 中所有的 OTDR 功能模块包括 OTDR 功能模块的测试能力、配置和状态等方面的管理;另外,OTDR 管理模块通过北向接口 L 与 PON ODN 测试诊断模块通信,接收来自 PON ODN 测试诊断模块的查询和测试命令,然后命令 OTDR 功能模块对 PON 端口下待测 ODN 进行测试,测试完毕后从 OTDR 功能模块中获取相关 OTDR 测试数据进行分析处理,并向 PON ODN 测试诊断模块发送处理后的测试结果数据。

OTDR 功能模块实现对 ODN 链路的 OTDR 测试,完成测试后把测试数据返回给 OTDR 管理模块,确定光纤的损耗、光纤链路路上的反射事件和衰减事件等。在基于 PON 端口内置 OTDR 的 PON 系统架构中,OTDR 功能模块是由 OTDR 控制单元、OTDR 处理单元和 OTDR 测试单元组成。

- OTDR 控制单元是在 OLT 设备中管理 OTDR 处理单元的软件单元,其基本功能是管理和控制 OTDR 处理单元以及处理 OTDR 测试原始数据。
- OTDR 处理单元的主要功能是接收 OTDR 控制单元的指令,启动 OTDR 测试以及处理由 OTDR 测试单元传送的 OTDR 信号,生成 OTDR 原始采样数据,并将该数据传输给 OTDR 控制单元。
- OTDR 测试单元的主要功能是发射测试信号以及采集 OTDR 返回信号,主要由 OTDR 测试信号发射器件和接收器件组成。

基于 PON 端口内置 OTDR 的 PON 系统架构的接口定义如下。

- B 接口:PON ODN 测试诊断模块与 EMS 通过 B 接口相互关联。B 接口应支持从 PON ODN 测试诊断模块下发 PON 设备信息查询、告警查询和 OTDR

测试等命令到 EMS,从 EMS 返回结果以及 EMS 自动上报的相关告警信息。

- C 接口:EMS 对 OLT 设备的管理接口。
- D 接口:OLT PON 端口与 ODN 之间的接口,是物理接口。
- E 接口:ODN 与 ONU PON 端口之间的接口,是物理接口。
- I 接口:OTDR 管理模块与 OTDR 功能模块之间的接口。OTDR 管理模块通过 I 接口查询和获取 OTDR 功能模块能力参数、配置、状态和模块故障信息等;OTDR 管理模块启动 OTDR 功能模块进行 OTDR 测试并获取初步测试结果。
- L 接口:PON ODN 测试诊断模块与 OTDR 管理模块之间的接口,实现两个模块间 OTDR 数据传输,尤其完成 OTDR 测试时,OTDR 管理模块传递分析后的测试结果文件到 PON ODN 测试诊断模块。
- K 接口:OLT 中的 OTDR 控制单元与 OTDR 处理单元的接口,负责传输 OTDR 查询命令、测试命令和测试完成后的原始数据等。

3.2 工作流程

PON 端口内置 OTDR 在 PON 系统架构中的工作流程如下。

PON ODN 测试诊断模块自动或者由用户或外部系统触发启动 OTDR 测试,通过 EMS 中的 OTDR 管理模块向 OLT 发出光纤检测的命令,OLT 中的 OTDR 控制单元接收该命令,同时通过 MAC 芯片向光模块转发该命令,光模块接收到该命令后进行 OTDR 的检测和数据处理,完成后把测试结果返回给 OLT 的 OTDR 控制单元,OLT 再通过 EMS 的 OTDR 管理模块转发给 PON ODN 测试诊断模块,PON ODN 测试诊断模块对该测试结果评估是否需要继续检测或结束这次检测,然后将结论通过 EMS 通知 OLT,如果 OLT 得到继续检测的命令,就重复以上步骤;如果 OLT 得到结束检测的命令,就通知光模块关闭 OTDR 功能,使其处于待定的状态,等待下一次启动命令。

3.3 方案应用中的考虑和建议

3.3.1 OTDR 测试性能

运营商选择 PON 端口内置 OTDR 技术的考虑因素,除了包括可接受的成本外,还包括要满足运营商级 OTDR 检测性能。

PON 组网复杂,故障类型较多,主要故障包括光纤断

裂或被压碎、光缆弯曲、连接器污损或连接不当等,通常这些故障在 OTDR 测试中表现为 OTDR 检测的反射和衰减事件。本文将反射事件和衰减事件量化,代表不同程度的光纤断裂、光纤弯曲、连接器开路和连接器污损等问题。

因此,对 PON 端口内置 OTDR 的要求如下。

(1)测试时间:应能够在有限测试时间内(快速测试是 3 min 内,较长测试是 30 min 内)完成一定程度的反射事件和衰减事件的检测。太长的测试时间难以被运营商接受,不满足运维中对故障快速响应的要求。

(2)OTDR 应该能够检测的反射事件如下。

- 回波损耗为 60 dB 反射事件(95%断纤:实验室实验中 95%断纤处的回波损耗在 60 dB 以内,能够监测 60 dB 的反射事件,代表能够检测至少 95%的断纤问题),同时 OTDR 与该反射事件之间的 ODN 衰减为 10 dB(约相当于 ODN 中 20 km 光纤和 4 个连接器损耗的总和)。OTDR 检测该事件的能力相当于 OTDR 能够检测距离 OLT 20 km 以内的主干上至少 95%的断纤故障以及连接器。
- 回波损耗为 41 dB(50%断纤)和 51 dB 反射事件(90%断纤),同时 OTDR 与该反射事件之间的 ODN 衰减 21 dB(相当于 ODN 中 20 km 光纤和 1:8 分光器和连接器损耗的总和)。OTDR 检测回波损耗 51 dB 的反射事件的能力,相当于 OTDR 能够检测距离 OLT 20 km 以内、1:8 分光器分光后的配线光缆上至少 90%的断纤故障。在同样 ODN 场景下,检测到 41 dB 的反射事件的事件分辨率应该比检测 51 dB 的反射事件高。
- 回波损耗为 15 dB 反射事件(相当于 SC 连接器开路时 UPC 端面的回波损耗),同时 OTDR 与该反射事件之间的 ODN 衰减为 32 dB(相当于 ODN 中 20 km 光纤和 1:64 分光器和连接器损耗的总和)。OTDR 检测该事件的能力相当于 OTDR 能够检测距离 OLT 20 km 以内、1:64 分光器分光后入户光缆上开路的光纤活动连接器。

(3)应该能够检测的衰减事件包括主干上衰减 0.3 dB 及以上的衰减事件,前提是 OTDR 与该衰减事件之间的 ODN 链路衰减值加上衰减事件的衰减值得小于 5 dB。

总的来说,只有 PON 端口内置 OTDR 具备以上的检测能力,才能够适用于实际 PON 的建设运维。

3.3.2 限制设备、通信业务影响的要求

OTDR 是内置在 OLT 的光模块中的一部分,除了要满足以上的测试性能外,还必须要与现有 PON 规范兼容,不能降低现有 PON 端口物理指标以及影响在线业务,因此对各个波长方案的内置 OTDR 建议如下。

- OLT 光模块在加载了 OTDR 测试信号后,光模块的附加功耗应不大于 1 W。
- 当 OLT 光模块内置 OTDR 采用上行通信波长时,OTDR 测试对 PON 系统上行带宽的占用率应可配置,建议不大于 20%,OTDR 测试优先级的缺省值应低于通信业务,但可根据需要提高 OTDR 测试优先级。
- 当 OLT 光模块内置 OTDR 采用下行通信波长时,OTDR 测试信号调制度应可配置,调制度精度应不大于 5%;应能选择合适的调制度,在加载了测试信号后,相关的光接口性能仍满足相关 PON 规范的要求,调制度建议不超过 10%。
- 当 OLT 光模块内置 OTDR 采用非通信波长时,ONU 接收机对测试信号的隔离度应不小于 30 dB。

4 结束语

PON 端口内置 OTDR 是一种新兴的光链路检测技术,能帮助运营商及其他最终用户节省相当大的维护成本。目前,该技术还处于快速发展中,各种波长方案的 OTDR 光模块已经出现,技术能力能够满足基本的运维需求,但是在 ODN 中动态范围、事件分辨率、检测时间等 OTDR 检测能力参数有待进一步提高,特别是对入户光纤的衰减和反射事件的检测能力有待进一步增强。

参考文献

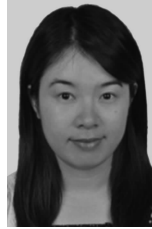
- 1 郭瞻,肖祖铭. OTDR 曲线分析在光纤测试中的应用. 景德镇高专学报, 2013, 28(6): 13~14
Guo Z, Xiao Z M. Application of OTDR curve analysis to fiber-optical test. Jingdezhen Comprehensive College Journal, 2013, 28(6): 13~14
- 2 张琼方,陈根祥,田恺等. 基于 OTDR 的无源光网络在线监测系统研究. 光通信技术, 2015, 39(3): 1~3
Zhang Q F, Chen G X, Tian K, et al. Research on optical online monitoring for PON based on OTDR. Optical Communication Technology, 2015, 39(3): 1~3
- 3 李科,杨飞,陈峰华. OTDR 原理及其应用. 山西科技, 2010, 25(2): 46~47



- Li K, Yang F, Chen F H. Principle and application of optical time domain reflect-meter. Shanxi Science and Technology, 2010, 25(2): 46~47
- 4 罗志会, 王舟. OTDR 宏弯曲损耗测试的分析与应用. 光通信技术, 2009, 33(12): 55~57
- Luo Z H, Wang Z. The analysis and application of macrobend loss test using OTDR. Optical Communication Technology, 2009, 33(12): 55~57
- 5 薛梦驰. 光纤弯曲损耗的研究与测试. 电信科学, 2009, 25(7): 57~62
- Xue M C. Research and measurement of optical fibre macrobend loss. Telecommunications Science, 2009, 25(7): 57~62
- 6 程利军, 王立军. 基于光时域反射仪的光纤测试及分析. 河北电力技术, 2008, 27(1): 42~43
- Cheng L J, Wang L J. Fiber test and analysis based on OTDR. Hebei Electric Power, 2008, 27(1): 42~43
- 7 刘世春. 1 310 nm 和 1 550 nm 波长的光纤弯曲损耗及对光缆线路测试的探讨. 光纤与电缆及其应用技术, 2001(1): 39~43
- Liu S C. Optical fiber bending loss at 1 310 nm and 1 550 nm and discussion on the measurement of fiber optic cable link. Optical Fiber & Electric Cable and Their Applications, 2001(1): 39~43

- 8 朱波, 王磊. 光缆监测系统技术及应用. 邮电设计技术, 2015(7)
- Zhu B, Wang L. Optical cable monitoring system technology and its application. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2015(7)

[作者简介]



欧月华,女,中国电信股份有限公司广州研究院工程师,主要从事 EPON、GPON 等 FTTH 光接入新技术及应用策略研究工作。



任艳,女,中国电信股份有限公司广州研究院工程师,主要从事 EPON、GPON 等 FTTH 光接入新技术及应用策略研究工作。