

论FTTH中ODN的测试技术

俞兴明^{1,2*}, 刘东洋², 许助勇², 芦国斌²

¹苏州市职业大学, 江苏 苏州

²江苏通鼎宽带有限公司, 江苏 苏州

Email: 365910161@qq.com

收稿日期: 2020年11月17日; 录用日期: 2020年12月14日; 发布日期: 2020年12月21日

摘要

光分配网(ODN)是FTTH的重要组成部分,其所用器材多种多样,布设场景纷繁复杂。对ODN网光链路的光性能测试是保证FTTH网络能正常运行的必要手段。本文详细论述了采用常用的一些光通信仪器对ODN光链路进行光传输关键指标进行测试的方法,并对未来测试技术的发展作了展望。

关键词

光纤接入网, FTTH, ODN, 测试

Discussion on the Testing Technology of ODN in FTTH

Xingming Yu^{1,2*}, Dongyang Liu², Zhuyong Xu², Guobin Lu²

¹Suzhou Vocational University, Suzhou Jiangsu

²Jiangsu Tongding Broadband Co., LTD., Suzhou Jiangsu

Email: 365910161@qq.com

Received: Nov. 17th, 2020; accepted: Dec. 14th, 2020; published: Dec. 21st, 2020

Abstract

The optical distribution network (ODN) is an important part of FTTH, which uses a variety of equipment, and the layout is complicated. The optical performance test of ODN optical link is the necessary means to ensure the normal operation of FTTH network. This paper discusses in detail the method of testing the key index of optical transmission of ODN optical link with some commonly used optical communication instruments, and prospects the development of future testing technology.

*江苏通鼎宽带有限公司技术顾问。

Keywords

Optical Fiber Access Network, FTTH, ODN, Test

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来,我国三大电信运营商大力贯彻宽带普及提速工程,均加大了接入网的投资力度,大规模普及 FTTx 建设,加快推广 FTTH 模式,同时也进一步实现了对老小区的网络改造,“光网城市”“光网世界”的战略规划得到全面推广。而作为光纤接入网建设的重要组成部分,光分配网(ODN)网络的部署规模空前。

ODN 网络的主要组成器件涵盖了光纤配线架、光缆交接箱、分光器、分纤箱、接头盒、尾纤等部分 [1]。ODN 网络是 FTTH 建设中建设模式最为复杂、新技术与材料应用最多、对整个工程造价影响最大的部分,同时也是 FTTH 网络建设中存在问题最多的部分。ODN 建设场景复杂,产品标准和质量的参差不齐。而且,因为传统的 ODN 网络是一个无源网络,其每个节点设备都是“哑资源”,自身不具备管理检测维护功能 [2]。在 ODN 网络的建设、开通、维护及平时的检修中都必须人工进行测试,只有光网络符合光通信的各项指标才能开通网络。

本文从构成 FTTH 网络的 ODN 网络的结构入手,探讨了开通 FTTH 网络所需的光功率衰减指标和光回波损耗(ORL)指标,并从这两个指标入手,详细地介绍了测试 ODN 网络的具体方法、所用仪器及注意事项,最后给出一个测试结果的实例。

2. 光纤分配接入网的构成

当今的 FTTH 光纤接入网都是基于无源光网络(PON)的光纤光缆分配网(ODN),其中 ODN 是 PON 网络中极其重要的组成部分,占整个 FTTH 网络投资的约 70% [3]。ODN 全部由无源器件所组成,它具有光纤和信号光功率的分配功能。组成 ODN 的无源器件有光纤光缆、各种光缆交接/分光分纤箱、各种光纤接头等。其中光纤光缆包括主干光缆、配线光缆、用户引入光缆(皮线光缆)等;各种光缆交接/分光分纤箱包括光配线架(ODF)、主干光缆交接箱、配线光缆分光(选)交接箱、楼层分光(选)/分纤盒等;各种光纤接头包括热熔接接头、活动连接器接头、机械冷接头等。基于 ODN 的 FTTH 光纤分配接入网的结构示意图如图 1 所示。图中,OLT 为光线路终端,是一个运营商的局端设备,放置在城域网边缘或社区接入网出口处,它是一个多业务提供平台,同时支持传统的 TDM 业务和 IP 业务,收敛接入业务并分别传递到 IP 网。ODF 是光配线架,用于 OLT 设备用户板的光端口与野外主干光缆中的光纤的连接和调配。主干光缆一般由几十芯光纤组成,其长度可由几百米到十几公里。主干光缆敷设到一个大型社区后,由于可能大型社区由几十幢居民大楼组成,所以要在大型社区的街道中心位置设置主干光缆交接箱,把主干光缆中的几十芯光纤(经分光器分光(可选))后,分支成多条配线光缆到各个居民大楼。配线光缆到达居民大楼后再接入大楼内的分光(可选)分纤箱,如果大楼不是特别大,此分光(选)/分纤箱引出用户光缆直接进入居民家中;如果大楼特别大,用户特别多,大楼分光(选)/分纤箱引出楼内配线光缆后还要在各楼层的分光分纤箱再次分光(选)/分纤后再用引入光缆引入用户家中的 ONU 设备(光网络单元),用户引入光缆有

1 芯光纤即可。需要说明的是，分光器的安装位置可能在主干光缆交接箱，也可能在大楼分光分纤箱和楼层分光分纤箱中。一般从局端的 OLT 到居民家中的 ONU 整条光链路中，分光器的数目不超过 2 个，具体视场景设计而定。因为分光器会带来光信号的衰减，常用的分光器的分光比例有 1:16、1:32 等。

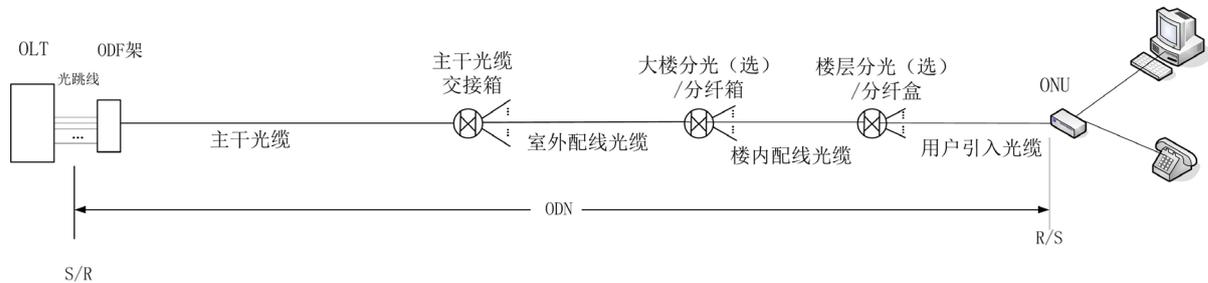


Figure 1. The structure diagram of FTTH based on ODN
图 1. 基于 ODN 的 FTTH 结构示意图

在 PON 网络中，OLT 发送的下行光功率经过 ODN 传输后必须满足 ONU 接收机的灵敏度要求(取决于 PON 等级)，ONU 发出的上行光功率也应该满足 OLT 的光接收灵敏度要求。表 1 是 EPON/GPON 上下行光通道功率一览表[4]。

Table 1. Up & down link light channel power list of EPON/GPON
表 1. EPON/GPON 上下行光通道功率一览表

网络类型	光模块	OLT				ONU				结论			
		发射光功率 MIN	发射光功率 MAX	最差接收灵敏度	下行光通道代价	发射光功率 MIN	发射光功率 MAX	最差接收灵敏度	上行光通道代价	下行可获得光功率预算	上行可获得光功率预算	下行最大通道插入损耗	上行最大通道插入损耗
	项目	dBm	dBm	dBm	dB	dBm	dBm	dBm	dB	dB	dB	dB	dB
EPON	PX10	-3	2	-24	1.5	-1	-4	-24	3	21	23	19.5	20
	PX20	2	7	-27	2.5	-1	4	-24	2	26	26	23.5	24
	PX20+	2.5	7	-30	1.5	0	4	-27	2	29.5	30	28	28
	PX20++	5	8	-32	1	2	7	-28	1	33	34	32	33
	Class A	0	4	-24	1	-3	2	-21	1	21	21	20	20
GPON	Class B	5	9	-28	1	-2	3	-21	1	26	26	25	25
	Class B+	1.5	5	-28	0.5	0.5	5	-27	0.5	28.5	28.5	28	28
	Class C	3	7	-29	1	2	7	-28	1	31	31	30	30
	Class C+	3	7	-32	1	0.5	5	-30	0.5	33	32.5	32	32

ODN 光通道衰减包括光纤、分光器、光纤活动连接器、光纤熔接接头、机械冷接头等所引入的衰减之和。在实际工程中，ODN 光链路衰减要留有富裕度，光链路的光功率预算要符合下式要求。

$$\text{ODN光通道衰减} + \text{光链路衰减富裕度} \leq \text{PON系统允许的光通道衰减} \quad (1)$$

上式中，光链路衰减富裕度 3 公里以内取 1.5 dB，3~5 公里取 2 dB，5~10 公里取 2.5 dB，10 公里以上取 3 dB。

在 EPON/GPON 中，下行光波长采用 1490 nm，上行采用 1310 nm，如果下行还共纤传输 CATV 电

视信号, 则采用 1550 nm 光波长[5]。在 PON 网络中采用共纤双向传输, 分光器对上下行有相同的衰减, 故对 ODN 进行光功率预算时以光纤衰减系数较大的 1310 nm 的衰减系数来计算光通道的衰减预算。

在 PON 光网络中, 不仅光功率衰减, 光回波损耗(ORL)对传输性能的影响也很重要, 特别是同时传送 CATV 信号时。ORL 为入射光功率与反射光功率之比, 其定义为

$$\text{ORL}(\text{dB}) = 10 \lg \left(\frac{\text{入射功率}}{\text{反射功率}} \right) \quad (2)$$

链路的 ORL 是由光纤纤芯中的瑞利后向散射以及线路上的光纤各接头点的反射组成。ORL 会对数字 DWDM 系统以及高速数字传输系统产生影响; 在 FTTH PON 中, 反射光还将会导致 1550 nm 上传输的 CATV 模拟电视信号传输质量下降, 而且会导致激光器的工作不稳定。为了提高传输质量, 必须要控制背向反射效应, 因此, 必须要对 ORL 进行高精度的测量。EPON/GPON 的链路光回损(ORL)要求如表 2 所示。各种连接器及分光器的 ORL 规范要求如表 3 所示[4]。

Table 2. The ORL indicator of EPON/GPON optical link

表 2. EPON/GPON 的链路 ORL 指标

规格	G.984.2 GPON	EPON IEEE 802.3ah-2004 1000 BASE-	
		PX10	PX20
链路 ORL (dB), min	32	20 (Max), 15 (Min)	

Table 3. Optical Return Loss (ORL) index of various optical fiber connectors

表 3. 各种光纤连接器的光回波损耗(ORL)指标

连接器类型	FC	ST	SC	E2000	D4	SMA	分光器 (1 × 4~1 × 32)
典型 ORL (dB), min	60 (APC) 50 (UPC)	50	60 (APC) 50 (UPC)	60 (APC) 50 (UPC)	45	30	55

3. 光纤分配接入网(ODN)的测试技术

3.1. 损耗的测量

在 ODN 建设过程中, 在连接或者熔接光缆之前, 必须要分别测量每一个光缆段以及分路器每一个分支的损耗, 且因为是双向网络, 所以损耗的测量必须是双向的。一旦所有的连接都完成了, 就要测量每一个入户皮线光缆终端与 OLT 之间的端到端损耗。为确保工程界面结束点有正常的光信号到达, 总的链路损耗不能超过损耗预算, 否则就无法实现无差错传输了。

目前常用的基于 PON 的光功率测量仪器主要有普通光功率计及波长分离的光功率计两种。普通的光功率计每次只能测量一个波长的光功率, 而且只能测量光信号的时间平均功率, 所以只能测量下行光功率(如图 2)。由表 2 可知, EPON 的 ONU 正常工作的最小接收灵敏度为 -24 dBm (PX20) 或 -27 dBm (PX20+), 只要测得 ONU 尾纤处的下行光功率大于上述数值即为光功率合格。

实际上 PON 网络 ONU 上行发送的是突发业务, 也就是每个 ONU 只有在规定的时间内发送光信号, 平时是静默的, 用普通的光功率计只能测量光信号的时间平均功率, 只有用波长隔离的 PON 功率计才能检测到上行流的突发功率并提供精确的测量结果[6]。波长隔离的光功率计有两个光纤输入端口, 可以直接串联到网络中进行测试下行的 1490 nm 波长光功率和上行的 1310 nm 波长光功率, 而不影响上行和下行光信号的传输(如图 3)。



Figure-2. Using ordinary optical power meter for down light power test

图 2. 普通光功率计用于下行光功率测试



Figure 3. Optical power meter with wavelength separation for bidirectional optical power test

图 3. 波长隔离的光功率计用于双向光功率测试

波长隔离的光功率可用于检测 ODN 网络中故障出现的具体位置，如图 4 所示。

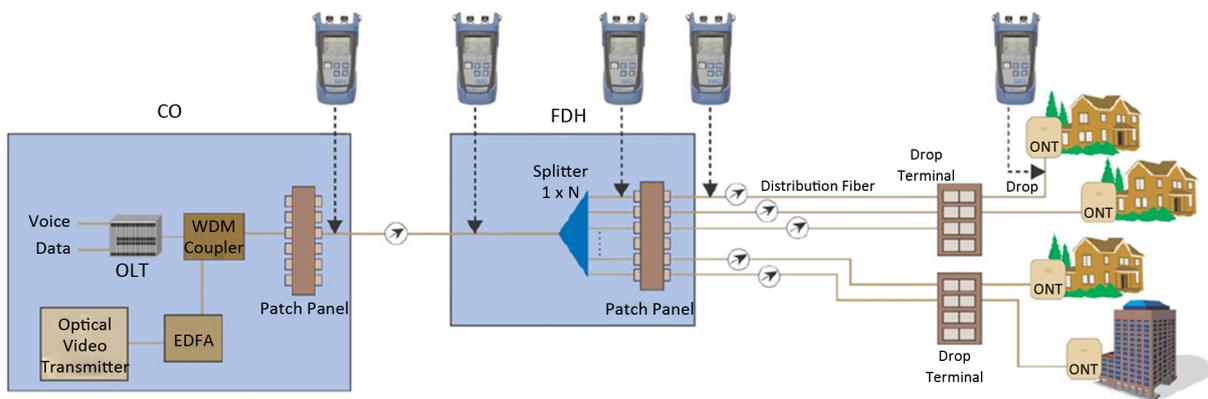


Figure 4. Using the wavelength separation of fault diagnosis optical power meter

图 4. 使用波长隔离的光功率计进行故障诊断

上述使用普通光功率计和波长隔离的光功率计来进行光功率测量和故障诊断，前提条件是首先要把 OLT 和 ONU 启动开通，双方有光信号发射才能测量。但在 ODN 网络刚布好设备尚未开通时，由于没有

光信号, 上述两种仪器就无法使用, 这时可使用一种叫光损耗测量仪(OLTS), 它内部自带光源和光功率计, 使用两台 OLTS 一起工作时, 既可以进行双向的光损耗测量, 又可以进行双向的光回损(ORL)的测量 [7]。在使用 OLTS 进行测试时, 首先要使用两台 OLTS 各自的光源相互作为参考进行校正, 然后每台 OLTS 从自己的光源发出经过校准的光功率, 通过被测试的光纤链路段到达另一台 OLTS, 这样就可以测量接收功率并计算出损耗。运用 OLTS 同时进行光损耗和 ORL 测量的示意图如图 5 所示。

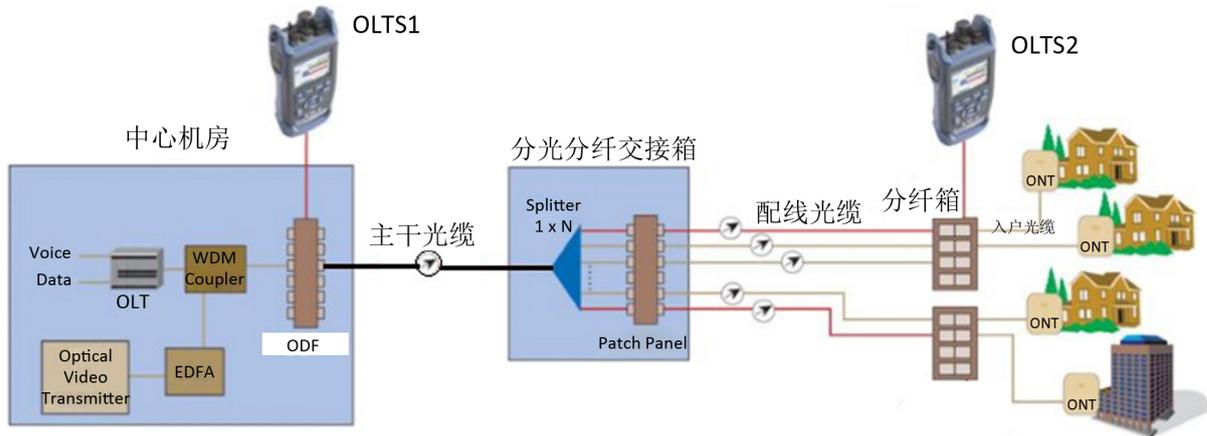


Figure 5. Using OLTS to measure light loss and ORL

图 5. 利用 OLTS 进行光损耗和 ORL 测量

3.2. ORL 的测量

为了满足上下行传输波长的背向反射损耗满足规范的要求, 必须要对其进行充分的测试。ORL 的测试可以采用上述的 OLTS 进行定量的测量(图 5), 也可使用光时域反射仪(OTDR)进行定性的估计。OTDR 利用反向瑞利散射及菲涅尔反射光来精确测量光纤链路的衰减系数、接头损耗/反射等事件并能精确其每个距离上的细节的专用光纤测量仪器, OTDR 能够显示详细的链路特性图, 使得用户可以对链路上的每一个元素进行精确定位和描述, 包括连接器、接头、分路器、耦合器和故障等。在 PON 安装阶段, 每一网段安装完毕后都应该进行 OTDR 测试。由于 PON 链路具有高的功率衰减的分光器等特殊性, 要使用 PON 专用的 OTDR, 它与普通的 OTDR 相比具有更短的盲区、更高的动态范围、更高的分辨率 [8]。

在用 OTDR 测试 ORL 时主要是看反射峰的大小, 反射峰越低, ORL 就越大, 链路就越理想。观测反射峰的大小就可以判断链路中连接器断开、光纤断纤等情况。利用 OTDR 测量 ODN 链路的一个挑战是当 OTDR 处于 OLT 端时很难测量分路器后面各分支链路的情况, 这是因为分光器本身是一个光损耗很大的器件, 而且各个长度不一的分支链路的散射/反射光回到 OTDR 接收端叠加在一起很难区分, 所以用 OTDR 测量时要对主干光纤链路和各分支链路进行单独地测量。有时, 从中心机房(CO)向下行测量到 ONU 的端到端测量也是必需的, 这时要预先知道各分支光纤的长度, 或者在每个 ONU 处的分支光纤上安装光反射器, 以便能区分各分支光纤的终点。由于 ODN 是双向网络, 所以不论用 OLTS 还是 OTDR, 都要两个方向都要进行测量。图 6 是用 OTDR 在 PON 的光链路下行末端(ONU 处)向上行方向测量上行链路的 ORL 的示意图。PON 专用 OTDR 测试波长分别为 1490 nm、1310 nm、1550 nm, 还配有 1650 nm 的 PON 专用测试端口, 能在不干扰 PON 网络工作的情况下进行测试, 主要用于 ODN 的维护阶段。图 7 是下行的全程 OTDR 测试曲线, 曲线的横轴是距离, 纵轴是光功率(dB), 事件 2 处的功率下降台阶是分光器带来的衰减量, 整个链路的衰减量是从 0 米处的光功率(不算 0 米处的反射尖峰)与事件 3、4、5 处尖峰前的

光功率之差。事件 2、3、4、5 处的尖峰分别是分光器处和各分支光纤末端的反射事件，尖峰越小，ORL 就越大，说明连接处光反射就越小，链路就越好。

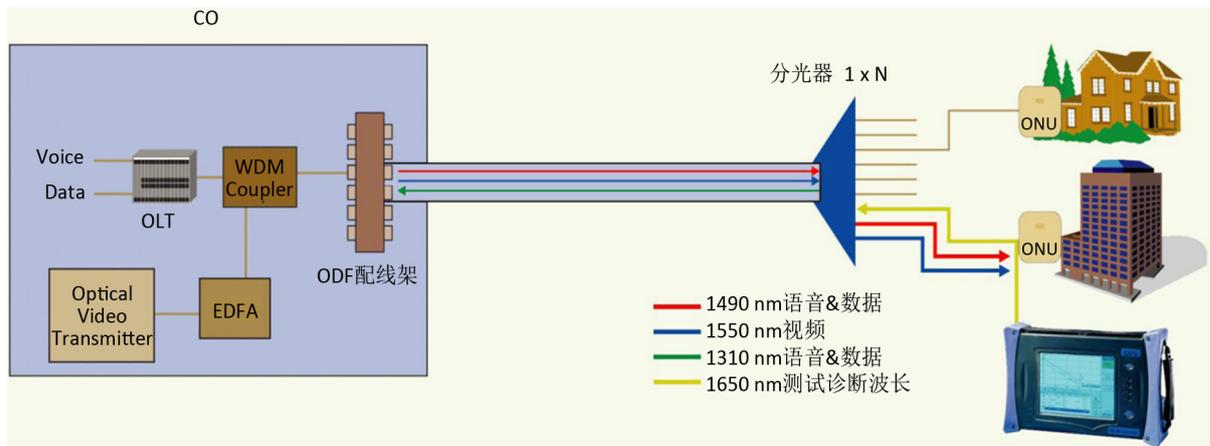


Figure 6. Using a special PON OTDR for measuring ODN

图 6. 利用 PON 专用 OTDR 对 ODN 进行测量

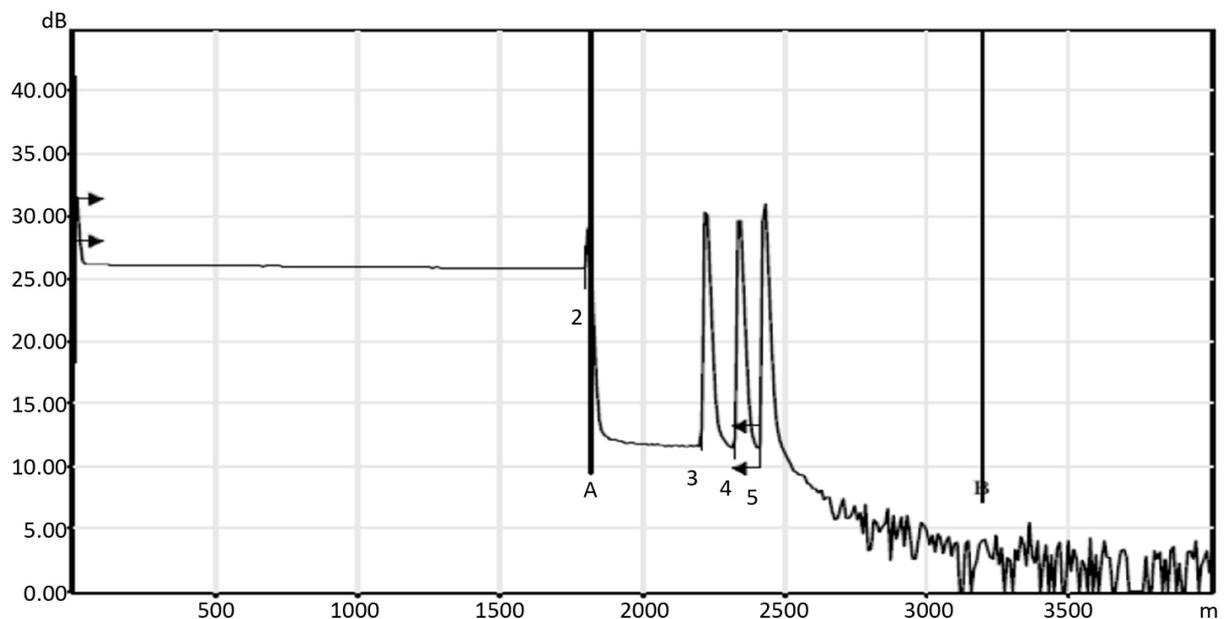


Figure 7. An end-to-end OTDR test curve from OLT to ONU

图 7. 从 OLT 到 ONU 端到端的 OTDR 测试曲线

4. 总结与展望

经过了 5 年多的 FTTH 建设，我国已经用于 2 亿户 FTTH 用户，数量庞大，网络分布复杂。而 FTTH 中的 ODN 网时由大量的无源光器件所组成，本身不具备管理和维护的特性，是个“哑资源”网络，这给运营商的管理维护带来了重大挑战。本文介绍的方法是目前 FTTH 的 ODN 网建设和维护期常用的测试方法，但都基于手工测试，工作量大，故障发现不及时，网络维护成本高。预计未来将采用智能化的 ODN 网，它能在在线自动测试、故障自动上报网管云平台、自动进行光纤资源调度管理、自动下发网络维护工单等功能，这将大大提高 ODN 网络管理效率，减小成本，提高网络的可靠性。

基金项目

苏州市职业大学高等教育研究项目——2019“专业竞争力提升专项”课题(G201903003)项目论文。

参考文献

- [1] 吴珊, 张雪芳, 等. 光纤宽带接入技术[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2016.
- [2] 陈韬. FTTH 工程测试方案[J]. 有线电视技术, 2015(12): 23-24.
- [3] 尹岗. FTTH 快速故障诊断测试及诊断案例介绍[J]. 智能建筑与城市信息, 2014(1): 63-66.
- [4] Andre Girard, 著. FTTx PON 技术与测试[M]. 杨柳, 译. 北京: 人民邮电出版社, 2007.
- [5] 欧月华, 任艳. 应用于 PON ODN 测试与诊断分析[J]. 电信科学, 2017, 33(1): 153-158.
- [6] 程淑玲. FTTx 的工程设计、工程施工方法介绍[Z]. 中国通信标准化协会(CCSA)光纤接入(FTTx)产业联盟, 2009.
- [7] 叶惠. EXFO:iOLM “光眼”引领 FTTH 测试新变革[J]. 通讯世界, 2011(7): 60.
- [8] 欧月华, 任艳. OTDR 应用于 PON ODN 测试与诊断分析[J]. 电信科学, 2017(1): 153-158.