

## 光纤接入技术

## 本章学习目标

- (1) 了解“铜退光进”的发展趋势；
- (2) 了解光接入网(OAN)的基本概念；
- (3) 理解有源光网络接入技术(AON)的基本概念；
- (4) 理解无源光接入网技术(PON)的基本概念；
- (5) 掌握 APON 技术、EPON 技术、GPON 技术的基本原理。

## 3.1 “铜退光进”的发展趋势

近年来,随着互联网中多媒体信息的极大丰富,网络带宽的需求量成倍增长。“宽带”已成为当今使用频率最高的词汇之一,宽带是通往信息社会的高速公路,人们利用宽带网络从互联网上搜寻信息,互相交流,其高效、便捷的特点也促进了信息社会的发展。然而,在接入网段现有的数字用户环路技术已经使得铜线资源为传输介质的接入网带宽发挥到了接近理论限制的程度(频率越高,所产生的干扰越大),仍难以满足日益增长的需求,宽带瓶颈问题变得越来越突出。而光接入网的引入无疑是解决接入网带宽瓶颈的有效方式。

光接入网的概念和设想在 20 世纪 80 年代初就提出了,但当时由于技术复杂、成本过高和需求不大等原因,一直没有得到实质性的进展。一方面,随着需求的增加、技术的进步以及设备成本的降低,光接入网再次成为人们关注的焦点。另一方面,在网络融合日渐成为主流的今天,电视网、语音网和数据网“三网融合”已经引起人们极大的关注。而光纤到户网具有高带宽、承载业务种类多以及支持协议灵活等优势,成为实现“三网融合”的最佳途径。

随着光纤逐渐被人们所熟知,越来越多的企业或园区在布线时更倾向于选择光纤。光纤组网有着明显的优势,不仅传输速率更快、传输距离更远、不怕干扰、带宽高,还可以户外走线,安装相对便捷。而且相较于铜缆,光纤的能耗低、抗干扰性强。这些优点对于企业布线来说都具有强大的吸引力,尤其是在提倡创建低能耗的数据中心和办公环境的时代背景下,光纤的节能降耗水平远远优于铜缆。无论从哪个角度来看,铜缆都与光纤相差甚远,因此光纤化是接入网的发展方向。

与其他接入相比,光纤接入网具有如下优点。

- ① 具有高带宽、长距离的传送能力。
- ② 支持多业务接入,包括各种窄带业务、宽带业务和对未来业务的扩展支持能力,实现上述业务的同时接入。

③ 支持分组方式承载上层业务,可以作为下一代的接入层网络。

④ 支持接入网的平滑演进。

当然,与其他接入网技术相比,光纤接入网也存在一定的劣势,最大的问题是成本还是比较高,尤其是光节点离用户越近,每个用户分摊的接入设备成本就越高。故光接入网的发展必须分阶段地进行,仍需要合理利用现有的铜缆资源。在光接入网发展的过程中,业界人士正是考虑到了光纤成本较高以及对现有网络的铜线资源的合理利用等因素,提出了各种光、铜混合的接入网实现方案,统称为 FTTx,其中包括以下几种。

#### (1) FTTC

FTTC(Fiber To The Curb,光纤到路边)实现方案是指光纤仅接入到离家庭或办公室一公里以内的路边交接箱或户外配线架,利用电缆或其他介质把信号从路边交接箱或户外配线架传递到用户住宅或办公室里。

#### (2) FTTCab

FTTCab(Fiber To The Cable,光纤到同轴电缆)又称 HFC,即光纤接入部分到本地区域端局,利用本区域内原有的线缆或其他介质把信号从本地区域端局传递到用户住宅或办公室里。

#### (3) FTTB

FTTB(Fiber To The Building,光纤到大楼)实现方案指光纤接入部分到楼宇中心机房,楼内网络采用铜线方案,通常根据接入铜线的种类,又可以分为 FTTB+LAN,FTTB+ADSL。FTTB+LAN 指在楼内网络采用以太网标准的局域网接入方案,其接入铜线通常是超 5 类双绞线,FTTB+ADSL 指在楼内网络采用 ADSL 接入方案,接入铜线为 1 类电话线。

#### (4) FTTO

FTTO(Fiber To The Office,光纤到办公室)实现方案指光纤接入部分到办公区域网关,办公区域网内部采用铜线或无线方案的局域网组网方案。

#### (5) FTTH

FTTH(Fiber To The Home,光纤到户)实现方案指仅利用光纤媒质连接核心网和用户住宅(家庭)的接入方式,即引入光纤由单个家庭独享,是俗称的光纤到户接入方案。

由图 3-1 所示的光接入网的应用类型不难看出,FTTH 是目前唯一一种在接入网段全部采用光纤作为传输介质的光接入网解决方案,其优势在于接入网段不再需要电—光—电的信号再生过程,降低了设备开通、管理和维护的复杂度。同时与其他的 FTTx 组网形式相比,FTTH 可以为用户提供更大的独享带宽,为新业务的开展预留了充足的资源。众所周知,评估接入网最为重要的指标就是接入网的接入能力,不仅表现在业务的接入能力上,同时还要满足接入用户数量的能力。故尽管目前光纤接入网的成本仍然太高,但是采用光

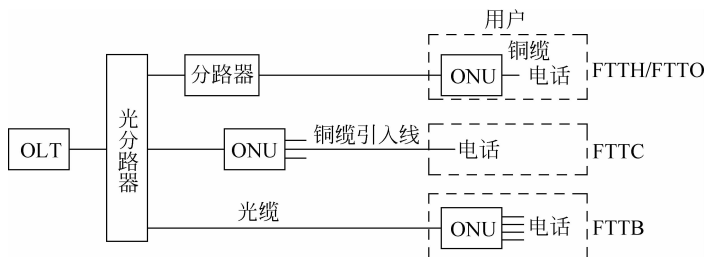


图 3-1 光接入网的应用类型

纤接入网 FTTH 是光接入技术发展的必然趋势,目前各国发展光纤接入网的步骤不相同,但光纤到户 FTTH 是公认的接入网的发展目标。

## 3.2 OAN 光接入网概述

### 3.2.1 光接入网的定义

光接入网(Optical Access Network,OAN),就是指在接入网中采用光纤作为主要传输媒质来实现信息传送的网络形式。接入网中的光区段可以是点到点、点到多点的结构。OAN 可以分为无源光网络(PON)和有源光网络(AON)。

PON(Passive Optical Network)主要采用无源光功率分配器(耦合器)将信息送至各客户端。由于采用了光功率分配器,使功率降低,因此较适合短距离使用;若传输距离较长,或用户较多,可采用光纤放大器(EDFA)来增加功率。PON 系统具有易于扩容和展开业务、组网灵活、设备简单、体积小、安装维护费用较低、初期投资不高等优点,但其对光器件要求较高,且需要较为复杂的多址接入协议。

AON(Active Optical Network)采用有源的电复用器分路,将信息送给用户。其主要优点是传输距离远、传输容量大、用户信息隔离度好、易于扩展带宽、网络规划和运行的灵活性大。不足之处是有源设备成本较高,且需要机房、供电和维护等。

### 3.2.2 光接入网的参考位置

如图 3-2 所示为光接入网的参考配置。

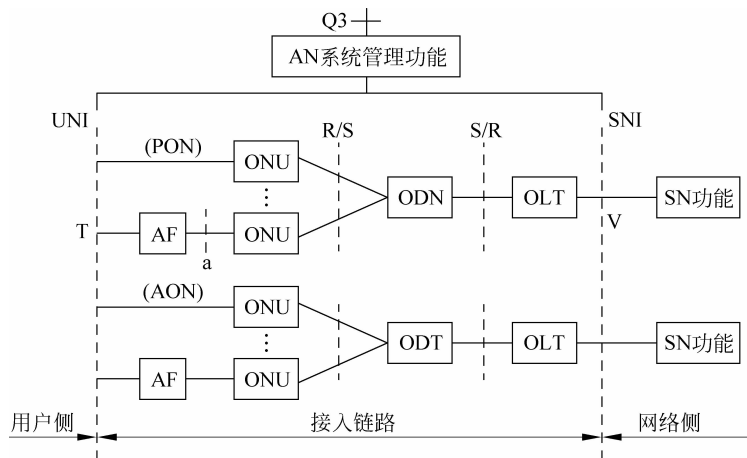


图 3-2 光接入网的参考配置

其中,SNI 为业务节点接口,UNI 为用户网络接口,Q3 为网络管理接口;S 为光发送参考点,与 ONU/OLT 光发送端相邻;R 为光接收参考点,与 ONU/OLT 光接入端相邻;

V 为业务网络接口参考点；T 为用户网络接口参考点；a 为 AF 与 ONU 间的参考点。

由图 3-2 所示的光接入网的参考配置图可知，光接入网一般是一个点到多点的光传输系统，主要由光网络单元(ONU)、光线路终端(OLT)、光配线网络(ODN)/光远程终端(ODT)和适配功能块(AF)等组成。

### 1. 光网络单元

ONU 位于用户和 ODN 之间，实现 OAN 的用户接入，为用户提供通往 ODN 的光接口。ONU 主要由核心部分、业务部分和公共部分组成。核心部分用于处理和分配与 ONU 相关的信息，提供一系列物理光接口与 ODN 相连，并完成光/电和电/光转换。业务部分主要是提供用户端口功能，将用户信息适配为 64Kbps 或  $n \times 64\text{Kbps}$  的形式，并提供信令转换。该部分可为一个或若干个用户提供用户端口。公共部分功能包括供电功能和 OAM 功能。供电功能用于将外部供电电源转变为内部所需的数值。OAM 功能是通过相应的接口实现对所有功能块的运行，管理及维护与上层网络管理的连接。

### 2. 光线路终端

OLT 位于 ODN 与核心网之间，实现核心网与用户间不同的业务的传递功能，它可以区分交换和非交换业务，管理来自 ONU 的信令和监控信息，同一个 OLT 可连接若干个 ODN。OLT 在分配侧提供与 ODN 相连的光口，在网络侧通过标准 SNI 接口连接到业务网络，可设置在本地交换局或远程。

### 3. 光配线网络

ODN 位于 ONU 和 OLT 之间，为多个 ONU 到 OLT 的物理连接提供光传输媒介，完成光信号的传输和功率分配任务。通常 ODN 是由光连接器、光分路器、波分复用器、光衰减器、光滤波器和光纤光缆等无源光器件组成的无源光分配网络。

### 4. 光远程终端

ODT 由光有源设备组成，用在有源光网络中，与 ODN 在网络中的位置、作用一样。

### 5. 适配功能块

AF 为 ONU 和用户设备提供适配功能。它可以包含在 ONU 中内，也可完全独立。

## 3.2.3 光接入网的拓扑结构

根据光纤网络的拓扑结构，宽带光接入技术主要分为点对点 and 点对多点两大类。

### 1. 点对点光接入

点对点光接入指在点对点的光纤网络上实现接入的方式，主要实现技术包括媒质转换器(MC，也可称为光纤收发器)方式和标准化点对点光接入两大类。

#### (1) 媒质转换器

这种方式无统一标准，需要局端设备与用户端设备成对配套使用，可以提供以太网、E1 等多种类型的接口。

#### (2) 标准化点对点

这种方式主要基于光纤以太网，目前 IEEE 和 ITU-T 分别制定了相关标准。

IEEE 802.3 规定的点对点光接入包括两种 100Mbps 速率的接口和两种 1Gbps 速率的接口,具体如下。

- (1) 100Base-LX10: 100Mbps, 双纤双向。
- (2) 100Base-BX10: 100Mbps, 单纤双向。
- (3) 1000Base-LX10: 1Gbps, 双纤双向。
- (4) 1000Base-BX10: 1Gbps, 单纤双向。

这些接口的传输距离均为 10km。标准中还规定了相关的操作、管理和维护功能。

ITU-T 的点对点光接入标准为 G.985 和 G.986。

① G.985 规定了速率为 100Mbps 的点对点光接口,在 IEEE 802.3 中 100Base-FX 的规定的基础上,定义了新的单纤双向的 PMD(Physical Medium Dependent)层,目前仅规定了传输距离为 10km 的光接口。

② G.986 规定了速率为 1Gbps 的点对点光接口,在 IEEE 802.3 1000Base-BX10 的基础上,增强了对 PMD 层的要求,规定了传输距离为 10km、20km 和 30km 的 3 种光接口。标准中还规定了相关的操作、管理和维护功能。

## 2. 点到多点光接入

点到多点光接入指在点到多点的光纤网络上实现多址接入的方案,主要采用无源光网络(PON)技术,包括 APON、BPON、EPON、GPON 等。

点到多点光接入网按照 ODN 连接方式不同,其拓扑结构进一步可分为星型、树型、总线型和环型 4 种基本拓扑结构,光接入网的拓扑结构如图 3-3 所示。

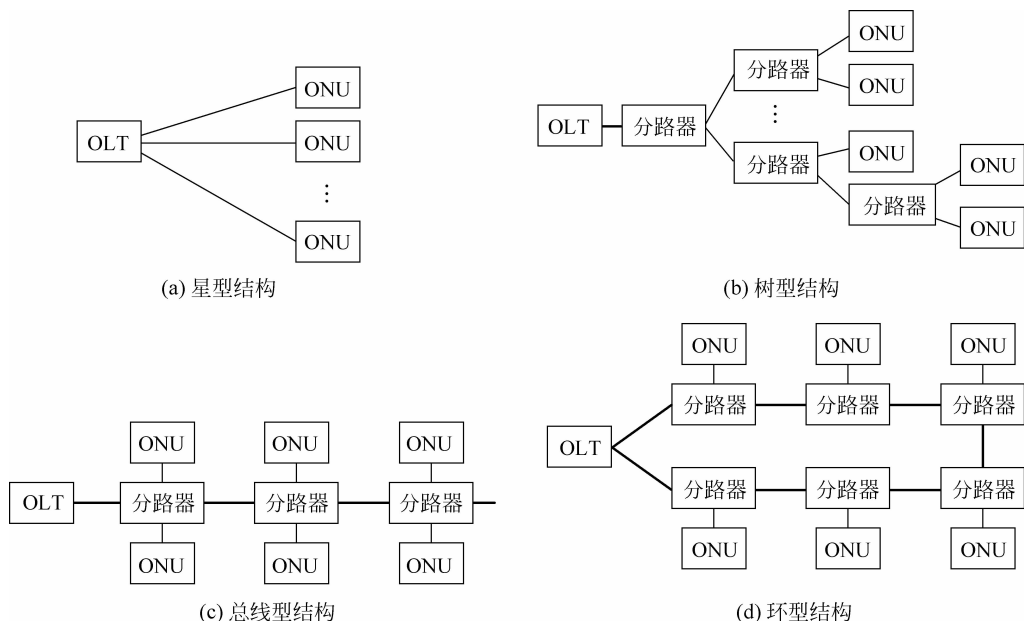


图 3-3 光接入网的拓扑结构

### (1) 星型结构

星型结构是在 ONU 与 OLT 之间实现点到点配置的基本结构,即每个 ONU 经一根或

一对光纤直接与 OLT 相连,中间没有光分路器。由于这种配置不存在光分路器引入的损耗,因此传输距离远大于点到多点配置。用户间互相独立,保密性好,易于升级扩容。缺点是光纤和光设备无法共享,初装成本高,可靠性差。星型结构仅适合大容量用户。

#### (2) 树型结构

树型结构是点到多点配置的基本结构,该结构用一系列级联的光分路器对下行信号进行分路,传给多个用户;同时利用分路器将上行信号结合在一起送给 OLT。

#### (3) 总线型结构

总线型结构也是点到多点配置的基本结构,这种结构利用了一系列串联的非均匀光分路器,从总线上检出 OLT 发送的信号,同时又能将每个 ONU 发送的信号插入光总线送回给 OLT。这种非均匀光分路器在光总线中只引入了少量损耗,且只从光总线中分出少量的光功率。其分路比由最大的 ONU 数量、ONU 所需的最小输入光功率等具体要求确定。这种结构非常适合于街道、公路线状分布的用户环境。

#### (4) 环型结构

环型结构也是点到多点配置的基本结构。这种结构可看作是总线结构的一种特例,是一种闭合的总线结构,其信号传输方式和所用器件与总线型结构差不多。由于每个光分路器可从两个不同的方向通到 OLT,因此其可靠性大大提高。

实际中,选择光接入网的拓扑结构时应考虑多种因素,上述的任何一种结构均不能完全适用于所有的实际情况,光接入网的拓扑结构一般是由几种基本结构组合而成的。

## 3.3 AON 有源光网络接入技术

### 1. AON 有源光网络接入技术简介

有源光网络(AON)由 OLT、ODT、ONU 和光纤传输线路构成。ODT 可以是一个有源复用设备、远端集中器(HUB),也可以是一个环网。一般有源光网络属于一点到多点光通信系统,按其传输体制可分为基于 SDH 的 AON 和基于 PDH 的 AON。有源光网络的局端设备(CE)和远端设备(RE)通过有源光传输设备相连,传输技术是骨干网中已大量采用的 SDH 和 PDH 技术,但以 SDH 技术为主。

### 2. AON 的组网模式

有源光网络通常可以采用星型、环型和树型网络拓扑结构,它将一些网络管理功能和高速复接(分接)功能在远端终端中完成,端局和远端之间通过光纤通信系统传输,然后再从远端将信号分配给用户。

图 3-4 所示为星型拓扑 AON 接入网示意图,图中 OLT 和有源分光器之间为馈线段,有源分光器和 ONU 之间为配线段,ONU 到网络终端(NT)之间为引入线。在配线段中使用的双向光放大器多为掺铒光纤放大器,用于增加光网络的传输距离。在 AON 中,馈线段和配线段多已实现光纤化,而出于成本上的考虑,引入线大部分仍在原来的电话线,例如 ADSL 技术采用三类铜双绞线将数据信号送到用户家庭,完成“最后一公里”的接入。AON 中的 NT 用于适配用户接入设备,而 ODN 可以由有源光设备和器件组成,也可能部

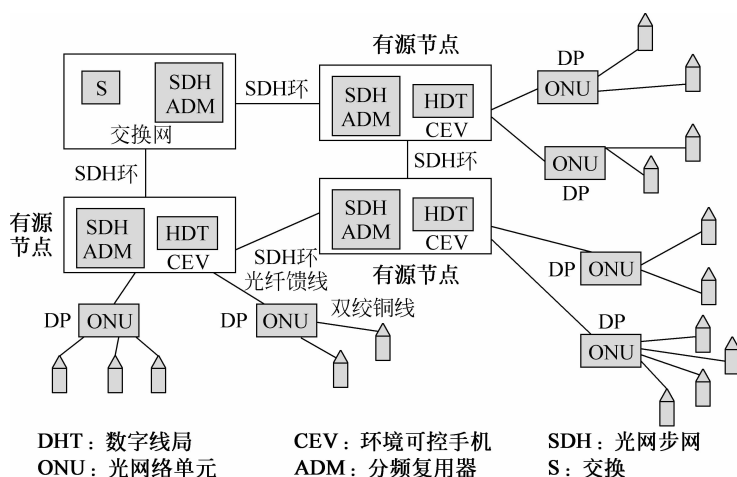


图 3-4 星型拓扑 AON 接入网示意图

分采用无源光器件。

### 3. AON 系统对 SDH 系统的简化

AON 技术的核心是 SDH 技术。SDH 技术是针对传送网形成的一种技术,SDH 的体制、标准、系统及设备等诸多方面都适合核心网。将目前的 SDH 系统应用在接入网中会造成系统复杂,且还会造成极大的浪费,因此必须从技术上对 SDH 系统、SDH 设备进行简化,以适应 AON 对 SDH 的要求,简化方案如下。

#### (1) 简化 SDH 系统

SDH 系统在干线网中,一个 PDH 信号作为支路装入 SDH 时,一般需要经历几次映射和一次(或多次)指针调整才装入 SDH 线路。采用 SDH 的接入网,一般只需经过一次映射且无须进行指针调整。由于接入网比干线简单,故可以简化目前的 SDH 系统,降低成本。

#### (2) 简化 SDH 设备

接入网中需要的 SDH 设备应是小型、低成本、易于安装和维护的。在提高传输效率、更便于组网的前提下,采取简化技术的措施来降低成本。目前,在接入网中的 SDH 已经靠近用户,对低速率接口的需求远远大于对高速率接口的需求,因此,接入网中的新型 SDH 设备应提供 STM-0 子速率接口。

SDH 设备用于接入网中时,通常会省去电源盘、交叉盘和连接盘,简化时钟盘,把两个一发一收的群路盘做成一个两发两收的群路盘,把 2Mbps 支路盘和 2Mbps 接口盘做成一个盘。这样的 SDH 设备可以满足 2B+D 和 30B+D 等业务的需要。

#### (3) 简化网管系统

SDH 的干线网的地域管理范围很宽,它采用管理面积很广的分布式管理和远端管理。接入网需要管理的地域范围比较小,在接入网中的 SDH 网管系统较少采用远端管理,虽然采用分布式管理,但它的管理范围也远远小于干线网。

由于对接入网中的 SDH 硬件系统进行了简化,故网管中对 SDH 设备的配置部分也可以进行简化。虽然接入网和干线网一样有性能管理、故障管理、配置管理、账目管理和安全

管理五大功能,但是干线网中这五大功能的内部规定很全面,而接入网不需要这么全面的管理功能,故接入网不必照搬这些管理功能,可以在每种功能内部进行简化。

#### (4) 设立子速率

SDH 的标准速率为 155.520Mbps、622.080Mbps、2488.310Mbps 和 9953.280Mbps。在接入网中应用时,所需传输数据量比较小,过高的速率很容易造成浪费,因此需要规范低于 STM-1 的速率,便于在接入网中应用,可采用 51.840Mbps 和 7.488Mbps。

#### (5) 其他简化

接入网采用最简单、最便宜的二纤单向通道保护方式来节省开支。各种传输指标要求低于核心网,不能进入环的节点采用点到点传输。

只要解决好以上问题,就可以将用于传输网络的 SDH 系统在接入网中广泛应用起来。

### 4. AON 技术的优缺点

AON 技术的优点如下。

① AON 采用的技术,特别是 PDH、SDH 和 ATM 技术相对成熟(物理层为 PDH 或 SDH,数据链路层为 ATM),标准化程度较高,有很多用于骨干传输网的技术可以借鉴。大容量、配置灵活、设计规划相对简单是其重要特点,因此在广域网和城域网领域 AON 得到广泛应用。

② 由于使用了有源设备,例如中继器、光双向放大器等,OLT 与 ONU 之间的距离可超过 100km,同时 AON 可以接入更多的用户。

但是 AON 的缺点也很突出。

① 设备成本较高。

② 需要解决有源设备的供电问题、设备间租赁问题、电磁干扰问题。

③ 相对无源设备,有源设备的稳定性和可靠性较差,维护和管理费用高。

④ PDH 和 SDH 均为电路交换技术,是上一代电信骨干传输网技术,非常适合话音和传输 E1 类数据传输,用于普通用户登录互联网为主的 IP 分组数据传输显得力不从心。

在光接入网发展的早期,设备标准化程度低,接入用户较为分散,故有源光接入技术 AON 是当时主要的选择。然而如今大规模推进 FTTH 光纤到户的时代,AON 有源光网络所存在的缺陷已制约了其继续发展,而 PON 无源光网络技术的成熟、设备的丰富,加之用户数量的大幅增加,已经使得 AON 有源光网络技术曾经的优势不复存在。故在“城市光网”的建设中,PON 无源光网络技术逐渐取代了 AON 有源光网络技术。

## 3.4 PON 无源光网络接入技术

无源光网络(Passive Optical Network,PON)主要采用无源光功率分配器(耦合器)将信息送至各用户。由于采用了光功率分配器使功率降低,因此较适合于短距离使用,是实现 FTTH 的关键技术之一。

PON 是指 ODN(光配线网)中不含有任何电子器件及电子电源,ODN 全部由光分路器(Splitter)等无源器件组成,无须贵重的有源电子设备的网络。PON 是点到多点的光网,在

源到宿的信号通路上全是无源光器件,如光纤、接头和分光器等,可最大限度地减少光收发信机、中心局终端和光纤的数量。基于单纤 PON 的接入网只需要  $N+1$  收发信机和数千米光纤。一个无源光网络包括一个安装于中心控制站的光线路终端(OLT),以及配套的安装于用户场所的光网络单元(ONUs)。在 OLT 与 ONU 之间的光配线网(ODN)包含了光纤以及无源分光器或者耦合器。

目前最简单的网络拓扑是点到点连接;为减少光纤数量,可在社区附近放置一个远端交换机(或集线器),同时需在中心局与远端交换机之间增加两对光收发信机,并需解决远端交换机供电和备用电源等维护问题,成本很高。因此,以低廉的无源光器件代替有源远端交换机的 PON 技术就应运而生。

PON 上的所有传输是在 OLT 和 ONU 之间进行的。OLT 设在中心局,把光接入网接至城域骨干网。ONU 位于路边或最终用户所在地,提供宽带语音、数据和视频服务。在下行方向(从 OLT 到 ONU),PON 是点到多点网,在上行方向则是多点到点网。

在用户接入网中使用 PON 的优点很多:传输距离长(可超过 20km);中心局和用户环路中的光纤装置可减至最少;带宽可高达吉比特量级;下行方向工作如同一个宽带网,允许作视频广播,利用波长复用既可传 IP 视频,又可传模拟视频;在光分路处不需要安装有源复用器,可使用小型无源分光器作为光缆设备的一部分,安装简便并避免了电力远程供应问题;具有端到端的光透明性,允许升级到更高速率或增加波长。

### 3.4.1 APON 接入技术

在 PON 中采用 ATM 技术,就成为 ATM 无源光网络(ATM-PON, APON)。PON 是实现宽带接入的一种常用网络形式,电信骨干网绝大部分采用 ATM 技术进行传输和交换,显然,无源光网络化的 ATM 是一种自然的做法。APON 将 ATM 的多业务、多比特速率能力和统计复用功能与无源光网络的透明宽带传送能力结合起来,从长远看,这是解决电信接入“瓶颈”的较佳方案。APON 实现用户与 4 个主要类型业务节点之一的连接,即 PSTN/ISDN 窄带业务、B-ISDN 宽带业务、非 ATM 业务(数字视频付费业务)和 Internet 的 IP 业务。

#### 1. APON 系统结构及工作过程

PON 为多个用户提供廉价的共享传输介质;ATM 技术为从低速到高速的各种多媒体业务提供可靠且透明的接口。APON 将两者的特点结合起来,显示了它在各种光纤接入技术中的优势。APON 系统结构如图 3-5 所示。

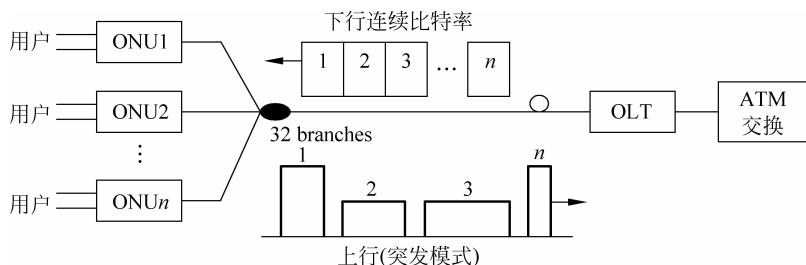


图 3-5 APON 系统结构

APON 主传输介质 PON 采用无源双星拓扑,分路比为 1:32。从 OLT 往 ONU 传送下行信号时采用 TDM 技术;ONU 传送到 OLT 的上行信号采用 TDMA 技术。在上行和下行信号传输时,ATM 信元均被组装在一个 APON 包中。通过给每个包加入 8 个开销比特,提供同步及其他与网络传输相关的功能。APON 系统所采用的双向传输方式主要有两种:其一,单向双纤的空分复用方式,即使用两根光纤,一根光纤传输上行信号,另一根光纤传输下行信号,工作波长限定在 1310nm 区;其二,单纤粗波分复用方式,即采用单根光纤,异波长双工,上下行波长分别工作在 1310nm 和 1550nm 区。在 1310/1550nm 的 WDM 器件和 1310nm 波长段的激光器价格逐渐下降的情况下,采用后者是可行的方案。

APON 系统可以采用光纤到 ONU,再采用短的铜缆到用户以代替传统的用户环路,当用户需要时能方便地升级为 FTTH;APON 系统也可以将 ONU 直接安放在用户处,即 FTTH。

以下对 APON 系统中的主要设备进行介绍。

#### (1) 光线路终端。

APON 的 OLT 通过 Vb5 接口与外部网络连接(为了能够与现存的各类交换机实现互联,系统也具有向外部网络提供现存窄带接口的能力,如 V5 接口等)。OLT 和 ONU 通过 ODN 在业务网络接口(SNI)和用户网络接口(UNI)之间提供透明的 ATM 传输业务。OLT 功能块如图 3-6 所示。

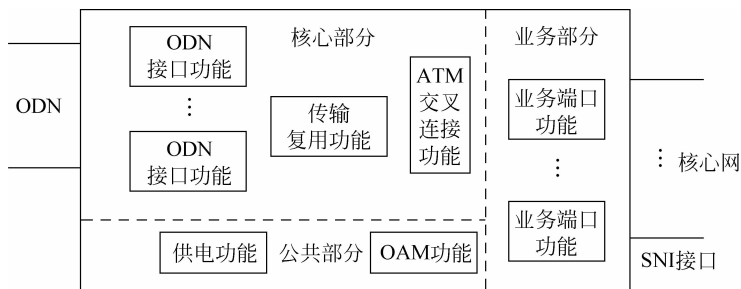


图 3-6 OLT 功能块

业务接口功能实现系统不同类型的业务节点接入,如 PSTN、ATM 交换机、VOD 服务器及 Internet 服务器等。可将 ATM 信元插入上行的 SDH 净荷区,也可从下行的 SDH 净荷区中提取 ATM 信元。

ATM 交叉连接功能是一个无阻塞的 ATM 信元交换模块,主要实现多个信道的交换、信元的路由、信元的复制及错误信元的丢弃等功能。

ODN 接口功能是为 ODN 的每个接口模块驱动一个 PON,接口模块数的多少由所支持用户数的多少来确定。ODN 的主要功能有:和 ONU 一起实现测距功能,并且将测得的定距数据存储,以便在电源或者光中断后重新启动 ONU 时恢复正常工作;从电到光变换下行帧;从光到电变换上行帧;从突发的上行光信号数据中恢复时钟;提取上行帧中的 ATM 信元和插入 ATM 信元至下行帧;给用户信息提供一定的加密保护;通过 MAC 协议给用户动态地分配带宽。

OAM 模块和供电模块 OAM 模块对 OLT 的所有功能块提供操作、管理和维护手段,如配置管理、故障管理、性能管理等;也提供标准接口(Q3 接口)与 TMN 相连。