

● 光通信系列丛书

光同步数字传输 与自愈网络

颜清华 编著



電子工業出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

光通信系列丛书

光同步数字传输与自愈网络

颜清华 编著

电子工业出版社

内 容 提 要

本书详细介绍了以光纤为传输媒质的同步数字传输的体制(SDH)、技术及其所用设备。全书从传输网络的体制及其自动维护运行角度编写,分为两大部分:第一部分(前六章)讲述了 SDH 的基本原理及其设备的功能特性;第二部分(后六章)阐述了 SDH 自愈网络的各种结构及特性,比较分析了 SDH/SDNET 中的自愈规则及其相应的算法和配置;本书最后一章介绍了 SDH 网络的设计。本书理论结合实际,具有较强的实用性。

适于从事光纤通信开发研究及管理维护和从事电信网传输网方面的工程技术人员使用,也可供有关专业院校师生参考阅读。

光通信系列丛书

光同步数字传输与自愈网络

颜清华 编著

责任编辑:张欣 特约编辑:李淑宜

*

电子工业出版社出版(北京市万寿路)

电子工业出版社发行 各地新华书店经销

电子工业出版社计算机排版室排版

北京大中印刷厂印刷

*

开本:787×1092毫米 1/16 印张:19.75 字数:512千字

1996年11月第1版 1996年11月第1次印刷

印数:3000册 定价:30元

ISBN 7-5053-3753-X/TN·990

前 言

光纤通信是 70 年代迅速崛起的前沿科学技术,至今已广泛应用于通信网络当中。以光纤为传输媒质的同步数字传输体制起始于 1988 年 CCITT(现在的 ITU-T)通过的 SDH 的 3 个基本建议。短短十余年,这种新型传输体制的发展可谓突飞猛进:由 3 个基本的建议发展成为二十余个较为完善的传输协议;由简单的结构与接口特性描述发展为网络自动运行的实现;由少数几个公司研制试验性的产品发展为全球性的开发和推广;由使用单个 SDH 设备发展到全 SDH 网络的逐步实现。

SDH 体制的出现及发展是通信的必然趋势。它以优越的传输媒质光纤为基础。集成了当今通信领域的最新传输技术,顺应了通信业务的新要求。

本书就是从传输网络的体制及其自动维护运行的角度来编写的。全书共十二章,分为两大部分:

第一部分(前六章)讲述了 SDH 的基本原理及设备的功能特性。对同步信号的复用和映射做了详细的说明之后,再以具体的 SDH 设备为例讲解设备的特性及有关机理。SDH 是硬件与软件的综合体,第六章对 SDH 软件及其与 TMN 接口的实现分类进行讲解。

第二部分(后六章)从 SDH 网络的存活性出发,讲述了 SDH 自愈网络的各种结构及特性。SDH 的自愈协议是以北美 SONET 为基础,最近提出来的用于 SDH 网络恢复方面的标准。本部分详述了 SDH/SONET 中的自愈规则及其相应的算法和配置,并对各种配置从各个方面进行了具体的分析比较。第十二章是 SDH 网络的设计,也是全书的总结和应用。首先分析 SDH 各个网络层的特征,讨论设计时应注意的问题,然后从网络的存活性角度出发例举 SDH/SONET 网络设计的实现。

作者编写本书时力求:一、内容与技术内步,尽量参考国内外学术刊物和会议的最新文献;二、实用性,理论与实例相结合。

编写当中一直得到李国瑞教授的全力支持和热情帮助,使本书的编写得以顺利进行,得到了赵荣华教授的支持以及王艳芝高工和焦爱平老师的帮助,为作者的编写带来了诸多方便。李美波女士为本书做了很多的工作,崔振义先生也为本书付出了艰辛的劳动。此外,还得到了王锋琦、王剑峰和王道远等朋友的关心与支持,作者在此一并表示深深的谢意。

感谢帮助过和关心过本书编写的老师们和朋友们。

由于作者水平所限,书中偏颇谬误之处,恳请读者批评指正。

作 者

1996 年 5 月

目 录

第1章 概述	(1)
1.1 电信网络的发展	(1)
1.2 光纤网络的优越性	(3)
1.3 SDH产生的必然性	(4)
1.4 网络的存活性	(8)
第2章 同步信号复用和映射方法	(10)
2.1 光纤传输系统	(10)
2.2 数字传输与PDH	(13)
2.3 同步复用原理	(15)
2.4 STM的产生及其结构	(17)
2.5 指针及通道开销的实现	(25)
2.6 各种信号的映射方法	(38)
2.7 SDH与SONET的异同	(44)
第3章 SDH复用设备与数字交叉连接设备	(52)
3.1 SDH设备功能块特性	(52)
3.2 数字复用设备	(66)
3.3 数字交叉连接设备	(71)
第4章 传输性能及物理接口	(85)
4.1 性能监视及有关参数	(85)
4.2 SDH传输误码及有关定义	(89)
4.3 误码性能与不可用性的数学模型	(93)
4.4 SDH传输误码测试机理	(96)
4.5 光接口参数规范及电接口参数规范	(99)
第5章 SDH的相位特性	(103)
5.1 相位变化及特点	(103)
5.2 锁相环的相位调整	(107)
5.3 网络的同步	(116)
附录5.A 相位变化的数学分析	(118)
附录5.B 指针处理器设计	(126)
第6章 SDH设备标准及实现	(130)
6.1 SDH传输设备的一般要求	(130)
6.2 设备功能的实现方法	(130)
6.3 设备的实际设计	(144)
6.4 网络单元中软件系统的实现	(155)
6.5 具体线路设备介绍	(159)
第7章 自动保护倒换和双归结构	(164)
7.1 自愈网络设计的基本概念	(164)

7.2	自动保护倒换(APS)结构	(166)
7.3	光倒换保护结构	(169)
7.4	双归结构	(173)
7.5	网孔 APS 系统	(177)
第 8 章	SDH 的自愈环(SHR)	(183)
8.1	自愈环的优越性	(183)
8.2	SDH 自愈环的结构及分析	(185)
8.3	无源保护的 SDH BSHR/4 结构	(193)
8.4	SDH SHR 在网络中的应用	(197)
8.5	SDH 及其 SHR 在无线系统中的应用	(201)
第 9 章	可重配的 DXC 网络	(206)
9.1	DXC 网络的重配要求及技术	(206)
9.2	SDH DXC 自愈网络分类	(208)
9.3	SDH DXC 自愈网络结构	(211)
9.4	DXC 自愈网络规划	(215)
9.5	SDH 的集成恢复系统	(217)
第 10 章	光纤环网的存活性分析	(220)
10.1	光纤环网的结构	(220)
10.2	有源支路的 SDH SHR 结构	(223)
10.3	无源光纤环网结构	(228)
10.4	光纤环网的分析总结	(230)
第 11 章	管理与控制	(233)
11.1	分布式结构和开放系统	(233)
11.2	电信管理系统的发展	(234)
11.3	管理的作用:步骤 1“面对的问题”	(235)
11.4	对象模型:步骤 2“问题中的事物”	(239)
11.5	信息模型:步骤 3“事物的联系”	(250)
11.6	开放管理接口:步骤 4“事物如何联系”	(262)
11.7	实际网络管理系统的特征	(264)
第 12 章	SDH 网络的设计	(272)
12.1	传送网络设计方法	(272)
12.2	识别顾主与服务者的关系	(273)
12.3	确定 SDH 段与通道层的特征	(275)
12.4	段与通道层网络的设计	(277)
12.5	SDH 物理层网络的设计	(282)
12.6	利用 DXC 的 SDH 逻辑层的网络设计	(297)
12.7	集成的自愈网络设计	(301)
附录	缩略词	(303)
参考文献		(308)

第 1 章 概 述

随着社会科学技术的不断发展,人类社会步入了新的历史时代,即信息化时代。以微电子、光电子、计算机、通信和信息服务业构成的信息产业促使通信技术日新月异、飞速发展,通信新业务应运而生、层出不穷。光同步数字传输体制(SDH/SONET)作为把大容量、高速传输的光纤传输技术与智能化网络单元技术有机地结合在一起的全新的传输网络技术体制,其产生也就绝非偶然了。本章讲述其产生的过程、现状及应用特点。

1.1 电信网络的发展

构造是建筑设计中的艺术。对建筑物的结构进行分析有利于理解其组成单元及其作用以及彼此之间的关系,从实践中得到经验再进行更大、更好的设计。电信网络结构的设计同样如此,对网络的分析也就是描述网络的组成单元、网络单元的功能及彼此之间联系的过程。但是电信网络的结构又要比建筑物结构复杂得多,它象蜘蛛网一样遍布全球,需要各个国家各个部门之间的密切配合,而且还必须考虑以后的升级扩容、管理等问题。

1.1.1 电话业务的发展与非话业务的出现

最早的公用电话业务网出现于 19 世纪后期,当时能运行的业务极为有限,而且使用者都必须距离交换大楼 1KM 以内。尽管如此,这种电话网对现在的运输网却产生了极其深远的影响。它为通信连接提出了选择路由的概念,在铜线中利用电磁波传输信号,每一部电话都利用铜线连接到交换中心,再由交换中心的工作人员按照用户要求选择相应的链路。从中我们可以看到任何传输网络的基本要素:不同网络的信息转接模式之间的适配;将适配信息源和链路连接到交换节点的拓扑,这种拓扑使得端对端线路上的信息传送更为灵活方便。

早期的网络管理控制方法有很多沿用至今。例如,网络上某一用户有呼叫请求时,请求的建立借助于接入协议,利用铃声告知网络管理员(运行者),再由管理员分析请求、选择路由、通知被叫用户,从而建立起端到端的链路。通话期间终端用户受网络管理员的监控,并且终端用户可以与管理员交互通信。

随着电信技术的进一步发展,传输距离增大了,城市之间可以相互通信,网络拓扑也由起初简单的星型结构变成复杂的网孔结构。用户数目的急剧增加和传输距离的快速增长使得交换板必须安置在非常大的房间里才能保证成千上万的用户正常通信。网络管理很快成为通信进一步发展的主要约束因素。1889 年 Armon B. Strowger 提出了步进制的原理,利用这种原理用户只需在电话上拨号就能建立起呼叫请求,本地呼叫优先,这样就免去了管理员的复杂繁琐的路由选择工作。本世纪的前 40 年进一步完善了 Strowger 的设想及有关呼叫处理技术,随着国际数字编号标准的公布实施,公用交换电话网 PSTN 也就更为灵活方便了,这样就导致了 PSTN 的控制结构有了更进一步的规定,传送结构的规模也急剧增大。由于区域不同,为了使网络的传输和交换领域独立地、更好地发展,又规定了网络中交换单元和传输单元的网络节点接口 NNI 和用户网络接口 UNI。

网络节点间的传输铜线起初是架在电线杆上,随后又将其组装成电缆埋在地下。放大器、均衡器、加感线圈以及其他许多技术的出现使得传输的距离增长和传输的质量提高。然而这些技术对传送网络的结构却没引起多大的变化,它们仅仅保证了一个网络节点上的话音信号能复制到另一网络节点上。与 Strowger 技术相比,这些技术显得微乎其微,但是实践证明,随着传输距离以及业务量的增加,它们是非常必要的,对本世纪 30 年代出现的使用复用器的传送网络有着直接的影响。将模拟话音信号装配成 12 路基群以利于更高带宽的传输,点对点的无线系统和高质量的同轴电缆传输系统的出现弥补了其不足,随后又将五个 12 路基群组装成 60 路超群,这种组合不仅使 PSTN 间的通道代价降低,而且使传送节点上超群的路由选取更为方便。同一时期,还出现了直通基群滤波器,这样从网络节点的超群上装配和下载的组数就可以更多了。从传送网络的发展当中可以看到一个最为突出的特征:具有扩展功能。网络应能引入新的功能,每一传送层应能在其前节点之间提供点对点的传送。作为配线架的网络节点就可以灵活地相互链接。

电话业务是最普遍、占比重最大的业务,但是电信业务远不只于此。当今电信网络还应能支持非话业务,主要有用户电报、数据通信、传真、可视图文、智能用户电报、电子邮箱、会议电视等。近年非话业务终端数每年以 20% 的速度增长,发达国家尤为明显。可视图文是计算机、电话、电视技术三者结合应用的通信业务,其系统通常由信息处理中心、数据库、电话网和用户终端设备组成,它包括双向通信的交互型可视图文和单向通信的广播型可视图文。智能用户电报 Teletex 是双方终端存储器之间的自动通信,Teletex 终端内有微处理机、数据存储器及报文编辑功能并能执行标准协议(如 X.25 协议等)和遵循 OSI 开放系统互连原则,从而可以在现有的公用电话网 PSTN,正在发展中的公用分组交换网 PSPDN 和综合业务数字网 ISDN 上开放业务。传真可分为模拟传真和数字传真:经过扫描把连续的光信号转换成电信号即为模拟传真;如果对模拟电信号再进行抽样、量化、编码便是数字传真。根据传送信息的不同又分为文件传真、相片传真和彩色传真,它们都是在公用电话网上传送的业务。电子邮箱是一种消息处理系统业务,按存储的信息不同分为语音邮箱、电文邮箱和传真邮箱,每个注册用户在本交换局内有一个电子邮箱,把主叫送给被叫用户的话音、电文、图形信息存储在用户邮箱中,被叫用户通过一定的指令可从邮箱中取出信息,电子邮箱可以避免用户占线和无人应答等问题。数据通信是计算机技术与通信技术相结合的通信业务,主要业务方式有非交换式、公用电话网 PSTN 式,电路交换数据网 CSDN 式和分组交换数据网 PSDN 式等。会议电视是利用电信线路将远距离的多个会议室连接起来,使远隔千里的与会各方有如坐在同一会议桌旁,会议电视可用模拟信道和数字信道传输。

1.1.2 数字化

传送网络中采用数字技术可以追溯到 60 年代,当时主要是美国在局间中继网络中采用数字传输。模拟话音信号转换成数字信号的原理称之为脉冲编码调制 PCM。它要求对模拟信号的采样频率大于其本身最大频率的两倍,每次的采样值都量化成相应的数值。不同信道内的一系列的量化值可以顺序地在介质上传输,这个过程称为时分复用 TDM。60 年代中期,CCITT 制定了一系列的标准用以定义它的适配过程、复用群的结构和尺寸以及这种传送网络的 NNI 特性。用 8kHz 的频率采样,每个信道速率为 64kbps,这样可以使交换达到最低限度,然而在其他重要方面欧洲和北美却是标准不一,我们将这些标准称之为准同步数字系列(PDH),与之相对的是本书要讲的同步数字系列(SDH)。在 PDH 阶段,网络设计者及运行者没有充分认

识到传送集成化和自动化的重要性,网络的运行依赖于手工连接的数字配线架 DDF 和纸卡记录,运行支持系统也是使用早期的中继技术,早期的发光管和振铃器件。随着半导体技术和数字 TDM 技术的渗透,时分和空分交换的结合,交换的容量呈突发性增长,同时这也促进了处理器控制技术的发展。由于在网络中使用数字技术,从而使传输质量与传输距离相对独立,利用数字复用设备免去了一部分数字配线架 DDF。从网络结构的发展中可以发现,数字技术不仅使线路层可以处理话音和数据信号,而且引入了与结构完善的模拟传送网并驾齐驱的数字传送层。光纤的出现大大降低了传输费用,处理器控制和国际信号协议为 PSTN 业务增加了新的标准,使网络的尺寸和数目都在增大。

多种新业务的出现使得 DDF 变得越来越复杂庞大以致于成为通信进一步发展的“瓶颈”,成为网络传送质量的主要约束因素。正如早期的限制 PSTN 发展的数目繁多且又庞大的交换板块一样,这种限制激发了远程网络管理系统中分布式带宽管理和电交叉连接控制的出现,它们是通过在运行支持系统中将其与处理器一起集成来实现的,同步传送标准的设想与发展正来源于此。

在模拟向数字过渡期间,网络单元应能支持两种并行的传送技术。高速模拟信号能越过数字岛,而数字岛中的高速数字信号能穿越高容量的模拟网络,调制解调器就是模拟信号与数字信号转换之间的桥梁。复用转换器将高分辨率的模数转换和复杂的数字到模拟信道和数字传送层之间信号提供适配功能,而不用通过线路层,在后面将看到从 PDH 到 SDH 的过渡也与此类似。

前面讲到的电信业务的发展,在不同地区大部分是相互独立的,没有统一的国际标准,国际通话无法实现,引入用户中继拨号和通用信道信令之后国际电话业务就可以高质量地实现了。新一代光纤交叉链路使用 SDH,使得信息高速公路的管理更为自动化;开放的接口使得互操作性网络运行者之间带宽管理也更为自动化。新一代的电信网络也正在向数字化、综合化、智能化、宽带化、个人化方向发展。

1.2 光纤网络的优越性

传输技术的选择是由传输容量、经济性能、可靠性及可发展的潜力共同决定的。在电信网络中之所以采用光纤是因为它比现有的铜线传输和无线传输有着更好的特性,这些特性包括:容量更大,可靠性更高,中继距离更长,安全性更好,体积更小而重量更轻,无限的发展潜力以及更低的系统费用。下面就分别讲述这些特性。

(1) 更大的容量:光纤能传送每秒千兆比特以上速率的数据,以 10Gbps 的速率传送数据已进入实用化阶段。光纤的容量如此之大使得业务的带宽使用更为充裕,从而能够完成传送话音、高速数据、视频和高清晰电视(HDTV)等新业务,且为以后更新的业务提供了足够的带宽。

(2) 更高的可靠性:光纤的高可靠性表现在下面两个方面:

- 光纤传输系统的误码率(BER)低于 10^{-11} 。
- 光纤这种传输介质不受电磁的干扰,也不受温度和潮湿的影响。

除了系统的可靠性能之外,由于光缆常埋于地下 3 至 4 英尺,从而能避免重大自然灾害所引起的线路中断。

(3) 更长的中继距离:现在实用的光纤传输系统能在 80km 以内无中继传输,比较而言用电缆传输其中继距离则为一英里左右。光放大技术的出现,即掺铒光纤在泵浦光源的激发下

能进行光信号放大,这样使中继距离变得更长。日本 NTT 公司在 1994 年研制出了 160km 中继距离的光纤传输系统,现在已有中继距离为 200km 以上的传输系统出现。

(4) 更好的安全性:光纤传输系统既不外泄能量也不感应外部能量。这个特点使光纤信号不会被转接,信号功率能清晰地监视,因此在军事和银行通信领域内尤为有用。

(5) 体积小重量轻:一英里的点对点的电缆重约半吨,而用相同长度的光纤代替,其重量不到原来的 1/4,光纤如此之小之轻以致于可以安装在现存的电缆管道当中,该特点对航海通信系统更具吸引力。

(6) 无限的发展潜力:光纤带容量几乎不受限制,因此限制速率的不是光纤而是连接光纤的光电终端设备。

(7) 更低的系统费用:与电缆比较,使用光缆传输更具有经济效益,因为传输相同容量的业务时需要的光纤数量要少得多,更长的中继距离免去了大量的中继设备,而且维修费用也比电缆低得多。宽带综合业务数字网 B-ISDN 和光纤到家就是即将实现的光纤部署计划。

1.3 SDH 产生的必然性

1.3.1 为什么采用 SDH

电信传输方式自从由模拟变为数字以来,一直沿用 PDH 系统。PDH 系统能顺利地传送国内长途和市话网业务,增加新的 PDH 系统就能满足通信的扩容需求,然而现在为什么要采用 SDH 呢?

从使用的角度来看,SDH 有下列好处:

SDH 既适应当今通信的需要,又能满足将来通信的要求。21 世纪将是一个信息时代,一个宽带、高速的数字传输时代。到时当今通信所传输的窄带业务(普通电话、电报、传真和数据等)将不能满足需求,只有拓宽传输频带才能提供更新的电信业务。可视电话会议的召开,远距离 X 光片诊断和专家会诊,远距离的交互式培训,在家中点播电影和录象节目,查阅文献资料,进行股票交易或者处理银行存款等等,所有这些新业务都要求采用宽带、大容量、高速同步传输技术,而 PDH 对此望尘莫及。

只有 SDH 才能建成现代化的全程全网的智能化网管系统。通信业务的发展不仅需要大量的质量可靠的网络,而且应能对网络进行集中统一的管理。PDH 虽然有一定的网管功能,但终因网管开销有限,制式无法统一,组成不了合乎以后发展的网管系统。而 SDH 则有丰富的管理开销,能够建立适应信息时代要求的高度智能化的网管系统。

唯有 SDH 能使现在国际上不同的数字传输制式和不同厂家的传输产品得以互相联通。北美和日本的 1.5Mbps 与欧洲和中国的 2Mbps 的两大体系既不方便又影响国际电路的质量。PDH 系统无法解决这个问题,而 SDH 使这两大体系在 STM-1(SDH 的传送模块,速率为 155Mbps)级以上达到统一,从而无需再进行信号转换,使信号衰减降低到最小程度。

SDH 能实现网络自愈,大大提高了通信的可靠性。PDH 只能点对点地传输,组成一段一段的线状网,并只能进行区段保护,无法实现统一工作的、多种路由的环状保护。而 SDH 不但可以组成线状网,而且可方便地组成多路由的、具有自愈智能的环状保护网。有了这种自愈网,即使发生了光缆被切断的重大事故,通信业务仍然能够畅通无误。

SDH 能使费用降低。以长途通信为例,PDH 用一对光纤,按标准只能传 140Mbps,相当于

1920个话路,再增加1920路就得再占一对光纤,再开一套140Mbps系统。如果要开4套140Mbps系统,就得占用4对光纤;而同样的电路等级如果开SDH系统,却只要一套622Mbps系统,占用一对光纤就可以了。不仅如此,SDH标准已经达到10Gbps,一个10Gbps的SDH系统就相当于64个PDH 140Mbps系统,这样下来,12万条电路才占用一对光纤,按全程全网计算,节省的光缆和设备大为可观。再看市话网,虽然距离短,但它比长途网分布更广,用SDH可以节省机线的规模。更何况PDH每上下一电路,都得按140Mbps→34Mbps→8Mbps→2Mbps这样的顺序逐级地复用和解复用,级间还得安装数字配线架,设备占用多,机房面积占用大,耗电也多,而SDH一次就能从622Mbps里分出2Mbps来,不用再一级一级地复用和解复用,从而省去了大量的数字配线架,节约了大量的机房面积,省却了电力消耗。

1.3.2 SDH的主要特点

目前,全世界的大多数数字传输系统都是基于准同步数字体系(PDH)技术,它使用复杂的复用技术,采用比特填充和字节交织把较低层次的信号复合成为较高层的集中速率。随着电信网的发展和用户要求的提高,PDH的不足使其难以胜任电信网络的运行。

美国1985年提出了光同步网络(SONET),ITU-T在其基础上于1988-1995年间完善了同步数字系列(SDH)建议,形成了一套较为完整的标准,使之成为不仅适用于光纤,也适用于微波和卫星传输的体制。SDH的主要特点有以下七个方面:

(1) 传统的PDH复用结构缺乏灵活性,使数字设备的利用率很低。据有关资料介绍,对于普通的140Mbps容量系统平均只有50%的容量用于传输2Mbps信号,剩余容量没有被利用,同时非最短的通路路由占据业务量的绝大部分。例如北美的调查结果表明大约有77%的45Mbps的传输需一次以上的转接,仅有23%的信号是点对点传输的,可见目前基于PDH的传输是无法提供最佳的路由选择的,而采用SDH并结合使用DXC时,会使信道成本和运行成本下降。

(2) 网络中的信号采用同步复用方式。因其采用了同步字节复用方式和指针调整技术及具有灵活映射结构,只需利用软件可从高速信号中一次直接分插出低速信号,使支路分插一步完成,即实现了一步复用的特性,避免了对全部高速信号进行逐级分解然后再重新复用的过程。因而省去了背靠背的复用设备,简化了终端设备,使上下电路的插入简单易行可靠。进而提高了网络的可靠性、灵活性及信号的传输质量。

(3) 该网络具有全世界统一的帧结构、数字信号速率、光接口规范等方面的标准,因而使得世界各国的SDH设备在光路上完全可以互通。同时,使得三个地区的不同的数字传输体制均统一在STM-1的等级上,实现了在SDH上的兼容。从而也使全世界数字传输体制实现了真正的统一标准,提高了网络的可用性,降低了组网成本。

(4) 该网具有很强的自愈功能和重组功能,并能提供最佳的路由选择。因而提高了信道的利用率,提供经济、灵活、简单的信号互连。同时也提高了网络的生存能力。

(5) 该网具有很好的前后向兼容性。向后兼容PDH信号,它可直接接入、取出PDH中的任一支路信号,使SDH可以支持已建立的PDH网,并有利于PDH向SDH的顺利过渡。向前兼容新的业务信号(视听电话、智能业务),如高速局域网的光纤分布式数据接口(FDDI)信号,城域网的分布排队双总线DQDB信号以及宽带综合业务数字网B-ISDN中的异步传送模式ATM信元。

(6) 该网具有电话、数据、智能网等系统的支持。因而,就有了较强的组网功能,从而为数

字传输及交换技术开辟了新途径。

(7) SDH 网结构强化了网络的监视、运行、管理、维护和自动配置功能,使标准化的网管中心可以通过对设备和功能的遥控,对网络进行全面的控制和管理。从而优化了网络的性能及动态吞吐量,使网络更具有灵活性和安全性。由于交叉连接设备的应用,使得电路的自动调度、自动保护及恢复、自动管理成为可能,从而降低了网络的管理维护费用。

尽管 SDH 作为 21 世纪的新一代传输体制有着许多优点,但是,它和所有新生事物一样,也有自己的不足,SDH 的不足表现在以下三个方面:

(1) SDH 系统由于采用了指针调整技术,为了同步复用及实现 PDH 与 SDH 的插入功能,因而增加了许多门电路,导致了系统设备的复杂性。

(2) SDH 采用计算机进行业务集中管理,一旦计算机出现病毒感染或网络上出现人为的故障,将会使整个系统处于瘫痪状态。

(3) SDH 的频带利用率稍低于 PDH,如 PDH 的 140Mbps 四次群可容纳 2Mbps 的基群 64 个(1920 条电路),而 SDH 的 STM-1 的速率为 155.52Mbps,其仅容纳 63 个 2Mbps 基群(1890 条电路)。

综上所述,光同步传输网尽管也有其不足之处,但瑕不掩玉,它比传统的准同步传输网要优越得多。毫无疑问,传输网的发展方向应该是这种高度灵活和规范化的 SDH/SONET 网,它最终会取代 PDH 体制,为以后的宽带业务奠定基础。

1.3.3 SDH 的开发现状

SDH 技术起始至今仅十余年时间,但发展速度却相当惊人。工业发达国家已着手进行大规模实用化建设,中国也正在根据国内实情,积极制定相应的开发策略。

1.3.3.1 国外开发现状

美国是首先提出 SDH 的国家,但由于美国已建成了比较完善的 PDH 网,目前还不会进行 SDH 的大规模建设。1991 年底以前,仅有 1000 个 SDH 终端投入运行,1992 年以后才逐步改造原系统而使用 SDH。不过各家运营公司也都在纷纷着手建设 SONET,例如 AT&T 公司到 1993 年上半年已发展了 2.4Gbps 的长途网,还向各企业提供了连接美国 200 个城市的第一套商用 SONET 服务系统,此外纽约的 SONET 市话也初具规模。日本是世界上大规模开发建设 SDH 的国家之一,据 NTT 宣称,贯穿日本的 SDH 网已经建成,并于 1990 年底开始启用。该项工程的完成使得全日本的 40% 的电话网由 SDH 网替代。至 1991 年初,日本 NTT 用于改造原来传输网的投资已达 15 亿美元。北美的加拿大也宣布建成世界上最大的 SDH 干线 2200 公里,同时,于 1992 年在近 7000 公里的沿东西海岸的干线上安装了近 4000 公里的 SDH 设备,其最高速率为 2.5Gbps。德国已于 1992 年完成了 SDH 的试验,并在市话网中大量应用,建设了遍及全国的 STM-4/STM-16 的长途网。其他工业发达国家如法国、意大利、瑞典、英国、芬兰等,都积极在干线网、市话中继网、用户网中采用 SDH 技术,同时在卫星通信及微波通信中也正在积极采用该技术。

1.3.3.2 我国 SDH 的现状与策略

国外大力开发建设 SDH 网,必然对我国这一技术的开发和应用起到了积极的促进作用,下面就概括地介绍一下我国 SDH 的开发现状和采取的相应策略。

1. 我国 SDH 的开发现状与 PDH 向 SDH 的过渡

为了适应国民经济高速发展的需求,鉴于 SDH 的优越性,我国除了国家长途光缆干线采

用 SDH 技术外,还建立了省内的联结各地区的 SDH 光缆环网,以实现公用通信网大容量、高速、经济、可靠地为用户提供电路和新业务。目前国内已建成的 SDH 系统有宁汉 SDH 光缆传输系统、奥港 SDH 系统等。汉渝、SDH 光缆系统也正在加速建设。辽宁省准备在南部和北部建两个 SDH 传输环路,均采用 STM-16 同步传输模块(速率为 2.5Gbps)。江苏省设想在全省范围内形成两个环形网,在接点处装备相应的 DXC(数字交叉连接)设备和 ADM(分插复用)设备。近期内规划建设南京—扬州和苏州—常熟点对点 SDH 系统,采用 STM-4 同步传输模块(速率为 622Mbps)。徐州地区规划引入点对点 SDH 试验段和单向通道保护自愈环路。山东省最近从美国引进 2.5Gbps SDH 系统,该系统为双向自愈环路结构,由两个自愈环形网构成,覆盖全省 10 个市地区,该设备及网管监控系统将于 96 年底建成投入使用。此外,河北、四川、海南、福建、深圳等省市引进美国 AT&T 公司的 2.5Gbps SDH 设备,江苏、湖北、贵州、吉林等省也正在引进国外的 SDH 设备。1995 年 8 月邮电部与 AT&T 专家在北京对 ISM-2000/4 ADM 设备的抖动和飘移两项关键指标进行了严格的测试,结果理想,因此根据 AT&T 与邮电部鉴定的邮电部七号信令传输网合同,AT&T 将向北京、上海、广州、武汉、沈阳、南京、西安、成都八大城市提供 SDH 622Mbps 设备,用以传输七号信令。

可见,在我国 PDH 向 SDH 的过渡已经开始。由于我国在建设 PDH 传输网中已投入大量资金,并已初具规模,PDH 设备尚可使用很长时间。为了经济、有效地引入 SDH 传输设备,建立 SDH 传输网,首先应充分考虑与现有 PDH 系统兼容互通的问题。为此必须掌握 SDH 网络拓扑、SDH 网络单元、SDH 复用通道结构和 STM-1 帧结构基本概念,做好网络规划和技术准备工作。对于 SDH 的初期开发应以长途干线为重点,首先在业务量大的节点之间引入 STM-4/STM-16 线路系统,或对原有的 PDH 光缆干线系统进行 SDH 扩容。由于 PDH 长途光缆干线系统多采用 140Mbps 速率,节点应引入具备 140/155Mbps 接口转接的 SDH 网络单元,以便实现 PDH 向 SDH 间的互通。然后逐步用 STM-N 接口将 SDH 线路系统和 DXC 设备互连,最后将干线网扩大成具有自愈能力的网孔网络。在二级干线和本地网中可引入 STM-1/STM-4 SDH 线路系统和用 ADM 构成的环形自愈网。考虑到当前二级干线和本地网中已大量使用了国产 PDH 端机和中继设备,其电接口速率为 2Mbps,因此应引入具备 2Mbps 接口 STM 终端设备和 ADM 设备,便于实现 PDH 和 SDH 间互通。

在 PDH 向 SDH 过渡期间,解决 PDH 和 SDH 互连的另一种方法可在交换中心配置 DXC 设备,因为 DXC 设备配有 STM-N 和 PDH 接口。

2. 我国 SDH 的开发策略

我国通信技术基础薄弱,地理面积宽广,要开发建设 SDH 网,必须根据我国的实际情况,在借鉴外国先进经验、吸取在开发建设我国光通信中的教训的基础上,制定出合适的开发建设 SDH 策略,建立相应的 SDH 网。

1994 年 1 月,我国制定了《光同步传输网技术体制(暂行规定)》及《关于印发“SDH 发展策略专家讨论会议纪要的通知”》和《关于 SDH 引进和建议工作的若干原则的建议》等相关文件,以此开展我国的 SDH 建设工作。

当前应首先抓好开发 SDH 的基础工作,以提高其开发速度,适应经济建设发展的需要:

- 端正提高各级人员的思想认识,既要洋为中用,自力更生,不完全依赖外国,又要借鉴国外先进技术。
- 有计划、有步骤、有重点地投入相当的人力、物力、财力,在借鉴外部先进技术的基础上,开发研制出适合国情的 SDH 设备。

- 大力开发大门数的 CMOS 技术及高速 GaAs 集成电路技术,建立起规模生产线。
- 配备好 SDH 系统开发的软件研究人员,提供先进的软件开发手段。
- 开发 SDH 的着眼点要以扩大网络的通信能力,以增加网络的传输容量为初期目的,不要急于开发以联网及维护管理和兼容为目的的产品。
- 为使 PDH 更好地映射进 SDH,若仍需要建设 PDH 系统,则应建设 PDH 的四次群为宜。因为,SDH 的映射结构提供了 PDH 的一、三、四次群的映射接口,而没有提供二、五次群的接口,因此,二、五次群必须拆分成一、四次群之后才能映射进 SDH,从而造成光端机和复用设备的浪费。

1.3.4 SDH 的发展趋势

采用 SDH 系统之后,网络集成更加方便,网络运行成本大大下降。世界各国都在增大投资建设 SDH 网络,建设的重点和方向依赖于新的应用和新的网络性能。比如,网络的存活性、宽带业务和用户网络的管理等等。贝尔通信研究中心(Bellcore)对局间网络使用 SDH/SONET(有关 SDH 和 SONET 的差别将在后面说明)的发展情况做了分析和预测,分析表明,在新业务发展当中,SDH/SONET 的传输都将采用光纤传输系统,而非光纤传输系统都将被其所取代。根据其分析结果,到 1997 年,通信网络中将有 50%的线路与系统采用 SDH/SONET 体制,到 2003 年则上升到 99%。

SDH/SONET 的发展可以分成两个阶段。第一阶段包括现在使用的点对点系统,第二阶段包括兼容第一阶段系统的 ADMs 和 DXCs 等。现在许多国家的 SDH/SONET SHR(自愈环)也已初具规模,在以后的发展中 SDH/SONET 必定能够提供包括 ATM 交换在内的数字交换接口。

1.4 网络的存活性

局间光纤传输系统的迅速增加以及网络之间采用全光纤连接的趋势使得光纤通信网络的存活性问题日趋重要。由于传输的线路变得更少,每条线路所载的业务却变得更多,而这些业务又需传送到少数几个重要的节点上(如光纤集线器上),因此如果某个节点发生了故障,将会使更多的用户遭受更大的损失。1991 年 1 月 AT&T 网络在纽约处的光缆断开,使出入纽约的 60%的话音和数据业务中断,其中包括三个重要的商用飞机场,业务中断时间在十小时左右。主要的中心局因火灾而引起的业务中断也屡见不鲜:1975 年和 1987 年纽约就各发生一次,1988 年美国伊利诺斯州的某地区也遭此事故。该地区的中心局因大楼起火,致使其居民和商业用户以及芝加哥周围的群体共约五十万用户的话音和数据通信受到影响,由于这次事故受影响的不仅仅是该中心局,还包括周围的中心局,因而影响面积更大,直到四个星期之后才使网络重新运行。与此相比,如果今天电话网上某处起火,由于网络采用网孔拓扑,则受影响的用户只是少数,只有与起火的中心局直接相连的用户才会使业务受到影响,1975 年和 1987 年纽约中心局的两次火灾均未遭受太大的损失,就是由于采用了这种拓扑方式。

业务中断对业务提供者来说既产生有形的损失又产生无形的损失,这些损失有营业收入损失、器材损失、网络恢复费用、法律费用、不利的用户关系、很具有竞争力的优点的消失以及信誉的下降等。AT&T 在 1989 年进行了一次调查,结果表明:16% 的公司近年来遭受了电信故障导致财政收入受到影响(许多公司不只一次受到影响);15% 的公司宣称在电信故障期间,每小时的业务损失费用有 100,000 美元以上。

网络故障可以由硬件或软件的问题引起,也可以是自然灾害造成的。据贝尔通信研究中心 Bellcore 报道,在网络发生故障当中,光缆切断是很常见的系统故障,大多数光缆切断是由自然灾害或者不注意挖断而造成的。1990 年 1 月因软件故障而导致的业务中断人人皆知,它是 AT&T 的 4ESS 交换软件出现了问题,致使六千五百万长途电话中断约九小时之久。火灾或其他自然灾害而造成的通信故障不很常见,但是,一旦发生,影响就特别严重。

SDH 网络引入了自愈网的概念,从而非常有效地防止了因线路设备故障而导致的业务中断。利用自愈网,无需人为干预,网络就能在极短的时间内从失效故障中自动恢复所运装的业务,使用户几乎不受影响,使通信网络的存活能力大为增强,使业务提供者和用户的损失降低到最低限度。

第2章 同步信号复用和映射方法

同步信号复用和映射方法是 SDH 最具特色的内容之一,也是 SDH 的根本和精华所在。本章首先讲述光纤数字传输的有关基本概念,再具体讲述同步复用的原理、结构,以及指针和通道开销的实现,最后来讨论各种信号的映射方法。

2.1 光纤传输系统

要理解光纤网络的结构及其运行,就必须知道光纤传输系统的工作原理。本节回顾光纤传输系统及其信号的特征,以便为不熟悉光纤网络传输系统的读者提供基本的概念。

2.1.1 系统组成

如图 2.1.1 所示,光纤传输系统包括发送机、接收机、光缆、接头和连接器。发送机将信号调制成光脉冲并输送到光纤中。光纤则是将光信号送至接收机的传输媒质,一定数目的光纤装在一起再加上外套即变成光缆,它可以防止光纤产生过大的应力,并避免光纤的微弯损耗。放置在光缆中的光纤数目由实际应用来决定,通常容纳的数值在 12 到 144 之间。接收机探测光信号,将其译码后再转换成电信号,以利于接收终端设备(例如 TM,ADM,DXC)处理。连接器用于两光纤之间,或者光纤与端机(发送机或接收机)之间的暂时性连接。而接头则是用于两光纤之间的永久性的连接结点。中继器是在传输距离超过门限值之后信号变弱,为使接收机能重新探测到信号而进行光信号放大的设备。中继器是单向设备,其中包括发送机和接收机。远距离传输过来的信号到达中继器的接收机后,中继器对信号再生,然后再通过其发送机将信号传送到光纤中。

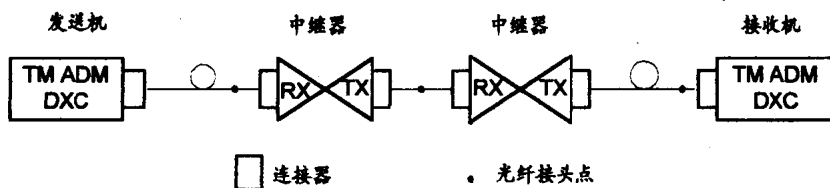


图 2.1.1 光纤系统的组成

1. 光纤

光纤分为两种:单模光纤和多模光纤。光射线通过多模光纤时有多种模式存在,而通过单模光纤时则只有一种模式存在。光纤的容量有两个限制因素:衰减和色散。当光纤接收有杂光或者有瑞利散射发生时,常会产生衰减,从而导致功率损耗,由于衰减而引起的功率损耗可用下式计算:

$$\text{损耗(dB)} = -10\lg(\text{输出功率}/\text{输入功率})$$

衰减与波长有关,最小的衰减在波长为 1300nm 和 1500nm 两个窗口。单模光纤的工作波

长常选用 1300nm, 由于多模光纤有较严重的色散, 因此, 单模光纤的中继距离要比多模光纤的中继距离长。例如, 在光纤分布式数据接口 FDDI 中, 利用多模光纤传送速率约为 100Mbps 的信号每两、三公里就需要一个中继器, 而单模光纤在传送更高速率的信号(比如 600Mbps)时中继距离可以更长(可达 50km)。单模光纤在 1300nm 处的损耗低于 0.4dB/km。

使用接头和连接器连接光纤也会产生衰减。连接单模光纤时的接头和连接器衰减要比连接多模光纤时大, 但是综合考虑光纤的衰减, 单模光纤的总的衰减还是要比多模光纤小。在波长 1300nm 处单模光纤的接头和连接器损耗分别低于 0.1dB 和 0.5dB。色散是由于光脉冲在光纤中传播时脉冲展宽引起的, 它限制数据的传输速率。在波长为 1300nm 单模光纤的色散要比多模光纤的色散低得多, 这是由于单模光纤在 1300nm 处存在一个零频率色散的缘故, 频率色散是材料色散和波导色散的总和, 因此单模光纤的数据传输速率要比多模光纤高得多。多模光纤的最高传输速率约为 300Mbps, 中继距离低于 20km, 而单模光纤的传输速率已达 2.5Gbps, 且中继距离超过 35km。

工作在 1500nm 的单模光纤也已经实用了, 与 1300nm 的单模光纤相比, 1500nm 的单模光纤有较高的频率色散, 但其功率损耗则降低了一半。

由于长途网络中均使用单模光纤, 因此本书后面讲到的光纤, 除非特别说明, 均指单模光纤。

2. 发送机

光纤传输系统中的发送机有两种类型: 发光二极管型 LED 和半导体激光器型 LD。通常, LED 型发送机便宜, 输出功率低, 适合于中等速率(200Mbps 以下)的短距离通信; 而半导体激光器型发送机昂贵, 输出功率高, 适合于高速率(大于 1Gbps)的远距离通信。这两种类型的发送机的工作波长均可在 1300nm 和 1500nm 处, 但是半导体激光器型发机更适合于用单模光纤传输。

3. 接收机

接收机是探测进入的光信号并将其转换为电信号的设备。信号质量由信号的强弱和噪声来决定, 常用信噪比 SNR 和误码率 BER 来度量。在光纤系统中, BER 比 SNR 更易于测量。理论上, SNR 大于 16dB 就相当于 BER 低于 10^{-9} , 而实际上 SNR 要大于 20dB 才相当于 BER 低于 10^{-9} 。BER 的最大容限与系统传送的业务有关, 例如, 话音业务的 BER 最大容限可达到 10^{-3} 而数据业务的 BER 总阈值却下降到 10^{-9} 。

2.1.2 中继距离的计算

光纤系统设计人员必须明白光纤中继距离的设计, 从而才能知道引入的新设备(如光交换机或者波分复用器)对原系统的影响程度。光纤系统设计要考虑的最重要的因素是功率预算, 即从发送机发送出来的光功率除去系统的所有损耗之后, 在接收端仍能使接收机探测到应有的信号功率。接收机能接收的最小功率称为接收机的灵敏度, 它与 BER 的阈值有关。发送机的输出功率与接收机的灵敏度的差称为系统增益。设计人员对接收机的灵敏度应留有一定的余量以防系统性能降低时不能正常工作, 同时也有利于支持以后网络的新业务。根据应用情况、BER 的性能要求以及所需费用等, 功率余量通常为 3 至 10dB。功率预算常利用等式:

$$(\text{发送机输出功率}) - (\text{接收机灵敏度}) = (\text{系统损耗总和}) + (\text{功率余量})$$

光纤系统中的功率损耗包括端机到光纤的耦合损耗、连接器损耗、接头损耗和光纤损耗。

中继距离是接收机在一定的误码率 BER 下信号不经过再生所能传输的最大距离, 中继距