

光通信系列丛书

宽带光接入网

原荣 编著

KUANDAI GUANG
JIERU WANG



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

www.phei.com.cn

光通信系列丛书

宽带光接入网

原 荣 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书主要介绍宽带光接入网的有关技术,如以太网接入、xDSL 接入、SDH 接入、APON、EPON 和 WDM-PON 接入、无线接入和 HFC 接入;同时着重对无源光网络(PON)的上行突发接收同步和时钟提取技术、测距和动态带宽分配技术,以及业务流量管理和控制技术进行了论述。书中对目前已进入家庭的 ATM over ADSL 技术和 APON 接入系统进行了介绍。

本书选取了光纤接入网络技术的最新素材,采用了国际电联的最新标准。本书的特点是内容新,通俗易懂,简明扼要,图文并茂,注重实用。

本书可供从事光纤接入网络研究、教学、规划、设计、使用、管理和维护的有关人员参考,也可作为光纤通信课程教材使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

宽带光接入网/原荣编著. —北京:电子工业出版社, 2003.8
(光通信系列丛书)

ISBN 7-5053-8921-1

I. 宽… II. 原… III. 光纤通信—宽带通信系统—接入网 IV. TN915.62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 061862 号

责任编辑:雷洪勤

印 刷:北京京科印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×980 1/16 印张:20.5 字数:459 千字

版 次:2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月第 1 次印刷

印 数:5 000 册 定价:29.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010) 68279077

前 言

接入网是用户网进入城域网/骨干网的桥梁。目前,随着社会信息化进程的加快,接入网已成为制约网络向宽带化发展的瓶颈。接入网市场容量很大,为了满足用户的需要,新技术不断涌现。网络接入技术已成为电信研究部门、各大电信公司和运营部门关注的焦点和投资的热点。

光纤接入有无源与有源之分,基于 SDH 或 PDH 的接入是有源接入,基于无源光网络(PON)的接入是无源接入。因为 PON 本身是一种多用户共享系统,即多个用户共享同一套设备、同一条光缆和同一个光分路器,所以成本低;与有源光网络相比,它的安装、开通和维护运营成本大为降低,使系统更可靠、更稳定;加之 PON 能够提供透明宽带的传送能力,因此 PON 接入网具有广阔的应用前景。

ATM 技术支持可变速率业务,支持时延要求较小的业务,具有支持多业务、多比特率的能力,因此 ATM 接入系统能够完成不同速率的多种业务接入,它既能够提供窄带业务,又能提供宽带业务。目前,中国电信已通过 ATM over ADSL 技术使宽带业务到家。另外,电信网的核心部分正在 ATM 化,为了使用户接入网部分的 PON 和核心网的 ATM 化相兼容,ITU-T 已从 1998 年开始,制订了一整套标准,这种 ATM 化的 PON 称为 APON。

随着因特网的快速发展,以太网被大量使用,由于市场的推动,以太网技术也在飞速发展。由于 PON 具有优良的特性,所以 2000 年 12 月,以太网设备供应商提出了将 PON 用于以太网接入的标准研究计划,这种使用 PON 的以太网称为 EPON。EPON 使用的许多技术与 APON 的类似,如下行采用 TDM,上行采用 TDMA。

因为 ATM-PON 接入系统传输距离比 ATM over ADSL 的长,所以,为了增加传输距离,在一段时期内,可用 APON(或 VDSL)加 ADSL 接入系统提供 ADSL 业务。但 ADSL 或 VDSL 加 ADSL 提供的带宽有限,且要求传输线路质量要好,所以 ADSL 最终也要被淘汰,而光纤到家(FTTH)将可能采用 APON 或/和 EPON 技术。

信息产业部电子第 34 研究所、电信科学技术第 5 研究所和电子科技大学共同承担了国家 863 计划重大项目——全业务网接入传输系统。由笔者本人负责的项目组,在全体课题组成员的刻苦钻研下,在有关单位和部门的共同努力下,研制成功了一种以 ATM-PON 技术为核心的宽带接入系统,该项目已于 2001 年 2 月 15 日顺利通过了 863 专家组的验收。本书就是对这一科研工作的总结和对相关技术的介绍。书中也引用了他们发表文章的一些内容,所以在这里对他们,特别是对高杰、曾晓波、伍浩成等课题组成员表示衷心的感谢。

本书介绍宽带光接入网的有关技术,着重对无源光网络(PON)的相关技术进行了

论述,如上行突发接收同步和时钟提取技术、测距和动态带宽分配技术。第1章在光接入网概述中,对接入网在网络建设中的作用、网络结构、保护和常用的调制方法、上行接入方法做了阐述。第2章和第3章分别介绍了接入网用到的无源、有源器件和光纤传输技术。第4章讲述宽带接入技术的基本原理,包括以太网接入、xDSL接入、SDH接入、APON、EPON和WDM-PON接入,最后对无线接入和HFC接入也进行了介绍。第5章对TDMA PON接入网的上行同步、测距和突发接收等基本技术做了详细的讲解。为了使读者更好地理解ATM-PON和ATM over ADSL的基本原理,在第6章编写了ATM的基本概念、层结构和ATM交叉/交换原理,并结合我们的实际研究对ATM over ADSL和DSLAM进行了概述。接着在第7章对APON的传输媒质层、会聚层、OAM功能和媒质接入控制(MAC)协议进行了描述,最后对我们研制的APON接入系统进行了简要介绍。本书最后对动态带宽分配、MAC协议、业务流量管理和控制进行了论述。

本书是宽带光接入网的重要发展方向——PON接入系统的专著,选取了光纤接入网络技术的最新素材,采用了国际电联的最新标准。其特点是内容新、通俗易懂、简明扼要、图文并茂、注重实用。为使读者从关键词尽快找到书中的有关内容,本书还附录名词术语索引。

本书可供从事光纤接入网络研究、教学、规划、设计、使用、管理和维护的有关人员参考,也可作为光纤通信课程教材使用。

虽然编著者多年来从事光纤通信技术和接入网络技术的研究,但由于光接入网技术发展迅速,加之作者水平有限,书中不足及错误之处在所难免,敬请读者指正。

编 著 者

目 录

第 1 章 光接入网概述	(1)
1.1 接入网在网络建设中的作用及发展趋势	(1)
1.1.1 接入网在网络建设中的作用	(1)
1.1.2 三网融合——接入网的发展趋势	(2)
1.2 网络结构	(3)
1.2.1 网络结构	(3)
1.2.2 网络接口	(4)
1.2.3 光线路终端 (OLT)	(5)
1.2.4 光网络单元 (ONU)	(7)
1.2.5 光分配网络	(9)
1.3 PON 系统的保护	(10)
1.3.1 结构和要求	(10)
1.3.2 保护方式	(11)
1.4 上行接入方法	(12)
1.4.1 TDMA	(13)
1.4.2 WDMA	(14)
1.4.3 SCMA	(14)
1.4.4 CDMA	(16)
1.5 接入网常使用的调制方法	(19)
1.5.1 QAM 调制	(19)
1.5.2 CAP 调制	(23)
1.5.3 DMT 调制	(24)
1.5.4 QPSK 调制	(25)
第 2 章 光接入网络器件	(27)
2.1 无源器件	(27)
2.1.1 光连接器	(27)
2.1.2 光分路器	(28)
2.1.3 光开关	(29)
2.1.4 波分复用/解复用器	(30)
2.1.5 光隔离器	(33)
2.1.6 光环行器	(33)

2.2	光发射器件	(34)
2.2.1	发光机理	(34)
2.2.2	器件结构	(37)
2.2.3	半导体激光器的基本特性	(41)
2.3	光接收器件	(42)
2.3.1	光探测原理	(43)
2.3.2	PIN 光电二极管	(44)
2.3.3	雪崩光电二极管	(46)
2.4	光放大器	(48)
2.4.1	掺铒光纤放大器	(48)
2.4.2	半导体光放大器	(52)
第 3 章	光纤传输技术	(54)
3.1	光纤结构和类型	(55)
3.1.1	多模光纤	(55)
3.1.2	单模光纤	(57)
3.2	光纤传输原理	(57)
3.2.1	斯奈尔定律和全反射	(57)
3.2.2	光纤传输条件	(59)
3.3	光纤传输特性	(61)
3.3.1	衰减	(61)
3.3.2	色散	(62)
3.3.3	带宽	(64)
3.3.4	光纤传输特性测量	(65)
3.4	单模光纤种类和应用	(68)
3.4.1	G. 652 标准单模光纤	(69)
3.4.2	G. 655 非零色散光纤	(69)
3.4.3	全波光纤	(70)
3.4.4	塑料光纤	(71)
3.5	光纤和光缆	(71)
3.5.1	光纤的选择	(71)
3.5.2	光缆	(73)
3.6	光发射和接收技术	(74)
3.6.1	调制技术	(74)
3.6.2	编码技术	(75)
3.6.3	复用技术	(78)

3.6.4	光发射和接收机	(82)
3.7	双向传输技术	(84)
第4章	宽带接入技术	(86)
4.1	以太网接入	(86)
4.1.1	以太网分类	(87)
4.1.2	以太网帧格式	(89)
4.1.3	以太网工作原理	(89)
4.1.4	未来的以太网	(91)
4.1.5	以太网接入因特网和骨干网	(93)
4.2	xDSL 接入	(94)
4.2.1	ADSL	(95)
4.2.2	VDSL	(97)
4.3	SDH 接入	(98)
4.4	ATM-PON 接入	(99)
4.5	EPON 接入	(101)
4.5.1	PON 的结构	(103)
4.5.2	EPON 中的有源部件	(103)
4.5.3	网元管理	(104)
4.5.4	EPON 的工作原理	(104)
4.5.5	EPON 传输帧结构	(105)
4.5.6	光路设计	(107)
4.5.7	EPON 必须解决的关键技术难题	(108)
4.6	WDM-PON 接入	(109)
4.7	无线接入	(110)
4.7.1	第三代移动通信	(110)
4.7.2	CDMA 光纤传输通信系统	(112)
4.7.3	卫星接入	(115)
4.7.4	本地多点分配系统	(115)
4.7.5	大气光通信接入系统	(115)
4.8	混合接入	(116)
4.8.1	CATV 从电缆向光纤/同轴电缆混合 (HFC) 接入过渡	(116)
4.8.2	HFC 的优点	(117)
4.8.3	HFC 的结构	(118)
4.8.4	Cable Modem 构成及 HFC 工作原理	(119)
4.8.5	HFC 用于双向交互式业务存在严重缺陷	(123)

第 5 章 TDMA 无源光网络接入技术	(125)
5.1 上行同步技术	(125)
5.1.1 概述	(125)
5.1.2 相关同步技术	(126)
5.1.3 门控振荡法	(132)
5.1.4 数字环路振荡法	(134)
5.2 突发模式发射	(137)
5.2.1 光发射基础	(137)
5.2.2 突发模式发射	(138)
5.2.3 发射延迟补偿	(139)
5.2.4 突发模式发射光输出功率控制	(140)
5.2.5 外调制突发模式发射	(142)
5.3 突发模式接收	(142)
5.3.1 直流耦合突发接收	(143)
5.3.2 光差分检测突发接收	(148)
5.4 测距	(150)
5.4.1 概述	(150)
5.4.2 现有的测距方法	(152)
5.4.3 测距过程	(153)
5.5 G.983.1 规定的测距法	(155)
5.5.1 测距法应用范围	(155)
5.5.2 传输延时和相位关系	(156)
5.5.3 测距窗口	(158)
5.5.4 测距过程	(162)
第 6 章 ATM 技术	(170)
6.1 ATM 的基本概念	(170)
6.1.1 ATM 和 STM	(171)
6.1.2 ATM 信元结构	(172)
6.1.3 ATM 复用和交换原理	(173)
6.1.4 B-ISDN 协议参考模型	(179)
6.2 ATM 物理媒质 (PM) 子层	(180)
6.2.1 基于 SDH 的接口	(180)
6.2.2 基于信元的接口	(181)
6.3 TC 子层	(182)
6.3.1 HEC 产生和 CRC 校验	(182)

6.3.2	信元定界	(183)
6.3.3	扰码	(184)
6.3.4	速率匹配	(184)
6.4	ATM 层	(184)
6.4.1	信元复用和交换	(184)
6.4.2	质量保证	(185)
6.4.3	流量管理和拥塞控制	(186)
6.5	ATM 适配层	(189)
6.5.1	AAL 1	(190)
6.5.2	AAL 5	(192)
6.6	ATM 交换/交叉连接	(193)
6.6.1	ATM 交换网络结构	(193)
6.6.2	ATM VC 网的呼叫建立和带宽管理	(194)
6.6.3	ATM VP 网络的虚通道容量分配	(195)
6.6.4	ATM 信元交换体系结构	(195)
6.7	ATM over ADSL 到家	(197)
6.7.1	DSLAM 系统结构	(198)
6.7.2	用户设备	(199)
6.7.3	宽带 IP 业务接入	(200)
6.7.4	其他业务接入	(200)
6.8	DSLAM 设计举例	(200)
6.8.1	DSLAM 系统结构	(200)
6.8.2	ATM 复用交叉连接	(201)
6.8.3	STM-1 光接口	(203)
6.8.4	ADSL 线路接口	(203)
6.8.5	系统性能指标	(204)
6.8.6	系统实现关键技术	(204)
第 7 章	APON 接入系统	(207)
7.1	APON 接入网的分层结构	(207)
7.2	传输媒质层	(208)
7.2.1	线路比特速率	(208)
7.2.2	物理媒质与波长分配	(208)
7.2.3	光端机	(209)
7.2.4	光分配网	(216)
7.3	传输会聚层	(216)

7.3.1	对传输会聚层的要求	(216)
7.3.2	帧结构	(217)
7.3.3	下行 PLOAM 信元结构	(220)
7.3.4	上行 PLOAM 信元结构	(225)
7.3.5	下行信元搅动加密	(227)
7.3.6	验证功能	(229)
7.4	运行、管理和维护功能	(230)
7.4.1	ONU 管理和控制接口参考模型	(230)
7.4.2	ONU 和 OLT 检测到的 OAM 项目	(231)
7.4.3	PON 的管理功能	(234)
7.4.4	ONU 管理信息库	(238)
7.4.5	ONU 管理和控制信道	(240)
7.4.6	ONU 管理和控制协议	(240)
7.5	APON 接入系统介绍	(242)
7.5.1	系统构成	(242)
7.5.2	APON 线路接口	(245)
7.5.3	ATM 交叉连接	(248)
7.5.4	业务接口	(248)
7.5.5	HFC 双向光纤传输系统	(250)
7.5.6	系统业务演示	(250)
第 8 章	动态带宽分配	(252)
8.1	概述	(252)
8.1.1	静态带宽分配	(253)
8.1.2	动态带宽分配	(254)
8.2	MAC 协议	(257)
8.2.1	动态带宽分配协议	(257)
8.2.2	传输容器	(259)
8.2.3	信元传输延迟及其变化	(266)
8.2.4	DBA 和 OLT/ONU 的不同组合	(267)
8.2.5	等待/过渡时间	(267)
8.3	交接过程	(268)
8.4	T-CONT 的建立和拆除	(271)
8.4.1	对 T-CONT 状态改变的要求	(271)
8.4.2	T-CONT 的建立	(271)
8.4.3	T-CONT 的拆除	(274)

8.4.4	ONU 可分割时隙的合并和整理	(274)
8.5	业务流量控制和调度	(276)
8.5.1	接入过程	(276)
8.5.2	上行接入模型和 ONU 模型	(277)
8.5.3	带宽分配规则	(278)
8.5.4	业务流量调度	(279)
附录 A	在 PLOAM 信道中的信息	(285)
附录 B	PLOAM 信息域信息格式	(290)
附录 C	名词术语索引	(299)
参考文献		(311)

第 1 章 光接入网概述

- 1.1 接入网在网络建设中的作用及发展趋势
- 1.2 网络结构
- 1.3 PON 系统的保护
- 1.4 上行接入方法
- 1.5 接入网常使用的调制方法

1.1 接入网在网络建设中的作用及发展趋势

1.1.1 接入网在网络建设中的作用

信息网由核心骨干网、城域网、接入网和用户驻地网组成，其模型如图 1.1.1 所示。由图可见，接入网处于城域网/骨干网和用户驻地网之间，它是大量用户驻地网进入城域网/骨干网的桥梁。

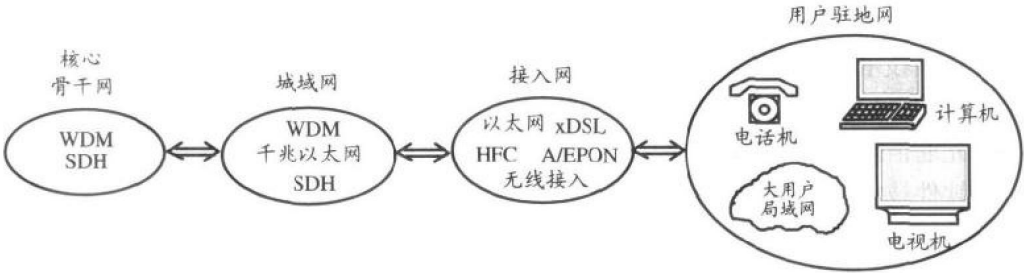


图 1.1.1 信息网模型

如今，科学技术突飞猛进，大量的电子文件不断产生，随着经济全球化，社会信息化进程的加快，因特网大量普及，数据业务激烈增长，电信业务种类也不断扩大，已由单一的电话电报业务扩展到多种业务。窄带 ISDN 通常只能提供 128 kb/s 以内的电信业务，一般的调制解调器速率最高不超过 56 kb/s。接入网已成为制约网络向宽带化发展的

瓶颈。接入网市场容量很大,为了满足用户的需求,各种新技术不断涌现。接入网是国家信息基础设施的发展重点和关键。据《中国电信行业研究报告——2000年~2001年接入网市场研究报告》称,今后5年内电信投资的50%将用于接入网建设。所以网络接入技术已成为电信研究部门、各大电信公司和运营部门关注的焦点和投资的热点。

1.1.2 三网融合——接入网的发展趋势

由于历史的原因,我国存在着各自独立经营的电信网、计算机网和有线电视网。为了使有限而宝贵的网络资源最大程度地实现共享,避免大量低水平的重复建设,打破行业垄断和部门分割,三网融合是信息网发展的必然趋势。

三网融合示意图如图1.1.2所示。首先,各网必须在技术、业务、市场、行业、终端和制造商等方面进行融合,转变成电信综合网、数据综合网和电视综合网。这三种网可能在相当长一段时间内长期共存,互相竞争,最后三网才能融合成一个统一的网。

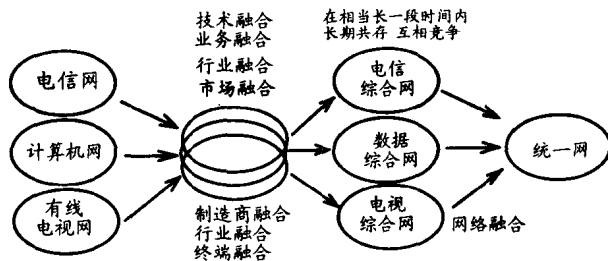


图 1.1.2 三网融合示意图

三网融合的内涵是技术上趋向一致、网络层互联互通、业务层互相渗透交叉、应用层使用统一的协议。

三网融合的技术基础有如下几点。

- 数字技术：电话、数据和图像业务都可以变成二进制“1”和“0”信号在网络中传输,无任何区别;

- 光通信技术：为各种业务信息传送提供了宽敞、廉价、高质量的信息通道;

- 软件技术：通过软件变更可支持三大网络各种用户的多种业务;

- TCP/IP 协议（传输控制协议/网间协议）：可使各种业务在不同的网上实现互通。

外部环境促使三网融合,市场需求和竞争、政策法规推动三网融合。1996年美国国会通过了电信改革法案,解除了对三网融合的禁令,允许电信企业对有线电视业务展开竞争,作为交换,有线电视运营商也可以进入本地电话业务市场。

三网融合对信息产业结构的影响将导致不同行业、公司的购并重组或业务扩展;导致各自产品结构的变化;导致市场交叉、丢失和获取。计算机可用来打电话、购物,电视机可以上网,移动电话可查询股市行情,软件公司可以提供电信业务,娱乐公司可以

提供 Internet 服务，电信公司可以从事银行业务和零售批发。

1.2 网络结构

1.2.1 网络结构

一个本地接入网系统可以是点到点系统，也可以是点到多点系统；可以是有源的，也可以是无源的。图 1.2.1 表示光接入网（OAN）的典型结构，可适用于光纤到家（FTTH）、光纤到楼（FTTB）和光纤到路边（FTTCab）。

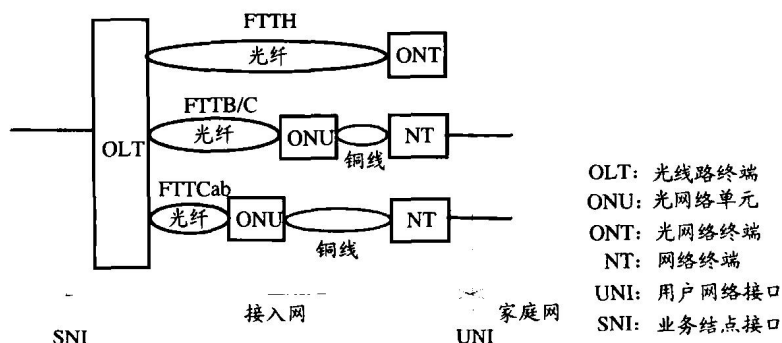


图 1.2.1 光接入网结构

FTTB 和 FTTH 的不同仅在于业务传输的目的地不同，前者业务到大楼，后者业务到家。与此对应，到楼的终端叫 ONU，到家的终端叫 ONT。它们都是光纤的终结点，为了叙述方便，今后统称为 ONU。通常 ONU 比 ONT 服务的用户更多，适合于 FTTB，而 ONT 适合于 FTTH。

在 FTTB/Cab 系统中传输的业务有以下几种。

- 非对称宽带业务：如数字广播业务、视频点播（VoD）、Internet、远程教学和电视诊断等；

- 对称的宽带业务：如小商业用户的电信业务和远程检索等；

- 窄带业务：如公用电话交换网（PSTN）业务和综合数字网（ISDN）业务。

在 FTTH 系统中，没有户外设备，使网络结构及运行更简单；因为它只需对光纤系统进行维护，所以维修容易，并且光纤系统比混合光纤/同轴电缆系统更可靠。随着接入网光电器件技术的进步和批量化生产，将更快地降低终端成本和每条线路费用，所以 FTTH 是接入网未来的发展趋势。

为了增加上行带宽的可用性，可以采用 G.983.4 规范的动态带宽分配（DBA）技术，给用户高性能的业务，让更多的用户接入同一个 PON。DBR 系统应具有后向兼容性，

及与采用 G.983.1 规范的现有系统兼容。

根据 ITU-T G.982 建议, PON 接入网的参考结构如图 1.2.2 所示。该系统由 OLT, ONU, 无源光分配网络 (ODN)、光缆和系统管理单元组成。ODN 将 OLT 光发射机的光功率均匀地分配给与此相连的所有 ONU, 这些 ONU 共享一根光纤的容量。为了保密和安全, 对下行信号进行搅动加密和口令认证, 在上行方向采用测距技术以避免碰撞。

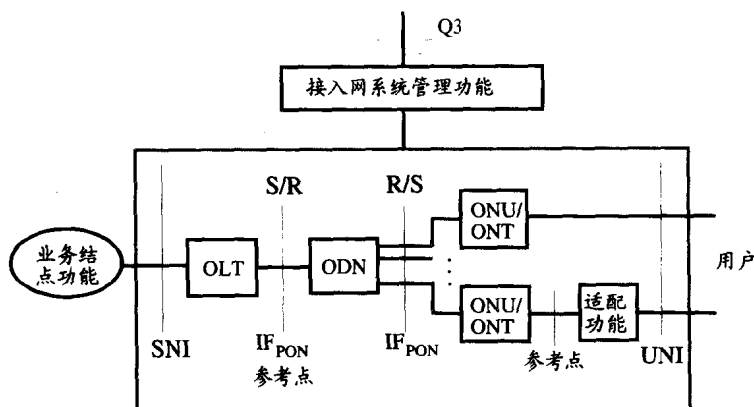


图 1.2.2 PON 接入网的参考结构

光分配网络 (ODN) 在一个 OLT 和一个或多个 ONU 之间提供一条或多条光传输通道。参考点 S 和 R 分别表示光发射和光接收点, S 和 R 间的光通道在同一个波长窗口中。光在 ODN 中传输的两个方向是下行方向和上行方向。下行方向信号从 OLT 到 ONU 传输, 上行方向信号从 ONU 到 OLT 传输。在下行方向, OLT 把从业务结点接口 (SNI) 来的业务经过 ODN 广播方式发送给与此相连的所有 ONU。在上行方向, 系统采用 TDMA 技术使 ONU 无碰撞地发送信息给 OLT。

根据 ITU-T G.983.3 建议, 使用 WDM-OLT/ONU 宽带 PON 接入网的参考结构如图 1.2.3 所示。因为使用了 WDM, 所以允许系统增加了 E-OLT 和 E-ONU, 其他部分和图 1.2.2 所示的 PON 接入网的参考结构相同。

1.2.2 网络接口

业务结点接口 (SNI) 已在 ITU-T G.902 中进行了规范。与 ODN 的接口是 IF_{PON}, 也就是参考点 S/R 和 R/S, 它支持 OLT 和 ONU 传输的所有协议。用户网络接口 (UNI) 与用户终端连接。

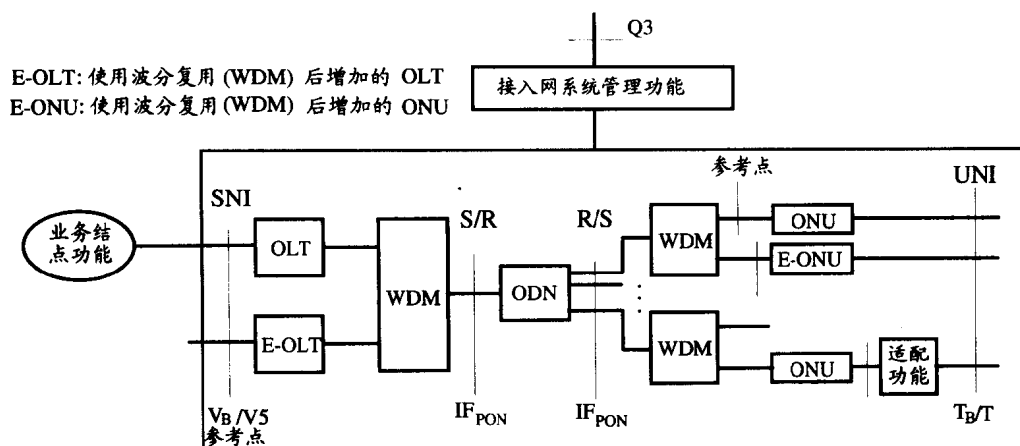


图 1.2.3 WDM-OLT/ONU PON 接入网的参考结构

光接口的具体指标将在 7.2.3 节中介绍。

1.2.3 光线路终端 (OLT)

下面以 ATM-PON 为例，介绍光线路终端 (OLT) 和光网络单元 (ONU) 的构成、作用和工作原理。

1. OLT 功能模块

OLT 由 ODN 接口单元、ATM 复用交叉单元、业务单元和公共单元组成，如图 1.2.4 所示。

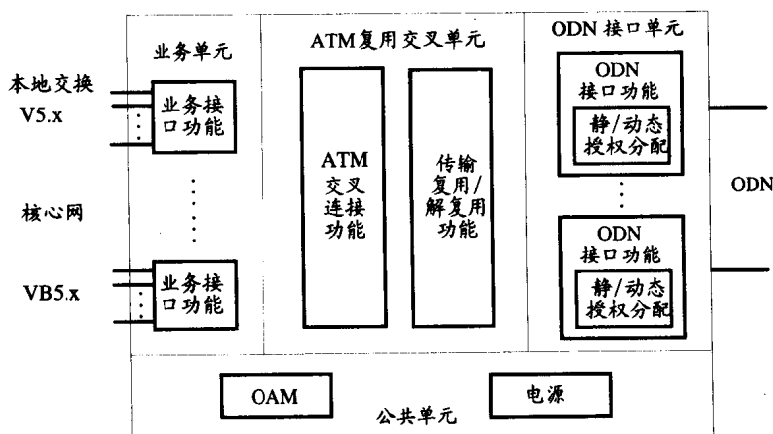


图 1.2.4 OLT 构成框图