



OTDR 应用于 PON ODN 测试与诊断分析

欧月华,任艳

(中国电信股份有限公司广州研究院,广东 广州 510630)

摘要:光宽带的规模建设带来了接入网光纤光缆的海量建设,大建设应用后重点在于光网运营维护管理,因而高效的光网检测手段及其相关的灵活应用方式非常重要。在分析 ODN 组网基础上,研究 OTDR 应用于 ODN 的测试能力,重点分析了 OTDR 测试中 ODN 关键事件的特征,同时根据 ODN 建设模式和 OTDR 检测缺点,针对性提出了相关应用方案。

关键词:ODN;OTDR;回波损耗;衰减事件

中图分类号:TN913.7

文献标识码:A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2017003

Analysis of OTDR applied to test and diagnosis in PON ODN

OU Yuehua, REN Yan

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

Abstract: The construction scale of optical broadband network brings the massive construction of the access network optic fibers, and the key point is the operation, the maintenance and the management of the network after the large construction, thus it is very important to use highly efficient detection methods and related flexible application methods. Based on the analysis of ODN, the capability of OTDR applied in ODN was analyzed, and the characteristics of ODN key events in the OTDR test was focused, meanwhile according to OTDR detection shortcomings, relevant OTDR application schemes were suggested.

Key words: ODN, OTDR, return loss, attenuation event

1 引言

FTTx(fiber to the x, 光纤接入)规模发展后的一个重要问题就是要保证 PON(passive optical network, 无源光纤网络)中 ODN(optical distribution network, 光配线网络)的质量,主要是需要保证光纤光缆、光分路器指标以及各种接续的正常,从而保证光路健康。但是 ODN 中引入的高损耗光分路器、点到多点的 ODN 拓扑结构以及复杂的 ODN 部署环境等因素都增加了光纤故障测试与诊断的难度。因此必须要引入 OTDR (optical time domain

reflectometer, 光时域反射仪)测试,实现 ODN 自动测试诊断,利用 OTDR 系统启动远程测试,实现 ODN 故障点的检测定位和原因分析,减少故障处理时间,提高测试效率和线路维护质量。

2 接入网 ODN 组网分析

ODN 是 PON 的重要组成部分,负责建立从 OLT (optical line terminal, 光线路终端)到 ONU (optical network unit, 光网络单元)之间端到端的信息传送光通道,完成 OLT 和 ONU 之间的信息传输和分发。从功能划分,ODN 主



要包括 5 个部分:馈线段、光缆分配点、配线段、光缆接入点和入户段,如图 1 所示。通常地,ODN 中的馈线段一般距离约 3 km,配线段距离约 1 km(光缆接入点放置在楼宇比小区要预留更长),入户段距离不大于 1 km。

PON ODN 多为点到多点的树型拓扑结构,主要有两种典型的光分模式:一种为一级分光,PON 系统只经过 1 级光分路器分光至各个 ONU;另外一种为二级分光,每个 PON 系统经过两个级联的光分路器分光至各个 ONU。在国内大城市用户密度比较高的场景中,对于一级分光的模式,如果是用于 FTTH(fiber to the home,光纤到户),光分路器(使用 1:64 分光比)多数放于小区接入点;对于二级分光模式,多数为 1:4 的光分路器级联 1:16 光分路器的模式或者两个 1:8 的光分路器级联的模式,一级光分路器放于小区或者楼宇里的接入点,二级光分路器放于楼层的接入点。

3 OTDR 应用于 ODN 的能力分析

3.1 OTDR 执行的主要测量

OTDR 执行的主要测量功能包括光纤距离、插入损耗和回波损耗的测量。

- 光纤距离的测量:OTDR 可以实现测量 ODN 中任意给定两事件点(包含测试起点)之间的相对单向距离。
- 插入损耗的测量:在动态范围内,OTDR 可以实现测量 ODN 光纤链路的总损耗、ODN 任意两点间损

耗、每段光纤的平均损耗、熔接点的熔接损耗、活动连接点的连接损耗、光分路器的损耗以及其他原因(如光纤弯曲)导致的损耗等。

- 回波损耗的测量:OTDR 可以实现测量光纤链路上各接续点(如活动连接点)和断纤等事件的回波损耗。

3.2 OTDR 捕捉到的 ODN 主要事件分析

OTDR 的基本原理是光的瑞利散射和非涅尔反射,如果检测 ODN 链路时背向瑞利散射有明显变化或者检测到菲涅尔反射,则判断 ODN 上出现相关衰减事件或者反射事件。

在 ODN 上,OTDR 能够检测的主要衰减事件或反射事件包括:光纤宏弯、光分路器、光纤连接与连接器开路、反射器和断纤事件等,通过具体分析 OTDR 检测 ODN 的这些事件,可以进一步完善 OTDR 测试中的事件特征以便存储在数据库中留档,这样每次测试中将测试结果对比参考测试曲线以及关联数据库中相应的事件特征,判断 ODN 发生的具体事件和异常。

(1) 光纤宏弯

在建设 ODN 中,某些情况可能会造成光纤宏弯:光线路由转弯和铺设光缆的施工;ODN 施工需要预留的光纤光缆;接头盒光纤的盘留、机房及设备内尾纤的盘绕等。

光纤的宏弯会造成宏弯损耗,光纤的宏弯损耗是 OTDR 检测的衰减事件的一种。OTDR 只要捕捉该段光纤弯曲前和弯曲后背向瑞利散射光功率的变化,就能确定宏

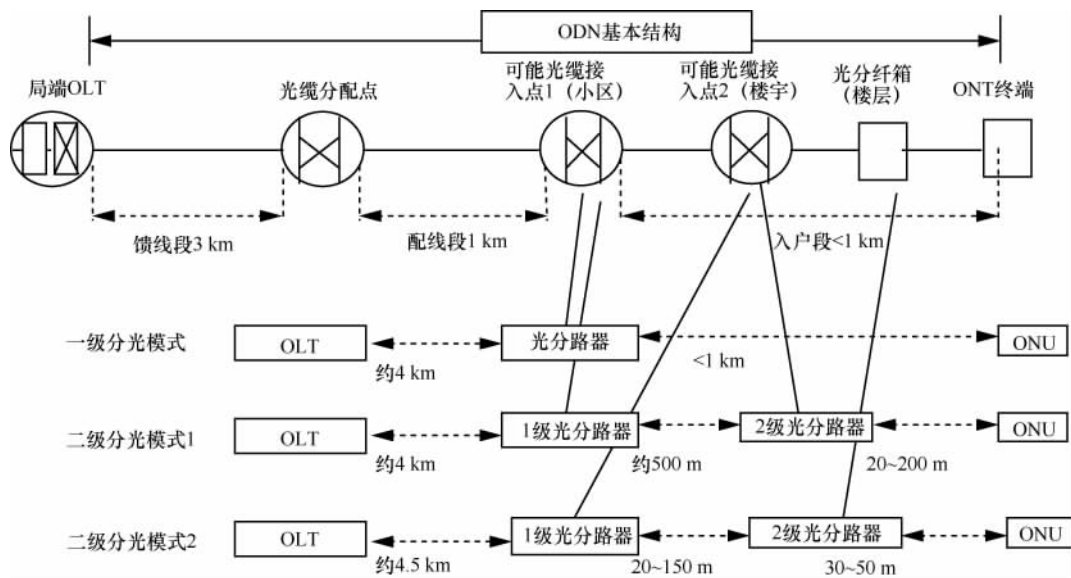


图 1 ODN 基本结构及分光模式

弯损耗的大小,OTDR 测试曲线如图 2 所示。光纤的宏弯损耗跟 OTDR 检测波长有关,它随着检测波长增大明显变大,也就是说波长较长的 OTDR 测试光对光纤中的弯曲事件比较敏感,能较容易和精确地测量光纤的弯曲程度。

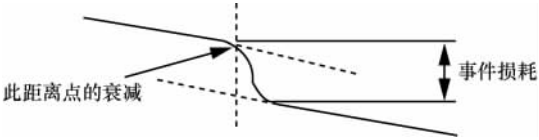


图 2 OTDR 曲线上的宏弯损耗测试曲线

(2)光分路器

光分路器部署在 OLT 和 ONU 之间,是 ODN 中将光信号从一条光纤分配到多条光纤的核心器件同时是 ODN 中插入损耗比较大的无源器件,它的性能优劣直接影响到 PON 系统通信的传送质量,因此需要严格监控光分路器的衰减和回波损耗,从而保证光路的健康。

外置 OTDR 的动态范围是 30~40 dB,内置 OTDR 光模块的动态范围是 10~20 dB,光分路器尤其大分光比光分路器的插入损耗(1:8 光分路器插入损耗约 10 dB)占据一大部分动态范围,对 OTDR 来说光分路器是一个大衰减事件。另外多分支输出也给 OTDR 测试带来了挑战,光分路器分支后的 OTDR 测试曲线由多路分支的背向瑞利散射重叠组成,会造成衰减测试的复杂性和不准确。因此,如果 OTDR 测试光从 OLT 端发射,通过检测返回的测试光信号较容易判断光分路器之前 ODN 光路的衰减和反射,但是光分路器后的分支光路的衰减一般很难检测,只能检测

ODN 中的反射事件。从图 3 可知,光分路器之前的 OTDR 的曲线斜率很明显,也能检测光纤活动连接器的反射和损耗,经过光分路器的衰减之后曲线就已经变成了噪声,只能检测 ONU 端的反射。

(3)光纤连接与连接器开路

在 ODN 的光路上光纤连接主要有几种形式:光纤活动连接器(UPC(ultra physical contact,超级物理接触)和 APC(angle physical contact,角度物理接触)类型)、直接熔接以及入户光纤可能用到机械连接,比如光纤现场连接器、冷接子。几种光纤连接方式的插入损耗和回波损耗指标见表 1。光纤现场连接器(UPC、APC 型)的插入损耗和回波损耗和对应类型的光纤活动连接器相差不多。

表 1 几种光纤连接方式的插入和回波损耗

项目	光纤活动连接器			熔接	冷接子
	UPC(连接)	UPC(开路)	APC		
插入损耗/dB	<0.2	--	<0.3	<0.02	<0.1
回波损耗/dB	>50	约 14	>60	>60	>40

在 OTDR 检测中,这些连接方式的回波损耗指标可以对应到 OTDR 上的反射峰,回波损耗越大,反射峰越低。连接起来的 UPC/APC 连接器、熔接、冷接子的回波损耗比开路 UPC 连接器回波损耗大很多,那么对应到 OTDR 的反射峰会弱很多,基本在 OTDR 曲线上很难观察到,而 ODN 线路上大部分 UPC 连接器断开时候断面的反射峰则可以被 OTDR 检测到。除此以外,主流厂商的 OTDR 测试仪表,OTDR 检测曲线基本能够做到 0.1 dB 以上的衰减事件分

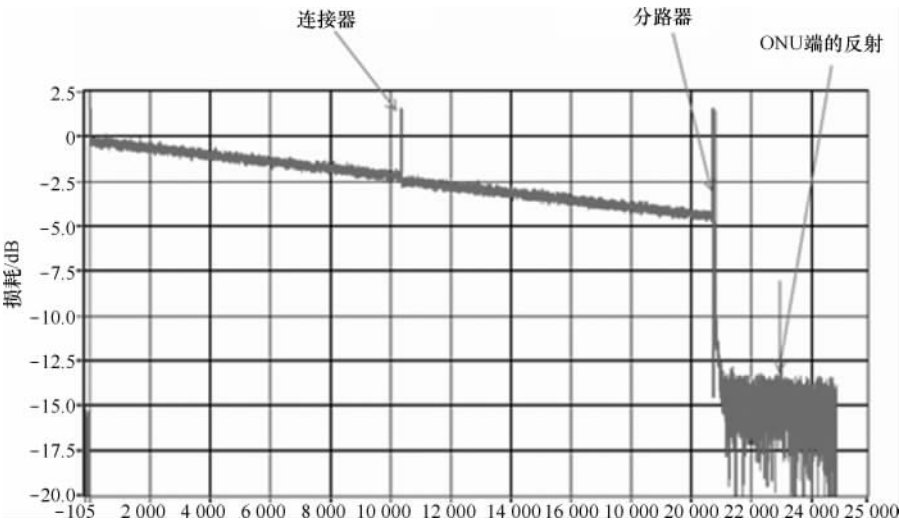


图 3 OTDR 曲线上光分路器的检测



分辨率,因此 ODN 主干上的连接的 APC 和 UPC 连接器插入损耗在理论上可以检测到,其反射和衰减的 OTDR 曲线如图 4 所示。

(4) 反射器

如果想要增强 ODN 中某检测位置的反射,可选择在该检测位置(比如 ONU 上行口处)部署 OTDR 测试光的反射器。反射器的功能主要是反射 OTDR 测试波长(1 640~1 660 nm)的入射光,但是对 PON 通信波长的光(1 260~1 610 nm)则很好地通过。

目前大部分反射器对 OTDR 测试光的回波损耗可以做到指标小于 3 dB,比开路的 UPC 连接器(回波损耗 14 dB)的反射峰高度高出不少,反射器在 OTDR 测试曲线上的反射峰能明显辨认。利用反射器此特性,可以增强反射检测灵敏度,在需要清楚识别定位的地方部署 OTDR 的反射器,下文会继续介绍 OTDR 在测试过程配合

利用反射器实现一定的检测需求。

(5) 断纤事件

光纤的断纤情况比较复杂,因为不同情况下断纤会造成不一样的断面,从而造成不一样的断纤回波损耗,比如垂直断面的断纤(完美切断),理论回波损耗是 14 dB(相当于开路的干净的 UPC 连接器的回波损耗)。另外断面的回波损耗除了根据断面情况变化,同时随时间变化(断面在空气中污损等)具有不稳定性。

以下通过实验去分析评估断纤造成的回波损耗在 OTDR 测试中的情况:实验中断纤故障由人手进行光纤弯曲折断或由利器剪断或切断,对 873 次断纤故障的回波损耗值进行检测并且统计,如图 5 所示。从图 5 中可以看出,50%的断纤故障的回波损耗值小于或等于 40 dB,90%的断纤故障的回波损耗值小于或等于 51 dB,95%以上的断纤故障的回波损耗值小于或等于 60 dB。

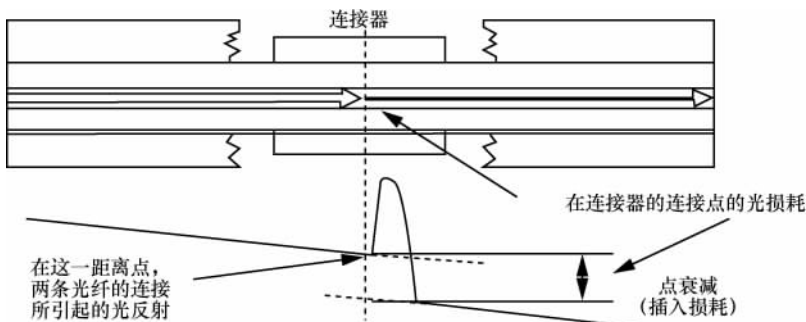


图 4 OTDR 曲线上光纤活动连接器的衰减和反射

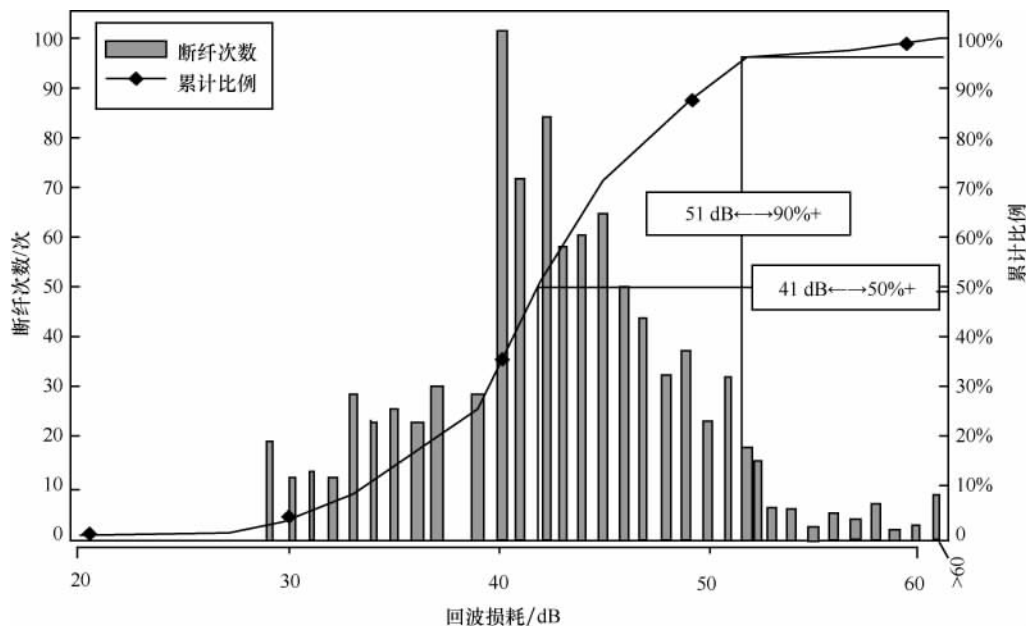


图 5 断纤故障回波损耗值统计分布

4 OTDR 的应用与影响分析

4.1 OTDR 技术挑战

对于 OTDR (包括各种从 OLT 开始检测的 OTDR 形式)来说,ODN 中 OLT 与第一个光分路器之间的线路(包括一级分光和二级分光的场景)比较容易测试和维护,但是对于光分路器后的分支故障检测较为困难。

- 衰减的检测:一方面会因为光分路器带来很高的插入损耗占用了一大部分动态范围,需要有比较大的动态范围的 OTDR 测试;另一方面单个分支的衰减检测受到其他分支的背向散射的影响,衰减非常难检测。
- 反射的检测:光分路器分支下的反射事件在有些情况下也较难判断,比如同时发生 2 个或以上的分支断纤,无法区分断纤的归属,又或者断点位置与其他 ONU 距离重合,需要配合其他检测形式进一步分析。

4.2 OTDR 部署手段

为了解决上述 OTDR 检测上的一些难题以及满足大部分 ODN 应用场景需求,介绍相关的部署方式以及在此基础上的优化。

为了不影响用户和相关通信业务,一般在 OLT 端部署 OTDR 相关测试设备,此方案中,OTDR 测试信号需要穿透大分光比的光分路器才能够测试配线光缆和入户光缆,OTDR 距离用户端的距离最远,因此需要性能较好的 OTDR(动态范围大、分辨率高、盲区小)。

外置独立 OTDR 技术相对比较成熟,动态范围比较大,如果在全网 PON ODN 部署光纤测试系统,可优先部署外置独立 OTDR。外置独立 OTDR 需要提供独立电源,也只能适合在机房部署。在机房布线中将 OLT 的 PON 端口连接合波器,再通过光开关连接到 OTDR 测试口。

OLT 端部署 OTDR 可进一步通过以下方式进行优化。

(1)通过 OTDR+反射器判断节点故障

- 可以进一步缩短差分距离,使用 OTDR 识别用户端分支都需要对用户端进行光纤距离差分部署,反射器部署在 ONU 位置,可以通过增强该处的反射将差分距离缩短,目前 OTDR 可以检测差距 5 m 的 ONU 分支,加入反射器后,有望将差分距离缩短至 3 m 内,大大减轻工程部署的难度。
- 增强反射信息,更清晰识别检测点位置。

- 对于主干/配线光纤、楼内光纤、用户室内光纤故障维修手段不同,维修的责任人也不同,可以根据运维的需求,通过灵活部署反射器的位置,识别不同的 ODN 段落,以便出现故障可以明确定位分责。例如:在配线光纤入户(FTTH)/入大楼(FTTB)前加装 FBG,然后利用 OTDR 进行测试,将测试数据和基准数据进行比较,可判断室内/室外、楼内/楼外光纤故障。
- 在建立健康档案,定时开展健康曲线的测量,计算并保存 ODN 的健康档案的前提下,在 OTDR 常规测试中测试和保存反射器的回波损耗和光分路器等的回波损耗,通过计算这些数据的变化来计算分支衰减故障的衰减值。

(2)对于不在线测试,辅助手持 OTDR 终端

一般来说,光分路器后面的分支尤其是入户端光纤,对于部署在 OLT 端性能比较好的外置 OTDR 都难以穿透检测,出现故障单凭外置 OTDR 无法检测,如果不需要在线检测,可以拿手持式 OTDR 终端(为了避免影响上行其他分支通行情况,使用非通信波长 OTDR 测试)从用户端往回测,以判断光分路器分支故障情况。

(3)光开关的位置接在光分路器后(以上两种形式同样适用该方式)

OTDR 仍然部署在局端机房中,同时在 OLT 局端机房中如果设置有光分路器时,在分光器后连接合波器。然后再通过光开关接到 OTDR。这样 OTDR 就可以穿透光分路器测试到光分路器分支的情况。不过这种部署国内很少见,因为国内运营商大多数将光分路器放置在路边或者小区的光交箱,这时候很难通过光开关和合波器再接 OTDR,因为 OTDR 需要供电,只能放在局端。

4.3 引入 OTDR 后对 ODN 的影响

OTDR 引入后,为了达到一定的测试效果,需要 ODN 做一些稍微的改动,这就对 ODN 的工程部署产生一些影响。

- ODN 入户光纤规划和建设的难度增加:如果在 OLT 端进行 OTDR 测试,为了定位出每个 ONU,需要规划和建设不同长度的光纤或者在不同位置考虑反射器的部署,这就需要设计和施工规范化。
- ODN 局内组网更加复杂:外置独立式的 OTDR 部署在局端机房,通过光开关和合波器与测试端口连接,因此使局内光缆连接成倍增长,所以需要建立良好的光纤管理机制。



- 需要更精确的资源管理系统位置信息:光纤布线信息与 GIS(geographic information system,地理信息系统)的信息结合,多余盘纤要有位置、长度信息,这样 OTDR 给出故障的位置(在光纤中的长度)的时候,就可以对应 GIS 信息,找到具体的物理位置。
- 使得 ODN 的光功率预算降低:使用 OTDR 测试增加了光开关、合波器、反射器等,相当于引入了约 2 dB 的插入损耗,计算 ODN 损耗预算时需要将这部分损耗考虑进去。

5 结束语

传统 PON ODN 引入 OTDR 测试要结合 ODN 的实际情况,OTDR 在满足 ODN 的使用需求情况下,合理部署应用,以实现有效的检测和诊断,进而提高线路维护质量,减少人力成本,最终提升用户服务的品质,提高运营商的竞争力。

参考文献:

- [1] 李科, 杨飞, 陈峰华. OTDR 原理及其应用[J]. 山西科技, 2010, 25(2): 50-51, 55.
LI K, YANG F, CHEN F H. Principle and application of optical time domain reflect-meter [J]. Shanxi Science and Technology, 2010, 25(2): 50-51, 55.
- [2] 程利军, 王立军. 基于光时域反射仪的光纤测试及分析[J]. 河北电力技术, 2008, 27(1): 46-47.
CHENG L J, WANG L J. Fiber test and analysis based on OTDR[J]. Hebei Electric Power, 2008, 27(1): 46-47.
- [3] 田国栋. 基于 OTDR 技术的光纤测试方法探讨 [J]. 现代电子技术, 2009, 32(19): 107-109.
TIAN G D. Testing method of fiber-optic based on OTDR technology [J]. Modern Electronic Technology, 2009, 32(19): 107-109.
- [4] 薛梦驰. 光纤弯曲损耗的研究与测试[J]. 电信科学, 2009, 25(7):

62-67.

XUE M C. Research and measurement of optical fiber macro bend loss[J]. Telecommunications Science, 2009, 25(7): 62-67.

- [5] 杨家桂. 基于光时域反射技术的回波损耗测量 [J]. 光纤与电缆及其应用技术, 2008(6): 24-27.

YANG J G. Return loss measurement with OTDR technique[J]. Optical Fiber & Electric Cable and Their Applications, 2008(6): 24-27.

- [6] 高业胜, 郑光金. 光时域反射计校准及其测量不确定度分析[J]. 宇航计测技术, 2010, 30(5): 76-81.

GAO Y S, ZHENG G J. Calibration of the optical time domain reflectometer and uncertainty evaluation [J]. Journal of Astronautic Metrology and Measurement, 2010, 30(5): 76-81.

- [7] 罗志会, 王舟. OTDR 宏弯曲损耗测试的分析与应用[J]. 光通信技术, 2009, 33(12): 59-61.

LUO Z H, WANG Z. The analysis and application of macro bend loss test using OTDR [J]. Optical Communication Technology, 2009, 33(12): 59-61.

[作者简介]



欧月华(1983-),女,中国电信股份有限公司广州研究院实验室运营中心工程师,主要从事 EPON/GPON、10GEPON/XGPON、NGPON2、ODN 等 FTTH 光接入新技术及应用策略研究工作,近期聚焦于 ODN 监测与故障诊断和接入网光纤智能化管理等。



任艳(1978-),女,中国电信股份有限公司广州研究院实验室运营中心工程师,主要从事 EPON/GPON、10GEPON/XGPON、NGPON2、ODN 等 FTTH 光接入新技术及应用策略研究工作,近期聚焦于接入网光纤智能化管理和 ODN 监测与故障诊断等。