

第 3 章介绍了构成光纤通信系统的功能模块的结构、工作原理和特点,包括光纤通信系统的传输媒介——光纤和光缆,光纤上用来携带传输信息的“运输车”——光信号,用于发射光信号的光源和光发送机,用于接收光信号的光检测器和光接收机,在传输线路中对光信号进行中继放大的光电中继器和光放大器,以及光纤通信系统中不可缺少的“黏结剂”——光无源器件等。

构建了“硬件”通道之后,还需要有“软件”规定来处理、约束携带信息的光信号,使其适合在光纤通信系统中快速、有效、准确地将信息从信源发送到信宿,即需要有一定的信号处理方法、传输体制和网络协议等。本章将首先介绍数字通信的基础——脉冲编码(PCM)、线路编码和复用技术,然后重点介绍光纤通信系统中的同步数字传输体制(SDH)、光波分复用技术(WDM)等,最后对当前光纤通信的一些新技术做简单介绍。

5.1 光纤通信的实现基础——数字信号处理

目前的光纤通信系统多为数字通信系统,而通信网络中大量的用户初始信息是模拟量,如语音、文本、图像等。因此首先要对初始信息进行模/数转换,形成数字信号以后才能在光纤通信系统中进行传输以及在通信网中完成交换和复用等处理。

5.1.1 脉冲编码——将模拟信号变为数字信号

模拟信号数字化最常用的方法就是脉冲编码调制(PCM),这也是光纤传输模拟信号的基础。图 5.1 给出了一个典型的采用 PCM 的基带数字光纤通信系统结构示例。

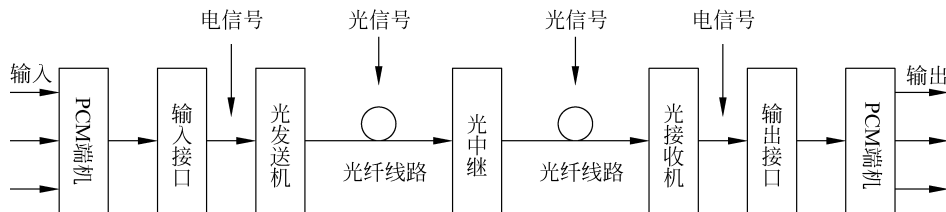


图 5.1 数字基带光纤通信系统组成示例

PCM 包括抽样、量化、编码三个步骤。

(1) 抽样

要想实现模拟/数字(A/D)变换,首先要进行抽样。抽样是以固定的时间间隔 T 取出模拟信号的瞬时幅度值的过程,如图 5.2(a)和(b)所示,抽样之后,时间上连续的信号变成了时间上离散的信号。但这种抽样信号在幅度取值上仍是连续的,称为脉冲幅度调制(PAM)信号,仍属于模拟信号。

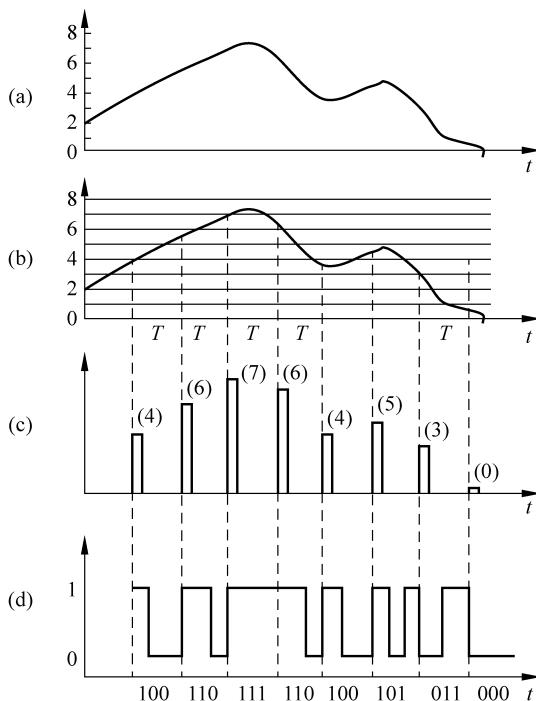


图 5.2 PCM 编码过程

(2) 量化

PAM 信号的样值在一定的取值范围内,可有无限多个值,无法进行数字码变换。为了实现以数字码表示样值,必须采用“四舍五入”的方法把样值分级“取整”,使一定取值范围内的样值由无限多个值变为有限个值,这一过程称为量化,如图 5.2(c)所示。量化后的信号与抽样信号的差值称为量化误差,量化误差在接收端还原模拟信号时表现为噪声,称为量化噪声。量化级数越多误差越小,相应的二进制码位数越多,要求传输速率越高,频带越宽。

(3) 编码

将量化后的抽样信号变换成给定字长的二进制码流的过程称为编码。当量化后抽样信号被划分为 N 个不同的电平幅度时,每一个样值信号需要用 $n = \log_2 N$ 个二进制码元来表示。如图 5.2(c)和(d)所示,量化后的抽样信号划分为 8 种电平幅度(0~7),即 $N=8$,所以每一样值需要用 $n=3$ 个码元来表示。编码后用二进制码表示的脉冲信号,称为 PCM 信号。

一般语音信号的频率范围为 300~3400Hz,取上限频率为 4kHz,按照奈奎斯特抽样定律,抽样频率为 8kHz,即每秒抽样 8000 次,抽样时间间隔 $T=1/8000=125\mu\text{s}$ 。若采用 8 位编码,即每个量化样值对应一个 8 位二进制码,则一路语音信号经过 PCM 处理后的数字信

号速率为 $8\text{b} \times 8\text{kHz} = 64\text{kb/s}$ 。如果将 32 路语音信号按照时分复用(TDM)的方法组合为一个基群,则基群的传输速率为 $8\text{b} \times 32 \times 8\text{kHz} = 2.048\text{Mb/s}$,这一速率就是我国 PCM 通信制式的基础速率。

5.1.2 线路编码——减少误码方便时钟提取

光纤通信系统中,发送端 PCM 端机输出的码型为双极性码,即有“+1”、“-1”、“0”三种电平状态,因此需要在光发送机的输入接口中将其变成适合光纤线路中传输的单极性码。输入接口电路将不同业务信号转换为单极性普通二进制信号后,有可能产生长连“1”或长连“0”的二进制码流,一般不能直接发送到光发送电路进行光驱动,而是要进行线路编码。线路编码的目的是尽量使“1”码和“0”码均匀排列,这样既有利于时钟提取,也不会产生因连“0”信号幅度下降过大使判决产生误码的情况,同时也可以插入冗余信息以便进行检错和纠错。

光纤通信中常用的线路码型有扰码、字变换码和插入码等。

(1) 扰码

扰码是将输入的普通二进制 NRZ 码按照特定的扰码规则进行打乱的处理方法。扰码的实现机制是在输入接口电路之后,在进行调制之前加入一个扰码器,将原始的码序加以变换,使其接近于随机序列后再进行调制和传输。选取适宜的扰码序列可以有效地改变码流中的“1”码和“0”码的分布,从而改善码流的特性。扰码的主要缺点是不能完全控制长连“1”和长连“0”序列的出现。此外,扰码未在原始码流中加入冗余信息,难以实现不中断业务的误码检测,因而扰码在准同步数字体系(PDH)中较少单独使用。扰码的优点是不增加额外的码流,因此不改变光接口的速率,对于多厂家设备互通兼容具有优势。在目前的 SDH 光纤通信系统中基本上都采用的是扰码。

(2) 字变换码

字变换码是将输入二进制码分成一个个“码字”,输出用对应的另一种“码字”来代替。常用字变换码为 $mBnB$ 码,即将输入码流每 m 比特分为一组,然后变换成另一种排列规则的 n 比特为一组的码流。字变换码中的 n 、 m 均为正整数,且 $n > m$,于是引进了一定的冗余信息,可以进行检错和纠错。一般而言, $mBnB$ 码中“1”码和“0”码的分布概率相等,连“1”和连“0”数目较少,定时信息丰富。

(3) 插入码

插入码是把输入二进制原始码流分成每 m 比特(mB)一组,然后在每组 mB 码末尾按一定的规律插入一个码,组成 $(m+1)$ 个码为一组的线路码流。根据插入码的规律,可以分为 $mB1C$ 码, $mB1H$ 码和 $mB1P$ 码等。

5.1.3 信道复用——提高信道容量和光纤利用率

前文讲过,一路语音信号经过 PCM 处理后的数字信号速率为 64kbit/s ,对于具有 THz 量级带宽的光纤通信系统而言,仅由语音信号这样的低速率业务占据整个信道带宽是非常浪费的。因此需要引入信道复用技术,将若干路信号按照一定规则组合成高速率信号后进行传输,或者把多个低容量信道复用到一个大容量传输信道进行传输,从而提高光纤信道容量和光纤的利用率。

光纤通信系统的复用技术主要包括空分复用(SDM)、时分复用(TDM)、频分复用(FDM)、波分复用(WDM)、码分复用(CDM)等。

(1) 空分复用

空分复用即光纤并列传送,虽然设计简单、实用,但必须按照信号复用的路数配置所需要的光纤传输芯数。

(2) 时分复用

包括电域的时分复用 TDM 和光域的时分复用 OTDM,时分复用是将提供给整个信道传输信息的时间划分成若干时隙,并将这些时隙分配给每一个信号源使用,每一路信号在自己的时隙内独占信道进行数据传输。时分复用技术的应用非常广泛,如 PDH、SDH、ATM 等都是基于 TDM 的传输技术。其缺点是当某信号源没有数据传输时,它所对应的信道会出现空闲,而其他繁忙的信道无法占用这个空闲的信道,因此会降低线路的利用率。

(3) 频分复用

频分复用是将用于传输信道的总带宽划分成若干个子频带(或称子信道),每一个子信道传输一路信号。频分复用要求总频率宽度大于各个子信道频率之和,同时为了保证各子信道中所传输的信号互不干扰,应在各子信道之间设立隔离带,这样就保证了各路信号互不干扰。频分复用技术除传统意义上的频分复用(FDM)外,还有一种是正交频分复用(OFDM)。

(4) 波分复用

其本质上是频分复用,因为在光通信领域,人们习惯按波长而不是按频率来命名。波分复用是在一根光纤上承载多个波长(信道)的系统,将一根光纤转换为多条“虚拟”光纤,每条“虚拟”光纤独立工作在不同波长上,这样极大地提高了光纤的传输容量。由于波分复用系统技术的经济性与有效性,使之成为当前光纤通信网络扩容的主要手段。

(5) 码分复用

码分复用是靠不同的编码来区分各路原始信号的一种复用方式,主要和各种多址技术结合产生各种接入技术。

图 5.3 给出了光纤通信系统利用的各种复用技术的示意图。图 5.4 举例给出了 SDM、TDM、WDM 的复用示意图。

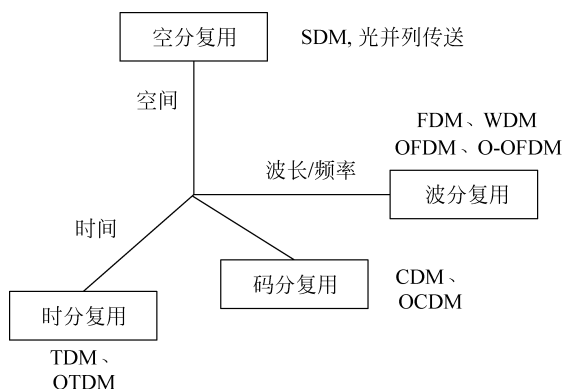


图 5.3 光纤通信系统利用的各种复用技术

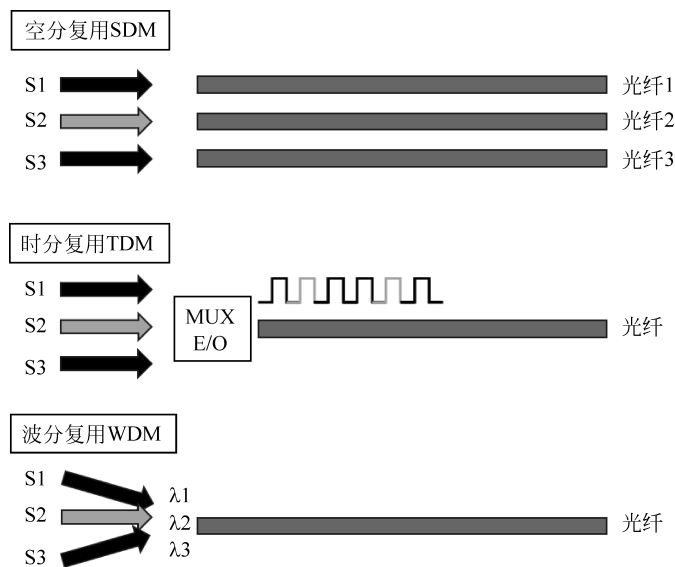


图 5.4 SDM、TDM、WDM 的示意图

5.2 时分复用系统——PDH 与 SDH

在数字通信系统中,传送的信号都是数字化的脉冲序列。这些数字信号流在数字交换设备之间传输时,其速率必须完全保持一致,才能保证信息传送的准确无误,这就叫作“同步”。在光纤数字传输系统中,有两种数字传输体制,一种叫作“准同步数字体系”(Plesiochronous Digital Hierarchy, PDH); 另一种叫作“同步数字体系”(Synchronous Digital Hierarchy, SDH)。PDH 和 SDH 是光纤通信系统中最典型的电时分复用(TDM)技术的应用。

1. 时分复用的工作原理

时分复用(TDM)是采用交错排列多路低速信道到一个高速信道上进行传输的技术。时分复用系统的输入可以是模拟信号,也可以是数字信号,目前光纤通信基本上是数字通信,我们要讨论的 PDH 和 SDH 也是数字信号时分复用。

前文提到,对语音信号进行脉冲编码调制(PCM)时,抽样周期为 $125\mu\text{s}$,即一路数字语音信号的占用时间为 $125\mu\text{s}$ 。为了实现 TDM 传输,在原始一路信号的传输时间内复用传输多路信号,要把总的传输时间按帧划分,每帧为 $125\mu\text{s}$,把每帧又分成若干个时隙,在每个时隙内传输一路信号的 1B(8b),当复用的多路信号都传输完 1B 后就构成 1 帧,然后再从头开始传输每一路信号的另一个字节,构成另一帧。也就是说,它将若干个原始的脉冲调制信号在时间上进行交错排列,从而形成一个复合脉冲串。该脉冲串经光纤信道传输后到达接收端,通过一个与发送端同步的类似于旋转式开关的器件,完成 TDM 多路信号的分离。

2. 准同步数字体系(PDH)

前文提到,一路语音信号经过 PCM 处理后的数字信号速率为 $8\text{b} \times 8\text{kHz} = 64\text{kb/s}$,占用时间为 $125\mu\text{s}$ 。如果将 32 路语音信号按照时分复用(TDM)的方法组合为一个基群,则基群的传输速率为 $8\text{b} \times 32 \times 8\text{kHz} = 2.048\text{Mbit/s}$ 。如果将若干个基群继续按照 TDM 方式组

合为二次群,可以得到更高的传输速率。

准同步数字体系(PDH)就是以 PCM 为基础,采用 TDM 方式的逐级复用和解复用的方式。PDH 主要有两个系列标准: E1,即 PCM30/32 路系统,基群速率为 2.048Mb/s,我国和欧洲采用此标准; T1,即 PCM24 路系统,基群速率为 1.544Mb/s,北美和日本采用此标准。下面将以我国采用的 PCM30/32 路系统为例介绍。

(1) 复用原理

PDH 体系中最基础的信号为传输速率为 2.048Mb/s 的基群信号,为了进一步提高传输容量,可以把若干个 2.048Mb/s 的信息流复用成更高速率的信息流,如图 5.5 所示。PDH 体系中,一般将 4 个低等级的信息流(支路),通过字节间插复用的方式复用成 1 个更高等级的信息流(群路或线路)。

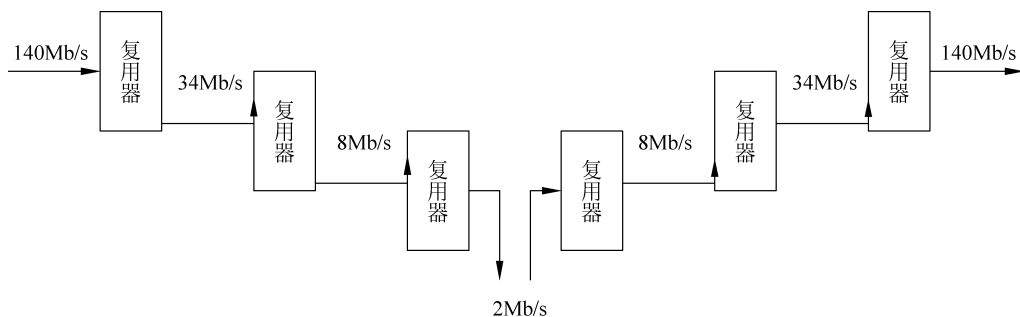


图 5.5 PDH 复用方式

采用准同步数字系列(PDH)的系统,是在数字通信网的每个节点上都分别设置高精度的时钟,这些时钟的信号都具有统一的标准速率。尽管每个时钟的精度都很高,但总还是有一些微小的差别,因此称为“准同步”。PDH 体系中虽然规定了复用过程中各个支路的标称速率,但是由于不同的支路信号的参考时钟信号可能不一致,因此即使是同一个速率等级的 PDH 信号,其瞬时速率可能还会存在偏差。这样就导致进行复用时,各等级的速率信号相对其标称速率存在一定的偏差,因此这种信号称为“准同步信号”。

由于 PDH 为准同步体系,同一个速率等级中信号的瞬时速率可能存在偏差,为了解决这一问题,PDH 体系通过插入控制位来进行码速调整,即在不同的等级间进行复用和解复用,首先进行瞬时速率调整,插入和去除冗余比特后再进行复用和解复用。这种方式难以从高速信号中识别和提取低速支路信号,需要将整个高速线路信号一步步解复用到所要取出的低速线路信号,进行上下业务后,再一步步复用到高速线路信号进行传输。

例如,从 140Mb/s 码流中分出一个 2Mb/s 的低速支路信号,如图 5.5 所示,需要经过 140Mb/s 到 34Mb/s、34Mb/s 到 8Mb/s、8Mb/s 到 2Mb/s 这三次解复用,提取出低速支路信号后,再经过相反的三次复用过程,复用到 140Mb/s 来进行传输。因此上下业务比较复杂,费用较高,缺乏灵活性。

(2) PDH 的特点

① 由于 PDH 体制中包括了不同的地区标准(欧洲、北美和日本的速率标准不同),对于国际间互联互通非常不便。

② PDH 体制没有世界性的标准光接口规范,各个厂家自行开发的专用光接口互不兼

容,限制了联网的灵活性,也增加了运营成本。

③ PDH 是建立在点对点传输基础上的复用结构,缺乏网络拓扑的灵活性。

④ 由于 PDH 为准同步体系,在 PDH 系统的任一节点上,即使只需要分出或者加入个别支路,也需要配置全套复杂的复用和解复用设备,上下业务困难,非常不灵活。

3. 同步数字体系(SDH)

(1) SDH 的提出

SDH 的概念最初于 1985 年由美国贝尔通信研究所提出,称为同步光网络(SONET)。国际电信联盟标准部(ITU-T)的前身国际电报电话咨询委员会(CCITT)于 1988 年接受 SONET 概念,并与美国标准协会(ANSI)达成协议,将 SONET 修改后重新命名为同步数字体系(SDH)。SDH 涉及比特率、网络节点接口、复用结构、复用设备、网络管理、线路系统、光接口、信息模型、网络结构等一系列标准,是适应于光纤、微波、卫星传送的通用数字通信技术体制。SDH 是为克服 PDH 的缺点而产生的,是先有目标再定规范,然后研制设备,因此最大限度地以最理想的方式,定义符合未来电信网要求的系统和设备,得到了世界范围内的广泛应用。

(2) SDH 的传输过程

形象地解释,在 SDH 网中,SDH 的信号实际上起着运送货物的货车的功能,它将各种不同体制的业务信号(如 PDH 信号)像货物一样打包成大小不同(速率级别不同)的包(信息包),然后装入货车(同步传送模块 STM-N 帧)中,在 SDH 的主干道(光纤)上传输。中途节点可以解包装卸其中某个货物包(分插 PDH 信号),在接收端从货车上卸下打成包的货物(其他体制的信号),然后拆包出原体制的信号。

SDH 是一种最典型的电时分复用(TMD)应用。在 SDH 传输网中,信息传输采用标准化的模块结构,即“货车”同步传送模块 STM-N($N=1, 4, 16$ 和 64),其中最基本的模块为 STM-1。高等级的 STM-N 信号是将基本模块 STM-1 以字节交错间插的方式进行同步复用的结果,其速率是 STM-1 的 N 倍。

(3) SDH 的帧结构——“货车”的容量和装货方式

STM-N 的帧结构是块状的,如图 5.6 所示。每帧由纵向 9 行和横向 $270 \times N$ 列字节组成,每个字节含 8b,因而全帧由 $2430 \times N$ 个字节组成,帧重复周期仍为 $125\mu\text{s}$ 。字节传输由图中左上角第 1 个字节开始,从左到右、从上到下排成串行码流依次顺序传送,直至该帧字节全部传送完为止,然后再转入下一帧,一帧一帧地传送。因此,对于 STM-1 而言,每秒传输速率为 $8\text{b} \times (9 \times 270 \times 1) / 125\mu\text{s} = 155.52\text{Mb/s}$; STM-4 的传输速率为 $4 \times 155.52 = 622.08\text{Mb/s}$; STM-16 的传输速率为 $16 \times 155.52 = 2488.32\text{Mb/s}$ 。

整个帧结构分成段开销(SOH)区、STM-N 净负荷区和管理单元指针(AU PTR)区三个区域。其中段开销(SOH)区域指 STM 帧结构中为了保证信息净负荷正常灵活传送所必需的附加字节,主要是供网络运行、管理和维护使用的字节;STM-N 净负荷区用于存放真正用于信息业务的比特和少量的用于通道维护管理的通道开销字节;管理单元指针用来指示净负荷区内的信息首字节在 STM-N 帧内的准确位置,以便接收时能正确分离净负荷。

(4) SDH 的复用过程

SDH 的复用就是将“货物”打包装入“货车”的过程。SDH 的复用包括两种情况,一种是低阶的 SDH 信号复用成高阶的 SDH 信号(STM-1 复用成 STM-N);另一种是低速支路

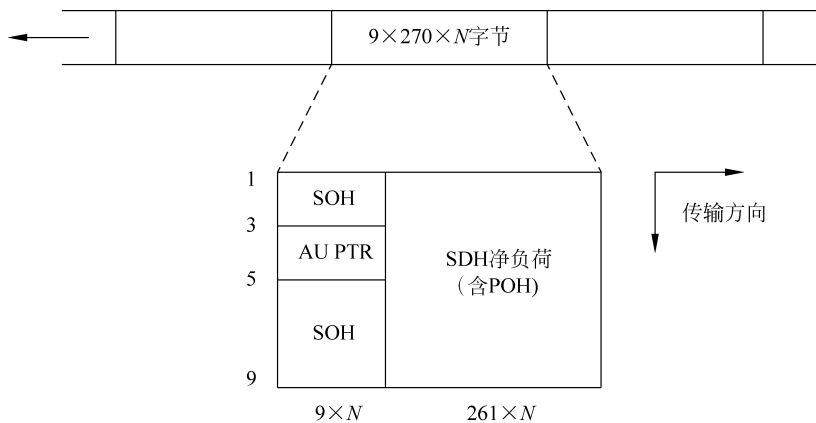


图 5.6 STM-N 帧结构

信号(例如 2Mb/s、34Mb/s、140Mb/s)复用成 SDH 信号 STM-N。

① STM-1 信号复用成 STM-N 信号。主要通过字节间插的同步复用方式来完成,复用的基数为 4,即 $4 \times \text{STM-1} \rightarrow \text{STM-4}$, $4 \times \text{STM-4} \rightarrow \text{STM-16}$ 。在复用过程中保持帧周期 $125\mu\text{s}$ 不变,则高一级的 STM-N 信号是低一级信号速率的 4 倍。

② PDH 支路信号复用成 SDH 信号 STM-N。ITU-T 规定了一套完整的复用映射结构,如图 5.7 所示,通过这些路线可以将 PDH 信号以多种方法复用成 STM-N 信号。

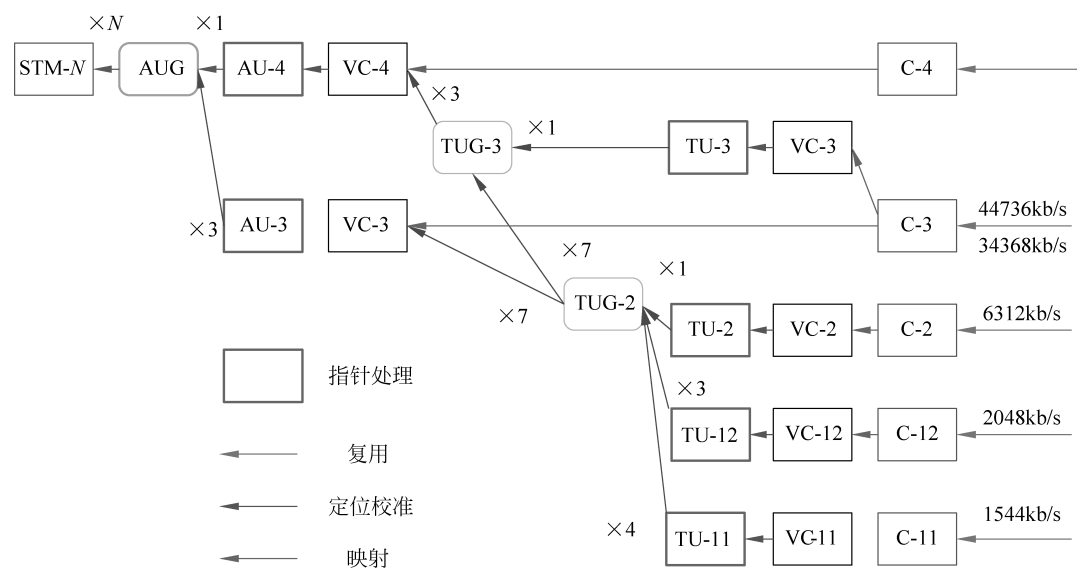


图 5.7 ITU-T 规定的 SDH 复用结构示意图

各种业务信号要进入 SDH 帧都要经过映射、定位和复用三个步骤。

映射相当于一个对信号打包的过程,它将各种速率的信号先经过码速调整装入相应的标准容器(C)中,再加入通道开销(POH)形成虚容器(VC),这一过程就是映射。例如对于各路来的 2Mb/s 的信号,由于各路的时钟精度不同,有的可能是 2.0481Mb/s,有的可能是 2.0482Mb/s,都将在容器 C 中做容差调整,适配成速率一致的标准信号。

定位即加入调整指针,用来校正支路信号频差和实现相位对准,将帧偏移信息收进支路单元(TU)或管理单元(AU)的过程。

复用的概念比较简单,复用是一种使多个低阶通道层的信号适配进高阶通道层,或把多个高阶通道层信号适配进复用层的过程。复用也就是通过字节交错间插方式把 TU 组织进高阶 VC 或把 AU 组织进 STM-N 的过程,由于经过 TU 和 AU 指针处理后的各 VC 支路信号已相位同步,因此该复用过程是同步复用。

(5) SDH 特点

SDH 使北美、欧洲、和日本的三个地区性的标准在 STM-1 及其以上等级获得了统一。数字信号在跨越国界通信时不再需要转换成另一种标准,因此第一次真正实现了数字传输体制上的世界性标准。

SDH 统一的标准光接口能够在光缆段上实现横向兼容,允许不同厂家的设备在光路上互通,满足多厂家环境的要求。

SDH 采用同步复用方式和灵活的复用映射结构。各种不同等级的码流在帧结构净负荷内的排列是有规律的,而净负荷与网络是同步的,因而只需利用软件即可使高速信号一次直接分插出低速支路信号,即一步解复用。

SDH 的帧结构中安排了丰富的开销比特,这些开销比特大约占了整个信号的 5%,可利用软件对开销比特进行处理,因而使网络的运行、管理和维护能力都大大加强。

SDH 网与现有网络能够完全兼容,即 SDH 兼容现有的 PDH 的各种速率,使 SDH 可以支持已经建立起来的 PDH 网络。同时 SDH 网还能容纳 ATM、Ethernet 等各种业务信号,也就是说,SDH 具有完全的后向兼容性和前向兼容性。

5.3 波分复用系统——WDM

前文讨论的 SDH 和 PDH,是以单波长系统为研究对象的,采用了时分复用(TDM)方式来提高传输速率,如 PDH 体系的 34Mb/s、140Mb/s 系统,SDH 体系的 155Mb/s、622Mb/s、2.5Gb/s 乃至 10Gb/s 系统等。但是,由于受到电子迁移速率的限制,TDM 的 10Gb/s 系统面临着电子元器件极限的挑战,并且随着传输速率的提高,光纤色散的影响也越加严重。

不同波长的光彼此之间可以无影响地独立传输信息,因此在同一根光纤上可以有多个信道,每个信道有不同的光载波波长。于是,人们就想出了用一根光纤同时传送多个波长信道的方法来提高传输容量,这就是波分复用(WDM)技术。20 世纪 90 年代中后期,由于光电器件的迅速发展,例如掺铒光纤放大器(EDFA)的商用,WDM 技术得到了快速发展。从技术和经济的角度,WDM 技术是目前最经济可行的扩容技术手段。

1. WDM 的相关定义

在点到点的光纤链路中,一条光纤线路的发送端有一个光源,在接收端有一个光电检测器。光源的谱线宽度很窄,例如一个动态单纵模激光器的谱线宽度一般为 0.2~0.6nm,而单模光纤的带宽很宽,在光纤的两个低损耗传输窗口 1310nm 和 1550nm 区域的可用谱宽约为 200nm。因此单波长光纤通信系统对光纤带宽的利用率很低,通过采用 WDM 技术可以扩大传输容量。

WDM 系统通过在发送端将不同波长的光信号组合起来(复用),并耦合到光缆线路上的同一根光纤中进行传输,在接收端又将组合波长的光信号分开(解复用),恢复出原先的不同波长光信号,并送入不同的终端进行接收。图 5.8 给出了单波长系统和波分复用系统的对比示意图。

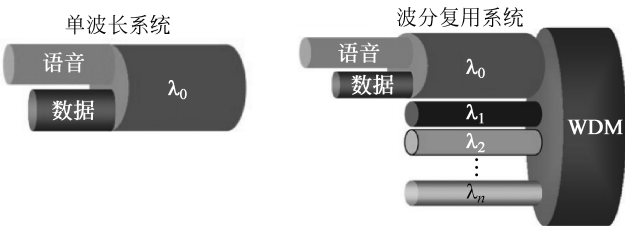


图 5.8 单波长系统和波分复用系统

2. WDM 的复用方式

WDM 主要有三种复用方式: 1310nm 和 1550nm 波长的波分复用、稀疏波分复用(CWDM)和密集波分复用(DWDM)。

① 1310nm 和 1550nm 波长的波分复用技术,是早期的波分复用,主要用于采用单纤双向传输方式的光纤接入网中,在上、下行方向采用不同的波长。

② 稀疏波分复用(CWDM)是指相邻波长间隔较大的 WDM 技术,相邻信道的间隔一般大于等于 20nm,波长数目一般为 4 波或 8 波。

③ 密集波分复用(DWDM)是指相邻波长间隔较小的 WDM 技术,相邻信道的间隔为 0.4~1.2nm,工作波长位于 1550nm 窗口。可以在一个光纤上承载 8~160 个波长,主要用于长距离传输系统,是目前 WDM 系统的主要使用形式。

3. WDM 系统的组成

图 5.9 给出了一个典型单向 WDM 系统总体结构图。其中光发送机是 WDM 系统的核心,它汇集多个不同终端系统(如 PDH 和 SDH 的光发送机)输出的光信号,利用光转发器将光信号转换成符合 WDM 系统标准波长的光信号,使用合波器合成多通路光信号,通过光功率放大器放大后注入传输光纤中。

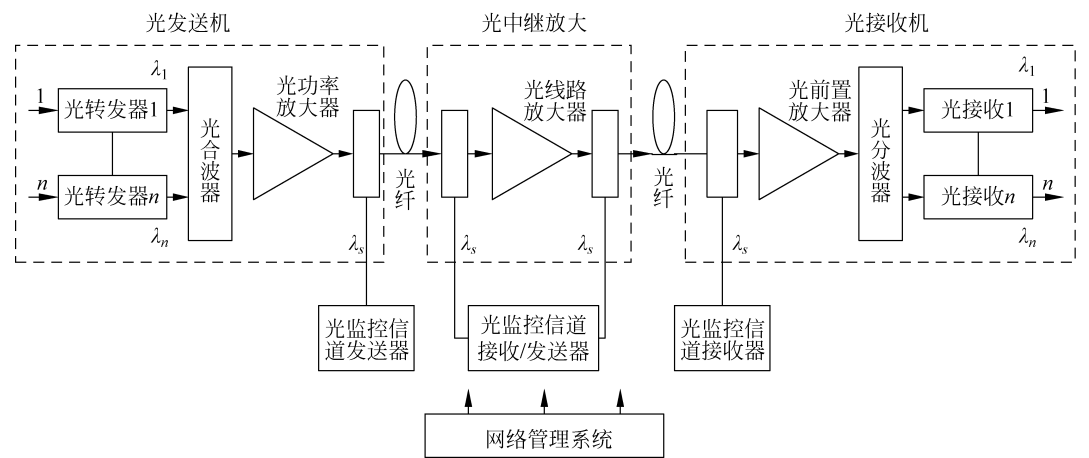


图 5.9 典型单向 WDM 系统总体结构图

WDM 可以承载 SDH 业务、IP 业务、ATM 业务等,它将不同波长的业务信号组合起来传输,传输后将组合信号再分解开来,送入不同的通信终端,相当于在一根物理光纤上提供多个虚拟的光纤通道,大大节约了长途光纤资源。

5.4 光网络

5.4.1 光纤通信网络简介

一个光纤通信系统通常由三大块构成:光发送机、传输光纤和光接收机。由光纤链路构成的光通路将光发送机和光接收机连接起来后,就形成了一条点对点的光连接,而这种光纤链路可将一个或多个网络节点相互连接起来,最终构成光纤通信网。与点对点的光纤通信系统不同,光纤通信网络能将分散在不同地点的各种终端设备连接起来,实现终端之间、终端与中心节点之间的信息交换,提供语音、数据、图像等各种传输业务。

光纤通信网是使用光纤作为传输媒介的通信网,是通信网络的一种组成形式。通信网络已经发展成为覆盖全球的规模非常大的网络,按照不同的分类方法或者不同的应用场合,有很多专有的名称。

1. 核心网、城域网和接入网

按照覆盖范围划分,通信网络可以分为公共网络 and 用户网络(也称为用户驻地网)两部分。用户驻地网(CPN)一般是指在楼宇内或小区范围内,属于用户自己建设的网络,是提供各类通信网络和业务的基础。电信网是公共网络中最重要的部分,根据网络规模和业务等可分为核心骨干网、城域网和接入网三部分,其中接入网是各类用户与公共网络进行通信,实现用户和网络业务互通的最重要的网络组成部分,如图 5.10 所示。在网络中采用光纤作为主要传输媒质来实现信息传送的通信网络,对应的可分为光核心网、光城域网和光接入网(OAN)。

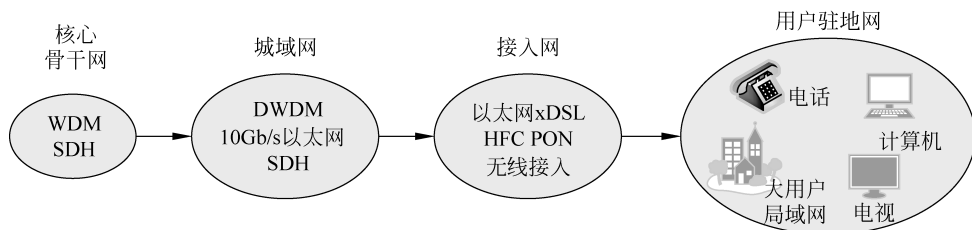


图 5.10 通信网络模型

2. 全光网络和光传送网

按照通信网络的发展历史以及通信中使用的传输媒介,通信网络包括电网络、光电混合网、全光网络、光传送网等。

(1) 电网络

电网络采用电缆将网络节点互连在一起,网络节点采用电子交换节点,是 20 世纪 80 年代以前广泛使用的网络。承载电信号的信道有同轴电缆和对称电缆,是一种损耗较大、带宽较窄的传输信道,主要采用频分复用(FDM)方式来提高传输容量。由于电网络完全是在电领域完成信息的传输、交换、存储和处理等功能,因此,受到了电器件本身的物理极限的

限制。

(2) 光电混合网

光电混合网在网络节点之间用光纤代替了传统的电缆,实现了节点之间的全光化,这是目前广泛采用的通信网络,主要采用时分复用(TDM)方式来挖掘光纤的带宽资源。

(3) 全光网络

全光网络(AON)是指信号以光的形式穿过整个网络,直接在光域内进行信号的传输、再生、光交叉连接、分插复用和交换等,中间不需要经过光电、电光转换,因此将不受检测器、调制器等光电器件响应速度的限制。但是全光网络的一些关键技术(如光缓存、光定时再生等)尚不成熟,是光通信网络的发展目标。

(4) 光传送网

光传送网(OTN)是在目前全光组网的一些关键技术还不成熟的背景下,基于现有光电技术折中提出的传送网组网技术。光传送网在子网内部进行全光处理,而在子网边界进行光电混合处理,可认为现在的 OTN 阶段是全光网络的过渡阶段。光传送网是在 SDH 传送网和 WDM 光纤通信系统的基础上发展起来的,将 SDH 的可运营和可管理的能力应用到 WDM 系统中,同时具备了 SDH 和 WDM 的优势。

3. 自动交换光网络和分组传送网

通信网络有两个基本功能群:一类是传送功能群,可以将任何通信信息从一个点传送到另一些点;另一类是控制功能群,可以实现各种辅助服务和操作维护功能。传送网就是完成传送功能的通信网络。在传统的 SDH、WDM 等光网络运行中,存在一些固有的缺陷,导致网络效率较低,无法针对不同的业务环境提供差异化服务。因此,在不同的业务环境中,有不同的传送网实现技术,例如自动交换光网络、分组传送网等。

自动交换光网络(ASON)是在 ASON/ASTN 信令网控制之下完成光传送网内光网络连接自动交换功能的新型网络,是具有自动交换功能的新一代的光传送网。ASON 将网络的控制功能和管理功能分离,通过控制平面的路由和信令机制实现邻居和业务的自动发现,实现连接的自动建立和删除,支持带宽的按需分配和动态的流量工程,是光网络发展的一个新方向。

分组传送网(PTN)是 IP/MPLS、以太网和传送网三种技术相结合的产物,具有面向连接的传送特征,适用于承载电信运营商的无线回传网络、以太网专线、L2 VPN 等高品质的多媒体数据业务。PTN 是基于全 IP 分组内核的,保持了传统 SDH 优异的网络管理能力,融合了 IP 业务的灵活性和统计复用、高带宽、高性能等特性。

5.4.2 光纤接入网

光纤接入网(OAN)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。光纤接入网是目前电信网中发展最为快速的接入网技术,除了重点解决电话等窄带业务的有效接入问题外,还可以同时解决调整数据业务、多媒体图像等宽带业务的接入问题。

光纤接入网采用光纤作为主要的传输媒质,而网络侧和用户侧发出和接收的均为电信号,所以在网络侧要进行电-光转换,在用户侧要进行光-电转换,才可以实现中间线路的光信号传输。光纤接入网在通信网络中的位置如图 5.11 所示。

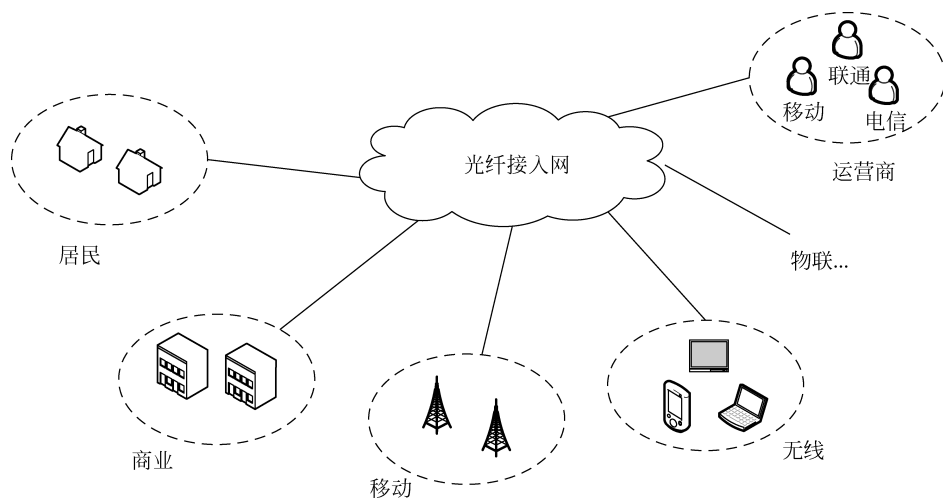


图 5.11 光纤接入网示意图

1. 基本结构

一个光纤接入网主要由光线路终端(OLT)、光分配网络(ODN)和光网络单元(ONU)等组成。光纤接入网通过光线路终端与业务节点(或通信网络)相连,通过光网络单元与用户连接,光分配网络位于 OLT 和 ONU 之间,主要功能是完成光信号的管理分配任务。OLT 的作用是提供通信网络与 ODN 之间的光接口,并提供必要的手段来传送不同的业务。ONU 位于 ODN 和用户之间,ONU 的主要功能是终结来自 OLT 的光纤,处理光信号并为多个小企业、事业用户和居民住宅用户提供业务接口,因此需要具有光-电变换功能,并能对各种电信号进行处理与维护。整个接入网完成从业务节点接口(SNI)到用户网络接口(UNI)间有关信令协议的转换。

2. 分类

光纤接入网从系统配置上分为无源光网络(PON)和有源光网络(AON)两类。

PON 是指在 OLT 和 ONU 之间没有任何有源的设备而只使用光纤等无源器件。PON 对各种业务透明,易于升级扩容,便于维护管理。

AON 中,用有源设备或网络系统(如 SDH 环网)的 ODT 代替无源光网络中的 ODN,因此传输距离和容量大大增加,易于扩展带宽,网络规划和运行的灵活性大,不足的是有源设备需要机房、供电和维护等辅助设施。

3. 光接入网的应用类型

根据光网络单元 ONU 位置的不同,可以将 OAN 划分为几种基本的应用类型,即光纤到路边(FTTC)、光纤到楼(FTTB)、光纤到家或办公室(FTTH/FTTO)等。从发展来看,光接入网的普及主要受到成本和内容等多方面的制约,从长远来看,以 FTTH/FTTO 结合家庭(办公室)无线网的形式实现带宽接入可能是一种较好的选择。

5.4.3 光传送网

1. OTN 的概念

虽然 SDH 系统已经非常成熟,可以提供多种业务的传送功能,如 PDH、IP、Ethernet

等,并提供丰富的保护、管理功能,但随着网络带宽的需求越来越大,以虚容器(VC)调度为基础的 SDH/SONET 网络在传送层方面呈现出了明显不足,不能满足未来骨干网节点的 Tbit/s 以上的大容量业务调度。

WDM 系统提高了带宽利用率,具有业务透明传输的优点,但是其采用客户信号直接映射进光通道的方式,使其只能定位于点对点的应用。纯光网络没有性能监视能力,不能保证性能,也不能满足传送网络的一般要求。

光传送网(OTN)是由 ITU-T G. 709、G. 870、G. 872、G. 798 等建议定义的一种全新的光传送技术体制,OTN 很好地结合了传统 SDH 和 WDM 的优势,对于各层网络都有相应的管理监控机制和网络生存性机制。OTN 在子网内部进行全光处理而在子网边界进行光电混合处理。在光域,OTN 可以实现大颗粒的处理,提供对更大颗粒的 2.5Gb/s、10Gb/s、40Gb/s 业务的透明传送能力,具有 WDM 系统高速大容量传输的优势;在电层,OTN 使用异步的映射和复用,把 SDH 的可运营和可管理的能力应用到 WDM 系统中,形成了一个以大颗粒带宽业务传送为特征的大容量传送网络。OTN 可以支持多种上层业务或协议,如 SDH、ATM、Ethernet、IP、PDH、MPLS、ODU 复用等。

2. OTN 的优点

OTN 结构由光通道层(OCh)、光复用段层(OMS)和光传送段层(OTS)三个层面组成。另外,为了解决客户信号的数字监视问题,光通道层又分为光通道传送单元(OTUk)和光通道数据单元(ODUk)两个子层,类似于 SDH 技术的段层和通道层。因此,从技术本质上而言,OTN 技术是对已有的 SDH 和 WDM 的传统优势进行了更为有效的继承和组合,同时扩展了与业务传送需求相适应的组网功能;而从设备类型上来看,OTN 设备相当于 SDH 和 WDM 设备融合为一种设备,同时拓展了原有设备类型的优势功能。

OTN 技术作为一种新型组网技术,相对已有的传送组网技术,其主要优势如下:

① 多种客户信号封装和透明传输。基于 ITU-TG. 709 的 OTN 帧结构可以支持多种客户信号的映射和透明传输,如 SDH、ATM、GFP 等,这就使得 OTN 帧可以传送这些信号格式或以这些信号为载体的更高层次的客户信号,如以太网、MPLS、光纤通道、IP 等,从而使得不同应用的客户业务都可以统一到一个传送平台。

② 大颗粒的带宽复用、交叉和配置。OTN 目前定义的电层带宽颗粒为光通路数据单元,即 ODU1(2.5Gb/s)、ODU2(10Gb/s)和 ODU3(40Gb/s),光层的带宽颗粒为波长,相对于 SDH 的 VC-12/VC-4 的调度颗粒,OTN 复用、交叉和配置的颗粒明显要大很多,对高带宽数据客户业务的适配和传送效率有显著提升。

③ 强大的开销和维护管理能力。OTN 提供了和 SDH 类似的开销管理能力,OTN 光通路(OCh)层的 OTN 帧结构大大增强了 OCh 层的数字监视能力。另外 OTN 还提供 6 层嵌套串联连接监视(TCM)功能,这样使得 OTN 组网时,采用端到端和多个分段同时进行性能监视的方式成为可能。

④ 增强了组网和保护能力。通过 OTN 帧结构、ODUk 交叉和多维度可重构光分插复用器(ROADM)的引入,大大增强了光传送网的组网能力,改变了目前基于 SDHVC-12/VC-4 调度带宽和 WDM 点到点提供大容量传送带宽的现状。OTN 采用带外前向纠错(FEC)技术,显著增加了光层传输的距离。

作为新型的传送网络技术,OTN 并非尽善尽美。最典型的不足之处就是目前不支持

2.5Gb/s 以下颗粒业务的映射与调度,相关标准正在制定之中。另外,OTN 标准最初制定时并没有过多考虑以太网完全透明传送的问题,这使得 OTN 组网时可能出现一些业务透明度不够或者传送颗粒速率不匹配等问题。

5.4.4 智能光网络——自动交换光网络

以 IP 为代表的数据业务的指数式增长已经削弱了语音业务和专线业务的优势,而且由于 IP 业务量本身的不确定性和不可预见性,对网络带宽的动态分配要求也越来越迫切,因此传统的以固定带宽的语音业务为主的光网络技术(如 SDH 和 WDM)在应对这样的业务时,会面临一些问题和挑战,不能适应用户和市场的需求。为了适应 IP 业务的特点,光传送网络开始向支持带宽动态灵活分配的智能光网络(ION)方向发展。

智能光网络(ION)技术是构造在各种传送技术之上的,也就是在 SDH 传送网、光传送网(OTN)之上增加了独立控制平面,因此它支持目前传送网可以提供的各种速率和不同信号特性(如格式、比特率等)的业务。学术界和工业界对于如何实现真正意义上的智能光网络仍存在一些不同看法,目前包括 ITU-T、IETF、OIF 等国际标准化组织都对此投入了巨大的精力,其中以 ITU-T 主导的自动交换光网络(ASON)被认为是现阶段实现智能光网络的主要方法,而 IETF 提出的通用多协议标记交换协议(GMPLS)是 ASON 的主要控制协议,OIF 则侧重于接口标准的开发和规范。

ASON 最早是在 2000 年 3 月由 ITU-T 的 Q19/13 研究组正式提出的,其后技术研究和标准化进程都进展迅速。ASON 是一种自动交换传送网,它的主要特征是由用户端或者网管动态发起业务请求,自动选择路由,并通过信令控制实现业务连接的建立、修改、拆除,自动保护和恢复,自动发现等功能,是融交换、传送为一体的新一代光网络。ASON 首次将信令和选路引入传送网,通过智能的控制层面来建立呼叫和连接,实现了真正意义上的路由设置、端到端业务调度和网络自动恢复。

1. ASON 体系结构

ASON 与传统光传送网相比,突破性地引入了更加智能化的控制平面,从而使光网络能够在信令控制下完成网络连接的自动建立、资源的自动发现等过程。ASON 的体系结构主要表现在具有 ASON 特色的三个平面、三个接口以及所支持的三种连接类型上。

ASON 网络体系结构模型如图 5.12 所示,整个网络包括三个平面,即控制平面、管理平面和传送平面,三个平面通过三种接口实现信息的交互。其中控制平面和传送平面之间通过连接控制接口(CCI)相连,而管理平面则通过网络管理接口A(NMI-A)和网络管理接口T(NMI-T)分别与控制平面及传送平面相连。

控制平面由一组通信实体组成,负责完成呼叫控制和连接控制功能,并在发生故障时恢复连接。可以把控制平面想象成一个机器人,它能够发现网络包括哪些节点,各个节点之间的连接关系等,同时还能完成传统光网络中需要人工完成的一些功能,如呼叫控制、连接控制等。

管理平面的重要特征就是管理功能的分布化和智能化,可以把管理平面理解为传统光网络中的网管系统,完成对控制平面、传送平面以及数据通信网的管理功能。

传送平面由传统的光网络设备组成,比如 SDH、WDM 设备等,传送平面是业务传送的通道,可提供端到端用户信息的单向或双向传输。

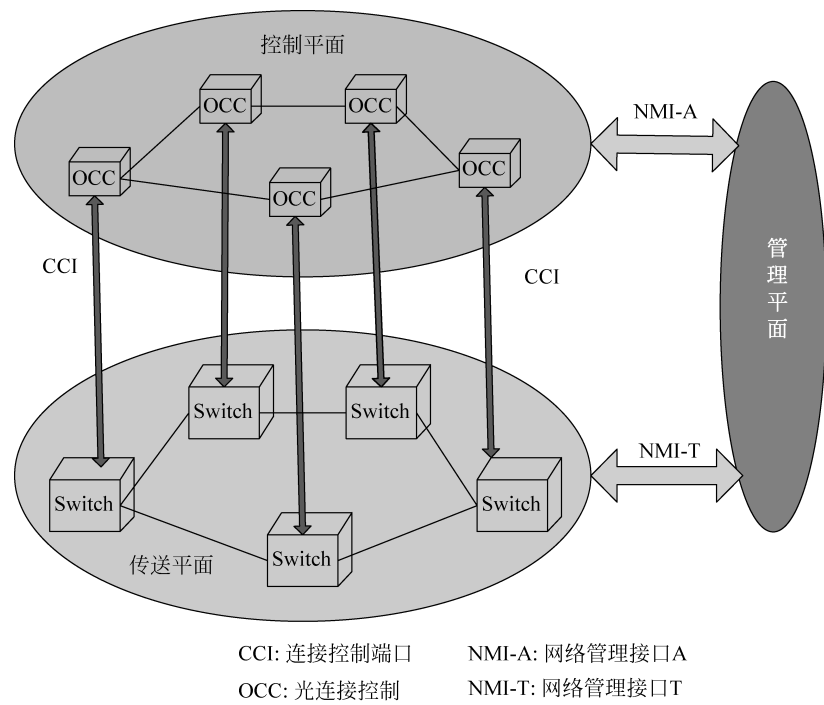


图 5.12 ASON 的体系结构

ASON 网络体系结构是一种客户/服务器关系结构,其显著特点是客户网络和提供商网络之间有着很明显的边界,它们之间不需要共享拓扑信息,客户方通过向网络提供商发送连接请求,可以在网络中动态地建立一条业务通道。根据用户设备、业务需求的不同,ASON 提供了三种类型的连接来实现差异化服务,包括永久连接(PC)、交换连接(SC)和软永久连接(SPC)。

PC 连接也称为供给式连接,沿袭了传统光网络中连接的建立方式。由管理平面直接配置传送平面资源来建立连接,连接的发起者和配置者都是管理平面,连接一旦建立,如果管理平面没有下达相应拆除命令,连接就一直存在。在这种方式下,ASON 网络能很好地兼容传统光网络,实现两者的互联。

SC 连接也称为信令式连接,这是 ASON 特有的连接方式。SC 的建立由控制平面的请求产生,对传送平面资源的配置也由控制平面来完成。这种连接是应用户的请求而建立的,一旦用户拆除请求,该连接就在控制平面的控制下自动拆除。

SPC 连接也称为混合式连接。SPC 中端到端连接的用户至网络部分同 PC 连接一样,由管理平面建立,而端到端连接的网络部分,同 SC 连接一样由控制平面建立。SPC 建立连接的请求、资源的配置和在传送平面的路由均从管理平面发出,但具体实施却由控制平面完成,即 SPC 连接的维护要控制平面和管理平面共同完成。

2. 控制信令协议——“智能”背后的隐形控制者

多协议标签交换(MPLS)技术是一种基于 IP、并使用标签机制实现数据高速和高效传输的技术。MPLS 将 IP 技术与 ATM 技术良好地结合在一起,兼具了 ATM 的高速交换、良好的 QoS 性能、流量控制机制与 IP 的灵活性和可扩充性,因此 MPLS 是 IP 网络最为重

要的应用技术之一。

将 IP 网络中已经取得成功的 MPLS 技术进行拓展以适应光网络控制平面的需要,就形成了通用多协议标记交换(GMPLS)技术。GMPLS 协议有许多种选择,ASON 使用了其中一部分并进行了扩展,形成了适应于 ASON 网络的控制协议。ASON 的控制协议是控制平面的重要组成部分,也是实现控制平面各项功能的重要手段。

ASON 中的 GMPLS 协议主要包括:链路管理和发现协议 LMP、路由协议、信令协议。LMP 运行于邻接节点之间的传送平面上,用于进行链路的提供,并管理节点间的双向控制信道。路由协议主要完成建立邻居关系、创建并维护控制链路等。ASON 的核心在于明确提出了光传送网的控制平面,通过控制平面的方式并引入信令控制的交换能力来实现连接配置的管理。因此,控制平面的信令协议对于智能光网络尤为重要。