

FTTx PON

技术与测试

[加] Andre Girard 著
杨 柳 译
毛 谦 审
孙学瑞 校



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

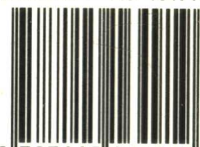
关于PON应用及维护的行业参考书

从20世纪70年代后期开始，光纤通信便开始受到大众的关注，但直到90年代中期，才取得了突破性的进展。光放大器和窄带滤波器等作为波分复用（WDM）和密集波分复用（DWDM）的基础，将会成为这个行业最受瞩目的名字。事实上，WDM以及DWDM技术的时代已经来临，它们将使得整个通信世界发生翻天覆地的改变。

这些新技术的成功导致通信量急剧上升，从而推动了宽带需求量不断增长。这也要求服务提供商迅速地作出改变，使光纤尽可能地接近用户：直至最终到达用户家中。新的术语——FTTx和PON出现了，一个新的时代正在开启。

电信工程师、技术人员、管理人员以及学者等均可以通过此书了解到这个较新领域的最新发展状况，包括所有的技术、规范，以及无源光网络的性能要求。本书中还详细介绍了不同种类的PON（宽带PON，吉比特能力PON和以太网PON），以及每一种类型PON的光层和协议层技术。另外，本书不仅仅从网络服务提供商的角度，还从安装和维护者的立场出发，对相关的测试要求及解决方案进行了阐述。最后，此书附录了相关的国际标准以及相关的术语定义和缩略语。

ISBN 978-7-115-16491-9



9 787115 164919 >

ISBN 978-7-115-16491-9/TN

定价：36.00 元

封面设计：胡平利

人民邮电出版社网址：www.ptpress.com.cn

FTTx PON

技术与测试

[加] Andre Girard 著
杨 柳 译
毛 谦 审
孙学瑞 校

人 民 邮 电 出 版 社
北 京

图书在版编目(CIP)数据

FTTx PON 技术与测试 / (加) 吉拉德 (Girard, A.) 著; 杨柳译.

—北京: 人民邮电出版社, 2007.7 (2007.9 重印)

ISBN 978-7-115-16491-9

I. F... II. ①吉…②杨… III. 光纤通信—宽带通信系统 IV. TN915.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 098186 号

内 容 提 要

实现 FTTx 可以有多种技术,其中最被看好、用的最多的是 PON(无源光网络)技术。本书详细介绍了 PON 的体系架构、基本系统、拓扑构成、物理层和协议传输层的性能特性、PON 设备、各种外围设备及其安装要求、相关国际标准、PON 的安装、服务激活、运营维护以及相关的测试技术。主要读者对象为从事光通信的管理人员、工程技术人员,以及相关专业的教师以及学生。

FTTx PON技术与测试

- ◆ 著 (加) Andre Girard
译 杨 柳
审 毛 谦
校 孙学瑞
责任编辑 梁 凝
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京精彩雅恒印刷有限公司印刷
新华书店总店北京发行所经销
- ◆ 开本: 787×1000 1/16
印张: 14.5
字数: 296 千字
印数: 3 001—4 000 册

2007 年 7 月第 1 版

2007 年 9 月北京第 2 次印刷

著作权合同登记号 图字: 01-2007-3210

ISBN 978-7-115-16491-9/TN

定价: 36.00 元

读者服务热线: (010) 67129258 印装质量热线: (010) 67129223

序

信息社会的到来,使得人们对信息的需求不断增长,特别是对视频信息需求的更高增长,又对网络的带宽提出了新的要求。所有的电信业务都必须通过接入网才能提供给用户,传统的接入网主要由对绞铜线构建,无论采用多么先进的技术,铜线所能提供的带宽距离积是有一定限度的,通常无法满足大量视频信息传送的需要。所幸的是还有光纤,光纤所能提供的带宽距离积几乎是没有限制的。光纤接入技术近年来逐渐成熟,为构建光接入网奠定了良好的基础。只要在接入网中全部或部分使用光纤的均属光接入网,根据光纤距用户的远近,光接入网的构建可以分为 FTTC、FTTB、FTTH 等多种方式,统称为 FTTx,其中 FTTH 是光纤接入的最终也是最理想的方式。实现了 FTTH,可以无任何阻碍地提供任何需要的业务,足不出户而闻天下事、睹世上情变得轻而易举,对人们的生活、工作方式将产生革命性的变革。正如本书所说,“一个新的时代正在开启”。

实现 FTTx 可以有多种技术,其中最被看好、用的最多的是 PON 技术,它包括窄带 PON 和宽带 PON,由于窄带 PON 不能满足宽带业务要求,所以已经几乎无人问津,现在主要采用宽带 PON。多种 PON 技术,如 APON (BPON)、EPON/GEPON、GPON、WDM-GPON 等,组成了宽带 PON 的家族,现在占主流的是 EPON 和 GPON。

EXFO 是 FTTx 测试技术方面的先行者。我一向认为做测试的人对被测试技术的了解和掌握,往往超出做这项技术的人。有对 FTTx 进行全面测试的技术背景,才能深入浅出地写出这本书。本书详细介绍了 PON 的体系、基本系统架构、拓扑、构成、物理层和协议传输层的性能特性、PON 设备、各种外围设备及其安装要求、相关的新的国际标准、PON 的安装,服务激活、运营维护以及相关的测试技术,是从事 FTTx 的技术人员值得一读的。

杨柳博士从事光接入网技术研究多年,特别对宽带 PON 技术颇有心得和建树。由她来翻译 EXFO 的这本专著,无疑是明智的选择。多年来在 PON 技术上研究的底蕴使她能深刻理解这本书的内涵,能原原本本地反映原著的技术精髓,使中国的读者可以共享本书对 FTTx PON 技术及其测试的详尽介绍,进一步为在中国普及推广 FTTH 做出新的贡献。

毛 谦

2006年12月28日

于武汉

鸣谢

首先，此书的完成离不开 EXFO 高层的支持，感谢光产品管理部的副总 Etienne Gagnon。同时，此书的完成也离不开公司整个通信组的通力合作，特别是 Nathalie Coulombe, Lina Perri, Martin Bédard 和 Isabelle Rodrigue。

另外，我还要感谢以下同仁为此书的完成提供宝贵的技术资料。

(a) EXFO 职员

- Stéphane Chabot——产品管理组总监，NSP 市场。
- Benoît Masson——高级产品经理，NSP 市场。
- Scott Sumner——市场经理，协议市场。
- François Marcotte——应用工程师，协议市场。
- Mike Andrews——应用工程师，NSP 市场。
- Jon Bradley，博士——国际销售副总裁

(b) 与我探讨技术问题的评论者

- Jimmy Salinas，博士——SBC 通信公司区域经理。
- 杨柳博士——烽火通信科技股份有限公司，接入网产品部。
- 陈雪教授——北京邮电大学光通信中心主任。
- 2005 年春、夏，我在进行世界讲学时所遇到的各国专家。
- FTTH 委员会的成员和主席 (www.ftthcouncil.org)。
- 国际标准组织的会员、同事以及朋友们，包括 ITU-T SG-15, IEC TC-86 以及 TIA FO-4 等。
- Raymond Medland，专业技术文献作者以及修订者。
- Philippe Bisson，制图师。
- Tony Côté，制图师。

尽管不能将所有对此书做出过贡献的人一一列举出来，但我仍然要借此机会感谢所有参与创作的人！

最后，我还要感谢我的家人在我创作过程中对我的支持，此刻，没有任何的词汇足以表达我的谢意。



André Girard

2005 年 9 月

自从 EXFO 于 2000 年出版了第一本书《WDM 技术及测试指南》后，全球电信行业发生了翻天覆地的变化，特别是光纤通信领域。很多与之相关的术语，如宽带、甚高比特率和接入等也相继出现。

与此同时，EXFO 也在不断地发展、更新自身的技术，出版了一系列测试指南以及技术应用的资料（这些文献可以在 www.exfo.com 上找到或者购买）。我们一直都在坚持最初的宗旨，即成为电信测试设备行业中的佼佼者。同时，我们也将专家以及与合作客户的合作视为公司的核心价值。EXFO 的口号：“*Expertise Reaching Out*” 非常恰当地反映了我们对这个行业的承诺，也正是撰写本书的精神所在。

在此时出版这本书是非常及时且重要的。现在，全球的电信专业人士都在关注这个行业技术的发展，包括使用无源光网络 (PON) 在内的光纤到户 (FTTH) 技术的发展及应用。

FTTx 和 PON 已经成为时下最流行的专业词汇。此书也是对 EXFO 2004 年 2 月首次在行业中出版的袖珍指南《FTTx PON 指南：无源光网络测试》一书的延续和补充。其内容比袖珍指南更加丰富，向电信行业的经理人，工程师，技术人员，教师以及学生详细介绍了无源光网络技术。

《FTTx PON 技术与测试》一书详细介绍了 PON 的体系、基本的系统架构、拓扑、组成以及物理层和协议传输层的性能特性。此外，本书中还提供了很多图示以及表格，便于读者阅读。

此书还包括了其他方面的内容，如中心局及用户驻地网中的设备问题；各种外围设备及其安装要求；相关的新的国际标准等等。最后，此书还对与 PON 的安装、服务激活、运营和维护等相关的测试进行了深入的探讨。这些内容可能对于一些 PON 的安装以及运营者来说还很陌生，是一个巨大的挑战。

我们希望通过此书可以让读者对无源光网络技术有一个更加深刻的认识。也许，在不久的将来，这项技术就会像宽带以及 WDM 网络改变我们对计算机以及因特网的使用方式一样，改变我们的生活方式。

EXFO 是 FTTH 协会的重要成员



FTTH
理事会

光 纤 到 户

鸣谢	II
前言	III
第 1 章 FTTx 简介	1
1.1 FTTx 简介	2
1.1.1 FTTx 缘何受青睐	4
1.1.2 可用服务	5
1.2 FTTx 架构	6
1.3 OSP 设备	8
1.4 OSP 安装	11
1.5 PON 安装测试	12
1.6 服务激活测试	19
第 2 章 FTTH PON 架构和拓扑	21
2.1 全球带宽使用现状	22
2.2 网络技术	27
2.3 FTTH 的发展史	36
2.4 PON 体系架构	40
第 3 章 网络设计和工程应用	45
3.1 PON 技术	46
3.2 有源设备	55
3.3 无源光器件	61
3.3.1 耦合器	64
3.3.2 分路器	65
3.3.3 连接器	68
3.3.4 附件	69
3.4 光纤及其性能	70
3.4.1 光性能	70
3.4.2 机械性能	73
3.4.3 P2MP PON 中的光缆类型	75
3.5 PON 协议	75
3.5.1 概述	75
3.5.2 宽带 PON (BPON)	76
3.5.2.1 ATM 协议	76
3.5.2.2 数据传输	84
3.5.3 千兆能力 PON (GPON)	92
3.5.3.1 GPON TC 帧结构	93
3.5.3.2 GPON 协议和上行流量管理	97
3.5.4 以太网 PON (EPON)	103
3.5.4.1 以太网业务	103
3.5.4.2 IEEE 802.3ah-2004	105
3.5.4.3 以太网 PON 的传输体系	106
3.5.4.4 OLT 的下行数据广播模式	123
3.5.4.5 ONT 的上行数据传输	123
3.5.4.6 EPON 中的前向纠错 (FEC)	124
3.5.4.7 操作、管理和维护 (OAM)	126
3.5.4.8 以太网体系架构小结	126
第 4 章 外围设备安装	129
4.1 OSP 的安装	133

目录

4.1.1 光缆	134
4.1.2 接头盒, 配线架以及光纤管理装置	134
4.1.3 落线终端	137
4.1.4 ONT 的安装	138
第5章 测试	141
5.1 物理层	142
5.1.1 安装	146
5.1.1.1 损耗的测量	147
5.1.1.2 链路特性	152
5.1.2 服务激活	159
5.1.2.1 OLT (仅限于最初的服务激活)	159
5.1.2.2 光网络终端 (ONT)	159
5.1.3 故障诊断	162
5.2 协议层	165
5.2.1 ATM 服务激活和提供	165
5.2.1.1 ATM 性能参数	168
5.2.1.2 ATM QoS 测试	168
5.2.2 EPON 服务激活和提供	170
5.2.2.1 质量和性能	170
5.2.2.2 以太网性能验证	171
5.2.2.3 RFC 2544 测试	172
5.2.2.4 吞吐量	173
5.2.2.5 突发 (背对背)	174
5.2.2.6 帧丢失	174
5.2.2.7 时延	175
5.2.2.8 以太网的误码率测试	176
5.2.2.9 最后一英里的连通性	176
5.2.2.10 以太网业务验收测试	176
5.2.2.11 测试配置	177
5.3 器件制造	178
5.3.1 无源器件	178
5.3.1.1 宽带光源 (BBS) 测试法	178
5.3.1.2 延时扫描测试法	179
5.3.1.3 波长扫描 (或频率扫描) 测试法	179
5.3.1.4 测试时间和系统复杂度比较	180
5.3.1.5 偏振相关的损耗	182
5.3.2 有源器件	183
第6章 总结	185
第7章 术语	189
第8章 缩略语	199
第9章 参考文献	211
9.1 ITU-T 建议	212
9.1.1 与 PON 有关的建议	212
9.1.2 其他建议	214
9.2 与 PON 有关的 IEC 标准	215
9.3 IEEE 接入网标准 (EPON)	215
9.4 Telcordia	216
9.5 其他参考文献	217

冊 一 紙

FTTx 简介



1.1 FTTx简介

1876 年电话的发明以及 1878 年贝尔电话公司的成立为现在被亲切地称为“简易老式电话系统”(POTS)的电话系统的广泛发展奠定了基础。两年后,一种所谓的“光电话”出现了,它能够通过光束来传输声音。

多年来,开拓者们取得了一系列令人惊喜的新发现和技术突破,其中包括激光和单模光纤,从而使得利用光来远距离传输大量信息切实可行。现在,在美国有 90% 以上的远距离通信是通过光纤完成的;在欧洲和亚太地区同样如此。但中心局与用户之间的短距离连接仍广泛采用铜双绞线。

光纤到户 (FTTH) 技术代表了一种很具有吸引力的解决方案,可为中心局到住户及中小型企业之间的连接提供高带宽。FTTH 极具吸引力,因为它采用无源光网络 (PON),该网络在中心局与用户之间仅使用无源器件。

使 FTTH 更具吸引力的地方在于该技术便于进行网络测试、测量和监控。这些系统的基本原理与标准光纤网络相同,所以用于安装和维护标准光纤网络的许多设备都可用于此类系统。

单模光纤的发展,加之其近乎无限的带宽,开启了远距离和城市点对点光纤网络大规模部署的大门。光纤光缆代替铜质电缆的应用大大降低了设备和维护成本,并极大地提高了服务质量 (QoS)。许多公司客户现在已经开始享受点对点光纤服务。

光纤光缆虽然具有很大优势,但在网络的“最后一英里”(即从中心局 (CO) 到用户的部分)仍未能广泛应用。由于这一段通常采用电缆,因此住宅用户和小型企业可享用的高速服务只能局限于大多由大型电信服务提供商(也称为“电信公司”)提供的通用数字用户线 (xDSL) 和有线电视分销商(也称为“有线电视 -CATV- 公司”)提供的混合光纤同轴电缆 (HFC)。而主要的备选方案——使用直接广播服务 (DBS) 的无线传输——需要天线和接收器。因此,现有服务存在以下缺点:

- 面对急剧膨胀的更大带宽和更高速度服务的需求,只能提供有限的带宽。
- 使用不同种类现场安装的工作介质和设备,维护成本高昂。
- 运营商不能以经济可行的方式轻松直接向住宅用户提供“三重播放”(音频、视频和数据)和其他高速交互式服务。

尽管光纤光缆克服了上述所有限制,但直接向住户和小型企业提供光纤服务仍障碍重重,其中之一便是将各用户连接到中心局需要高昂的成本,通常称作“每户成本”。大量的点对点连接需要许多有源器件和大量光纤光缆,安装和维护成本因而高不可攀。

FTTx (光纤到户、光纤到建筑物、光纤到楼等) 架构为这些问题提供了一个可行的解决方案。FTTx 是一种无源光网络 (PON), 可以使几个用户共享一个连接, 无需任何有源器件 (即通过光 - 电 - 光 (O-E-O) 生成或转化成光的元件)。

通常, FTTx 光网络结构如下。从中心局的光线路终端 (OLT) 拉出一条馈线, 连接到用户群附近的光纤分配中心 (FDH) (见图 1.1)。在该点, 使用无源分光器通常可将最多 32 个用户连接到同一馈线。然后, 每个用户驻地有一个光网络终端 (ONT¹), 该终端分别连接到各分光器支路和用户自己的网络。这种点对多点架构大大降低了网络安装、管理和维护成本。



图 1.1 通过高带宽无源光网络提供三重播放服务

OLT 使用 1490nm 波段在同一光纤上提供音频和数据的下行传输, 而 ONT 使用 1310nm 波长提供上行传输, 从而实现同一光纤上的无干扰双向传输。该架构用于点对多点 (P2MP) PON 中, 而在 P2P PON 网络中, 使用 1310nm 波长在一对光纤上分别执行上行和下行传输。

此外, OLT 还可连接到波分复用 (WDM) 耦合器上, 通过一条光纤提供视频、音频和数据 (三重播放) 服务。视频通常仅在 1550nm 波段内下行传输。

可根据用户要求以及与运营商签订的服务级别协议提供各种共享带宽。迄今为止, 已设计了 155Mbit/s、622Mbit/s、1Gbit/s、1.25Gbit/s 和 2.5 Gbit/s 的典型对称或不对称速率。如果所选择协议以异步传输模式 (ATM)

¹ 当 ONT 未连接到用户自己的建筑物网络时, 被称作 ONU (光网络单元)。

为基础,一般称为 ATM-PON。也可采用其他协议,例如以太网 PON (EPON)。

FTTx 架构还有许多变体 (见图 1.2), 包括:

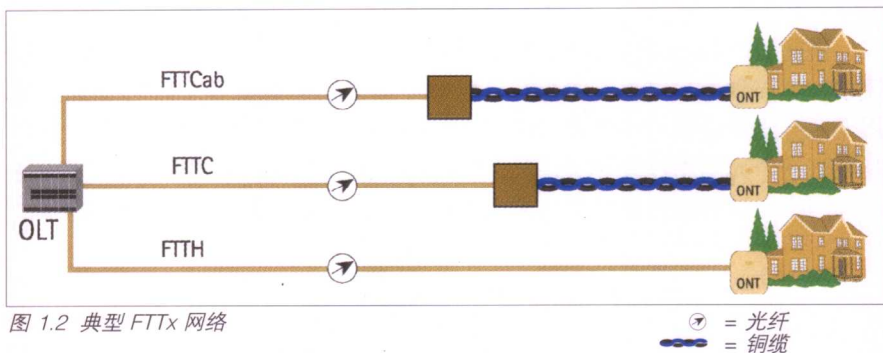


图 1.2 典型 FTTx 网络

- 光纤到楼 (FTTB);
- 光纤到机箱 (FTTCab);
- 光纤到路边 (FTTC);
- 光纤到桌面 (FTTD);
- 光纤到户 (FTTH);
- 光纤到建筑物 (FTTP);
- 光纤到办公室 (FTTO);
- 光纤到用户 (FTTU);
- 等等。

1.1.1 FTTx 缘何受青睐

1995 年,英国电信、南方贝尔、加拿大贝尔、NTT 及其他四家国际电信公司聚首,着手合作建立全服务接入网络 (FSAN), 目的是促进相适应的接入网络设备标准的制订。

美国立法机构 1996 年签发《电信法》,意在“促进和减小监管力度,确保美国电信用户能够获得低价的优质服务,并鼓励新电信技术的快速推广”。随后,许多国家相继解除了对其国内电信市场的管制。

国际电信联盟 (ITU) 将 FSAN 规范升格为建议标准,从而成为此类技术的第一个国际标准。1998 年,基于 ATM 的 PON FSAN 规范成为一项国际标准,并被 ITU 采纳,作为其建议标准 G.983.1。

2001 年, 以促进 FTTN 在北美的推广为目的并作为美国立法顾问机构的 FTTN 理事会成立。理事会随后确定了欧洲和亚太地区章节, 从而扩大了其全球影响力。同年美国《带宽 Internet 接入法案》应运而生。根据该法案, 投资下一代带宽设备的公司将获得税收方面的优惠。从全球来看, Internet 已经成为下一个宽带消费领域, 这一事实显而易见。

2003 年, 美国联邦通信委员会 (FCC) 取消了对 FTTx 网络的无界化的要求 (RBOC, 即地方贝尔运营公司, 允许其竞争运营商使用其网络的义务), 从而使该技术对主要运营商更具吸引力。这意味着 RBOC 目前在投资用户环路光纤基础设施时, 不再有义务让其竞争对手分享, 在 FTTx 网络的推广上信心大增。有人预测, 仅 RBOC 的 FTTx 网络市场规模便可达 10 亿美元。允许美国 RBOC 将其服务绑定到其所属网络, 还可提供一个更好地与 CATV 公司竞争的机会, 否则 RBOC 的市场份额就会被蚕食。

这些近期发展的结果是, 人们对 FTTx 的兴趣呈指数级增长:

- 小型企业和住宅用户需要更大的带宽和更多的服务。
- FTTx 之所以能够以低价格提供高带宽光纤传输能力和多种多样的服务 (数据、POTS、视频), 是因为许多终端用户可以在一条光纤 (P2MP) 上共享带宽, 还因为所有外线工程设备都是无源设备。
- 新标准 (如 ITU 和电气与电子工程师协会 (IEEE) 设立的标准) 大大增强了 PON 的设计通用性、容量、可靠性、安全性和多功能性, 为实现大规模经济和之前所无法想象的超低成本敞开了机遇之门。
- 许多类型的运营商现已能够提供 FTTx 服务:
 - 传统本地交换运营商 (ILEC)、RBOC;
 - 农村电信运营商 (RLEC);
 - 新兴的本地电信运营商 (CLEC);
 - 公用事业公司;
 - 市政当局;
 - 等等。

此外, 亚洲许多国家以及欧洲目前正在测试或推广 PON。

1.1.2 可用服务

表 1.1 概述了一个运营商可通过 PON 提供的可能服务。

表 1.1 接入网络提供的服务

服务	
数据:	• 高速 Internet • 公司客户的数据传递 • 专线 • 帧中继 • ATM 连接 • 交互式游戏 • 监控和安全系统 • 未来服务
POTS:	• 单条或多条电话线
视频:	• 数字及模拟广播视频 • 高清晰度电视 (HDTV) • 视频点播 (VOD) • 互动电视/付费收视

1.2 FTTx 架构

图 1.3 展示了 FTTx 网络的普通架构。在中心局 (CO), 也称为头端, 公共交换电话网 (PSTN) 和 Internet 服务通过光线路终端 (OLT) 与光分配网络 (ODN) 对接。P2MP 架构使用下行 1490nm 和上行 1310nm 波长传输数据和音频, 而 P2P 架构使用 1310nm 波长进行下行和上行传输。

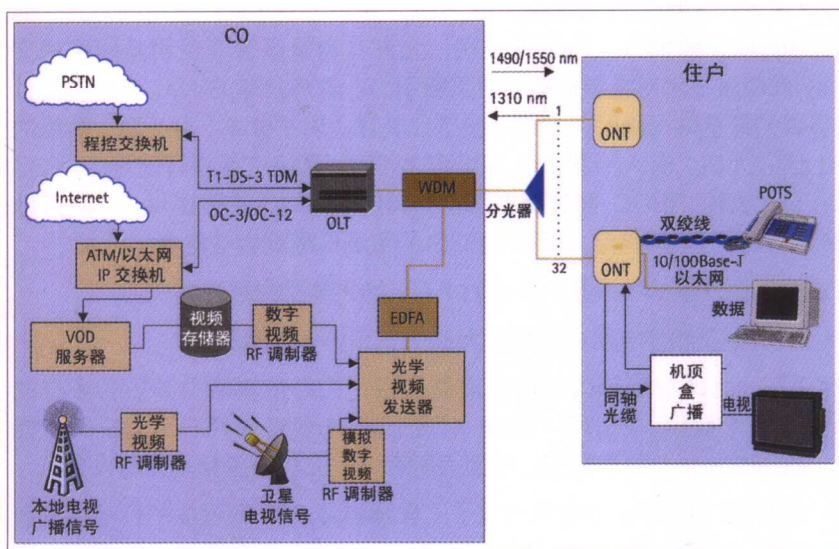


图 1.3 FTTx 一般架构

通过光视频转换器可将当前的模拟视频服务转变成波长为 1550nm 的光学格式。1550nm 和 1490nm 的波长由 WDM 耦合器合并, 然后一起被下行传输。目前尚无上行传输视频的计划。然而, 数字视频格式目前计划于 2009 年左右推出。届时, 该信号可使用时分复用 (TDM) 在 1490nm 波长上与音频和数据一起传输。

在 P2MP 架构中, 馈线光缆在中心局和分光器之间传输光学信号, 这样就可以在同一条馈线上连接许多 ONT。每个用户需要一个 ONT, 它可提供不同服务 (POTS、以太网和视频) 的连接。由于一个 FTTx 网络所服务的用户一般可达 32 个 (会随技术的提高而增加), 所以在对一个社区的用户提供服务时, 通常需要许多个这类网络 (始于同一个中心局)。

可使用不同的架构将用户与 PON 相连。最简单的是使用单一分光器 (见图 1.4), 但也可以使用多个分光器 (见图 1.5)。

此外, 也可以有星形、环形和总线拓扑结构等配置, 如图 1.6 所示。

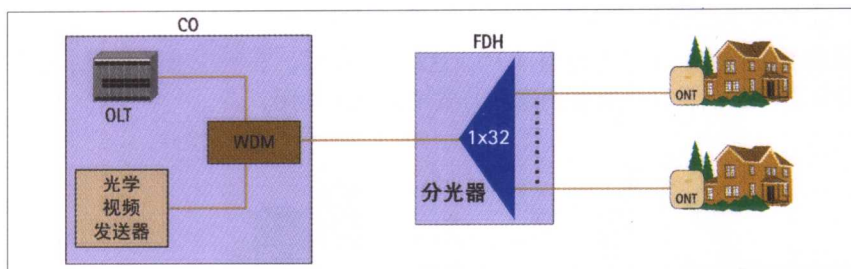


图 1.4 单分光器 FTTx 网络

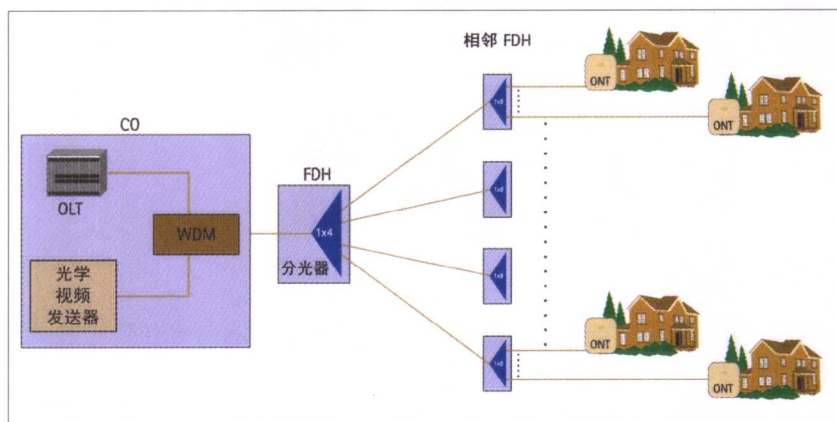


图 1.5 具有多个分光器的 FTTx 网络

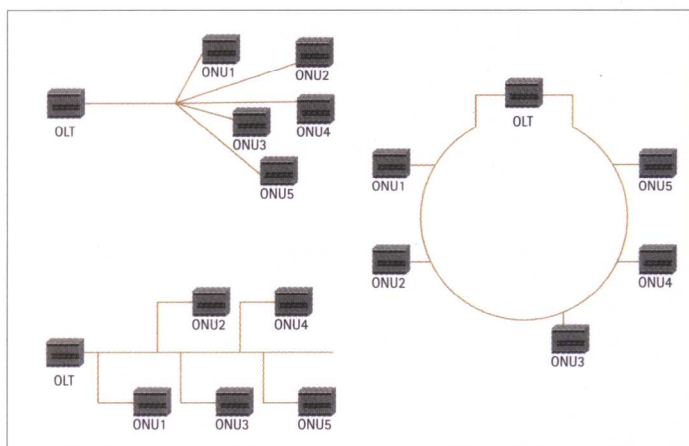


图 1.6 PON 拓扑

有些情况下，可能不必将光纤与网络中每个用户的建筑物直接相连。这种情况下，可将光纤拉到一个名为光网络单元（ONU）的接线点，并使

用一段短的电缆链路（一般为 VDSL，可为短距离三重播放服务提供足够的带宽）进行最后连接（见图 1.7），这称为 FTTC。在一个 PON 中，可将 FTTH、FTTB 以及其他类型的连接方式结合起来使用。

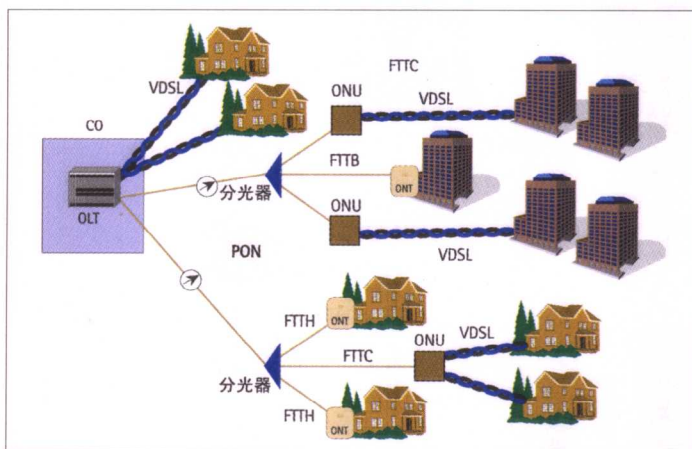


图 1.7 FTTH、FTTB 和 FTTC

WDM 耦合器用于复用下行音频 / 数据信号（1490nm）和使用 1550nm 的下行视频信号，上行音频 / 数据信号为 1310nm。由于采用薄膜滤波技术的 WDM 耦合器的波长范围宽，耦合损耗低，所以通常是执行这一任务的首选设备。

在 P2MP 架构中，为防止来自同时到达分光器的不同 ONT 信号的数据发生冲突，采用了时分多址（TDMA）传输技术。TDMA 可在规定的时间或时隙将来自各 ONT 中的突发数据发送回 OLT。OLT 将指定每个 ONT 传输的时隙，这样，来自各 ONT 的数据包就不会发生相互冲突。

1.3 OSP 设备

外线工程（OSP）设备包括位于中心局和用户所在建筑物之间的设备和元件。它包括网络的光学和非光学元件。各光学元件构成了光分配网络（ODN），这些元件包括光纤光缆、WDM 耦合器、光纤跳线、固定连接（或

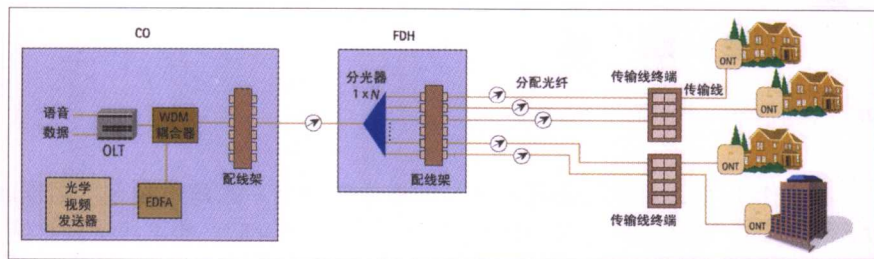


图 1.8 OSP 设备