

主编◎李淑艳

光传输网络与技术

GUANGCHUANSHU WANGLUO YU JISHU

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

光传输网络与技术

李淑艳 主 编

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书内容围绕传输技术发展的历程,重点研究了光网络技术的发展、应用及传输现场的基础维护。

本书主要讲述 SDH、MSTP、DWDM、OTN、PTN 五种光传输技术的应用。针对五种技术,主要从概述、产生背景、关键技术三方面进行描述,合理地设置教学情境和学习型工作任务。

本书概念清晰、内容丰富,理论与实践紧密联系,重点突出实践,可作为高等院校通信类专业的教材,也可作为光传输工程培训用书及传输工程技术人员的参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

光传输网络与技术/李淑艳主编. —北京:北京理工大学出版社, 2017. 8

ISBN 978-7-5682-4670-5

I. ①光… II. ①李… III. ①光纤通信-同步通信网-高等学校-教材 IV. ①TN929. 11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 203176 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京市国马印刷厂

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 13.5

字 数 / 318 千字

版 次 / 2017 年 8 月第 1 版 2017 年 8 月第 1 次印刷

定 价 / 52.00 元

责任编辑 / 王玲玲

文案编辑 / 王玲玲

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

前言

Preface

近年来,各个运营商全业务的开展、各种业务需求的变化,对光传送网提出了新的要求。特别是近两年,光通信再次站在了技术革新的路口,以40G/100G、OTN、PTN为代表的新技术,正在将光网络向智能化、分组化和大宽带容量方向发展,所有这些应用都对大容量通信提出了更高的要求,光通信技术正朝着高速度、大容量、可扩展性好的方向发展。本书依据传输技术发展的历程,重点研究了光网络技术的发展、应用及传输现场的基础维护。

全书共分6章。第1章是SDH技术,主要介绍了SDH的基础理论知识、SDH网元设备逻辑组成及其信号告警流程、SDH网络及其自愈能力、SDH同步。第2章是MSTP技术,主要介绍了MSTP产生背景、MSTP概念、MSTP发展历程、MSTP关键技术。第3章是DWDM技术,主要介绍了DWDM技术概要和实现DWDM通信的关键技术。第4章是PTN技术,主要介绍了PTN的概念、产生背景、PTN的特点、PTN的关键技术PWE3、PTN VPN和PTN的保护机制。第5章是OTN技术,主要介绍了OTN的特点、OTN光传送模块帧结构和开销的定义、OTN的物理接口、OTN设备功能块的定义、OTN的抖动和漂移性能。第6章主要介绍了传输现场基础维护,主要是常见的传输设备、各类传输设备常见告警(面板与头柜)及含义、日常维护项目与注意事项、基本维护操作。

本书概念清晰、内容丰富,理论与实践紧密联系,重点突出实践。本书可作为高等院校通信技术、电子信息等专业相关课程的教材,实现高等院校毕业生零距离上岗要求;也可以供工程技术人员学习、参考。

在编写过程中,编者学习了大量光传输原理的前辈著作,感觉获益匪浅,在此向这些同行和前辈致敬!

限于编著者的水平,本书难免有疏漏之处,敬请广大读者批评指正,以使本教材渐趋完善,也更符合职业教育和培训的需要。

编者

目 录

Contents

► 第1章 SDH 原理	1
1.1 SDH 概述	1
1.1.1 SDH 产生的技术背景	1
1.1.2 与 PDH 相比, SDH 有哪些优势	4
1.1.3 SDH 的缺陷	6
1.2 SDH 信号的帧结构和复用步骤	6
1.2.1 SDH 信号 STM-N 的帧结构	6
1.2.2 SDH 的复用结构和步骤	8
1.2.3 映射、定位和复用的概念	16
1.2.4 小结	17
1.3 开销和指针	17
1.3.1 开销	17
1.3.2 指针	24
1.3.3 管理单元指针 AU-PTR	24
1.4 SDH 设备的逻辑组成	27
1.4.1 SDH 网络的常见网元	27
1.4.2 SDH 设备的逻辑功能块	29
1.5 SDH 网络结构和网络保护机理	41
1.5.1 基本的网络拓扑结构	41
1.5.2 链形网和自愈环	42
1.5.3 链形网	42
1.5.4 环形网自愈环	43
1.5.5 复杂网络的拓扑结构及特点	51
1.6 光接口类型和参数	53
1.6.1 光纤的种类	53
1.6.2 光接口类型	54
1.6.3 光接口参数	54
1.7 定时与同步	56
1.7.1 引言	56
1.7.2 同步方式	57
1.7.3 SDH 同步定时参考信号来源	58

1.7.4	主从同步网中从时钟的工作模式	58
1.7.5	SDH 的引入对网同步的要求	59
1.7.6	我国同步网现状	59
1.7.7	同步定时信号的传输	60
1.7.8	BITS 的模块划分	61
1.7.9	SDH 网的同步方式	62
1.7.10	SDH 设备的同步方式	64
1.7.11	网同步工作的举例	65
1.8	传输性能	68
1.8.1	误码性能	68
1.8.2	可用性参数	70
1.8.3	抖动漂移性能	70
	思考与练习	72
► 第 2 章 MSTP 技术简介		74
2.1	MSTP 概述	74
2.1.1	MSTP 技术的发展状况	74
2.1.2	MSTP 技术的标准状况	76
2.2	MSTP 的原理及技术特点	76
2.2.1	MSTP 的原理	76
2.2.2	MSTP 的关键技术	77
2.2.3	MSTP 的性能分析	82
2.2.4	MSTP 的技术特点	84
2.3	MSTP 设备及组网	85
2.3.1	设备介绍	85
2.3.2	业务接入能力	86
2.3.3	网管操作说明	87
2.3.4	格林威尔公司 MSAP 设备介绍	88
	思考与练习	89
► 第 3 章 DWDM 简要原理		91
3.1	什么是波分复用	91
3.2	波分复用系统对光纤的要求	92
3.3	波分复用系统关键器件	92
3.3.1	分波/合波器件	93
3.3.2	光源	93
3.3.3	掺铒光纤放大器 (EDFA)	94

3.4	光监控信道 (OSC)	95
3.5	DWDM 的应用方式	96
3.6	DWDM 网络单元	97
3.7	DWDM 的组网形式	97
3.8	DWDM 的优点	98
	思考与练习	99
<hr/>		
►	第 4 章 PTN 技术	100
<hr/>		
4.1	PTN 技术概述	100
4.1.1	PTN 技术产生的背景	100
4.1.2	PTN 技术基本概念和特点	101
4.1.3	PWE3 技术	103
4.1.4	PTN 网络生存性	105
4.1.5	PTN 发展现状及趋势	106
4.2	PWE3 原理	107
4.2.1	技术简介	107
4.2.2	关键技术	112
4.3	MPLS VPN	115
4.3.1	MPLS 体系结构	115
4.4	PTN 保护机制	125
4.4.1	网络级保护 (L2 VPN)	126
4.4.2	L3VPN 技术	130
4.5	VLAN	133
	思考与练习	137
<hr/>		
►	第 5 章 OTN 技术	138
<hr/>		
5.1	OTN 概述	138
5.1.1	OTN 光传送网的产生	138
5.1.2	OTN 光传送网的特点	139
5.1.3	OTN 节点设备类型	141
5.1.4	OTN 与现有光传送网络的关系	142
5.2	OTN 光网络的分层结构	143
5.3	OTN 光传送模块帧结构和开销的定义	148
5.3.1	ODUk 光数字单元	148
5.3.2	OTUk 光传送单元	149
5.3.3	OCh 光通道	149
5.3.4	Oms 光复用段	150

5.3.5	OTS 光传输段	150
5.3.6	NNI 接口	150
5.3.7	ODUk 子层的信号传送模块帧结构和开销信息	153
5.3.8	OPUk 的信号帧结构和开销信息	157
5.4	OTN 的光物理接口	158
5.5	OTN 设备功能块的定义	162
5.5.1	客户光段层业务信号接口功能块	162
5.5.2	ODUk 子层的功能块	163
5.5.3	OTUk 子层的功能块	164
5.5.4	OCh 子层的功能块	164
5.5.5	OMS 子层的功能块	165
5.5.6	OTS 子层的功能块	166
5.6	OTN 的网络保护	167
5.7	OTN 的抖动和漂移性能	170
5.7.1	OTUk 接口 (NNI) 允许输出的最大抖动和漂移	170
5.7.2	OTUk 接口 (NNI) 的输入抖动和漂移容限	171
5.7.3	OTU1 接口 (NNI) 的输入抖动和漂移容限	171
5.7.4	OTU2 接口 (NNI) 的输入抖动和漂移容限	171
5.7.5	OTU3 接口 (NNI) 的输入抖动和漂移容限	172
5.8	大容量超长距离光传输	172
	思考与练习	175
▶ 第 6 章 传输现场基础维护		177
6.1	现场维护基础	177
6.1.1	传输的基本概念	177
6.1.2	常见的传输设备、结构	177
6.1.3	各类传输设备常见告警 (面板与头柜) 及含义	178
6.1.4	DDF、ODF 架资料及相关资料的查询	178
6.1.5	小 PDH 光端机	179
6.1.6	注意事项	179
6.2	基本维护操作	181
6.2.1	电路环路、调度与测试	181
6.2.2	使用万用表测试中继电缆	182
6.2.3	环回	182
6.2.4	尾纤的插拔	185
6.2.5	光接口清洁操作	186
6.2.6	光功率测试	187
6.2.7	误码测试	189

6.2.8 单板的插拔和更换	190
6.2.9 单板复位	193
6.2.10 设备告警声音切除	193
思考与练习	193
▶ 附录	195
▶ 参考文献	204

第 1 章

SDH 原理

学习目的

1. 掌握 PDH、SDH 的定义及 SDH 的速率等级、光接口规范和复用方式
2. 掌握 SDH 的块状帧结构及低速信号复用至 STM-N 的三个步骤
3. 掌握段开销中 B1、B2 等几个常用的开销字节的含义
4. 掌握 SDH 网络常见的四种网元类型及基本的网络拓扑结构
5. 掌握 SDH 网络自愈功能的定义

1.1 SDH 概述

1.1.1 SDH 产生的技术背景

在讲 SDH 传输体制之前，首先要清楚 SDH 到底是什么。那么，SDH 是什么呢？SDH 即同步数字传输体制，由此可见，SDH 是一种传输的体制协议，就像 PDH 准同步数字传输体制一样。SDH 规范了数字信号的帧结构、复用方式、传输速率等级、接口码型等特性。

那么，SDH 产生的技术背景是什么呢？

我们知道，当今社会是信息社会，高度发达的信息社会要求通信网能提供多种多样的电信业务，通过通信网传输、交换处理的信息量将不断增大，这就要求现代化的通信网向数字化、综合化、智能化和个人化方向发展。

目前传统的由 PDH 传输体制组建的传输网，其复用的方式已不能满足信号大容量传输的要求，且 PDH 体制的地区性规范也使网络互连增加了难度。由此可见，在通信网向大容量标

准化发展的今天, PDH 的传输体制已经逐渐成为现代通信网的瓶颈, 制约了传输网向更高的速率发展。

传统的 PDH 传输体制的缺陷体现在以下几个方面。

1. 接口方面

在接口方面, 只有地区性的电接口规范, 不存在世界性标准。现有的 PDH 数字信号序列有三种信号速率等级: 欧洲系列、北美系列和日本系列, 各种信号系列的电接口速率等级及信号的帧结构复用方式均不相同, 这种局面造成了国际互通的困难, 不适应当前随时随地便捷通信的发展趋势。我国采用的是欧洲系列。三种信号系列的电接口速率等级如图 1-1-1 所示。

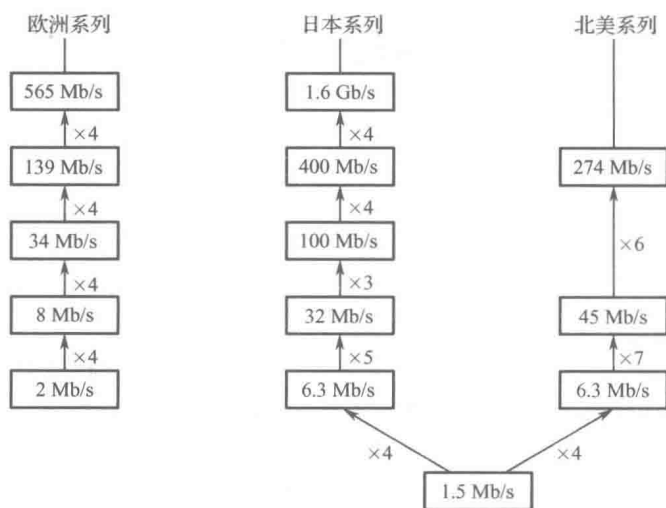


图 1-1-1 电接口速率等级

为了完成设备对光路上的传输性能进行监控, 各厂家采用自行开发的线路码型。典型的例子是 $mBnB$ 码, 其中 mB 为信息码, nB 是冗余码, 冗余码的作用是实现设备对线路传输性能的监控功能。由于冗余码的接入, 同一速率等级上光接口的信号速率大于电接口的标准信号速率。这样, 不仅增加了发光器的光功率代价, 而且由于各厂家在进行线路编码时, 为完成不同的线路监控功能, 在信息码后加上不同的冗余码, 导致不同厂家同一速率等级的光接口码型和速率也不一样, 不同厂家的设备无法实现横向兼容。这样, 在同一传输路线两端就必须采用同一厂家的设备, 给组网管理及网络互通带来困难。

2. 复用方式

现在的 PDH 体制中只有 1.5 Mb/s 和 2 Mb/s 速率的信号 (包括日本系列 6.3 Mb/s 速率的信号) 是同步的, 其他速率的信号都是异步的, 需要通过码速的调整来匹配和容纳时钟的差异。由于 PDH 采用异步复用方式, 当低速信号复用到高速信号时, 其在高速信号的帧结构中的位置便没有规律性和固定性。也就是说, 在高速信号中不能确认低速信号的位置, 而这一点正是能否从高速信号中直接分/插出低速信号的关键所在。正如你在一堆人中寻找一个没见过的人时, 若这一堆人排成整齐的队列, 那么你只要知道所要找的人站在第几排和第几列就可以将他找出来。若这一堆人杂乱无章地站在一起, 要找到你想找的人, 就只能按照片一个

一个地去找了。

既然 PDH 采用异步复用方式，那么，从 PDH 的高速信号中就不能直接地分/插出低速信号。例如，不能从 140 Mb/s 的信号中直接分/插出 2 Mb/s 的信号，这就会引起两个问题：

① 从高速信号中分/插出低速信号，要一级一级地进行。例如，从 140 Mb/s 的信号中分/插出 2 Mb/s 的低速信号要经过图 1-1-2 所示过程。

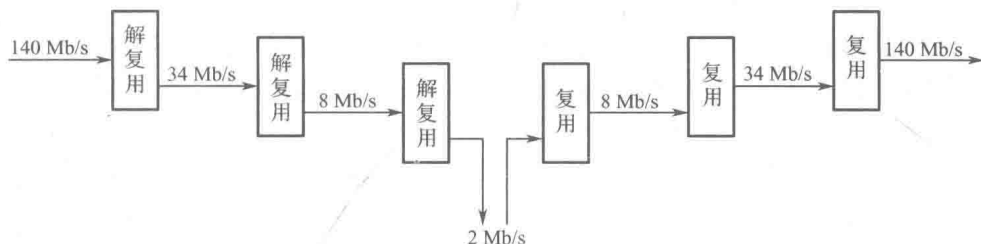


图 1-1-2 从 140 Mb/s 信号中分/插出 2 Mb/s 信号示意图

从图中可以看出，在将 140 Mb/s 信号分/插出 2 Mb/s 信号过程中，使用了大量的背靠背设备，通过三级解复用设备从 140 Mb/s 的信号中分出 2 Mb/s 低速信号，再通过三级复用设备将 2 Mb/s 的低速信号复用到 140 Mb/s 信号中。一个 140 Mb/s 信号可复用进 64 个 2 Mb/s 信号，若在此处仅仅从 140 Mb/s 信号中上/下一个 2 Mb/s 的信号，也需要全套的三级复用和解复用设备，这样不仅增加了设备的体积、成本、功耗，还增加了设备的复杂性，降低了设备的可靠性。

② 由于低速信号分/插到高速信号要通过层层的多复用和解复用过程，这样就会使信号在复用/解复用过程中产生的损伤加大，使传输性能劣化。在大容量传输时，此种缺点是不能容忍的，这也就是 PDH 体制传输信号的速率没能更进一步提高的原因。

3. 运行维护方面

PDH 信号的帧结构里用于运行维护工作 (OAM) 的开销字节不多，这也就是为什么在设备进行光路上的线路编码时，要通过增加冗余编码来完成线路性能监控功能。由于 PDH 信号运行维护工作的开销字节少，这对于完成传输网的分层管理、性能监控、业务的实时调度、传输带宽的控制、告警的分析定位是很不利的。

4. 没有统一的网管接口

由于没有统一的网管接口，这就使得买一套某厂家的设备，就需买一套该厂家的网管系统，容易形成网络的七国八制的局面，不利于形成统一的电信管理网。

以上种种缺陷使 PDH 传输体制越来越不适应传输网的发展。于是美国贝尔通信研究所首先提出了用一整套分等级的标准数字传递结构组成的同步网络 (SONET) 体制，国际电报电话咨询委员会 (CCITT) 于 1988 年接受了 SONET 概念，并重命名为同步数字体系 SDH，使其成为不仅适用于光纤传输，也适用于微波和卫星传输的通用技术体制。本书主要讲述 SDH 体制在光纤传输网上的应用。

你也许在资料中看过 SDH 信号能直接从高速信号中下低速信号，如直接从 622 Mb/s 信号中下 2 Mb/s 信号，这种特性与 SDH 所特有的同步复用方式有关。既然是同步复用方式，那么低速信号在高速信号帧中的位置是可预见的，于是从高速信号中直接下低速信号就变成一件很容易的事。

1.1.2 与 PDH 相比, SDH 有哪些优势

SDH 传输体制是由 PDH 传输体制进化而来的, 它具有 PDH 体制所无可比拟的优点。它是不同于 PDH 体制的全新一代传输体制, 与 PDH 相比, 其在技术体制上进行了根本的变革。

SDH 概念的核心是从统一的国家电信网和国际互通的高度来组建数字通信网, 是构成综合业务数字网 (ISDN), 特别是宽带综合业务数字网 (B-ISDN) 的重要组成部分。那么怎样理解这个概念呢? 因为与传统的 PDH 体制不同, 按 SDH 组建的网是一个高度统一的标准化的、智能化的网络, 它采用全球统一的接口, 以实现设备多厂家环境的兼容, 在全程全网范围实现高效的、协调一致的管理和操作, 实现灵活地组网与业务调度, 实现网络自愈功能, 提高网络资源利用率。由于维护功能的加强, 大大降低了设备的运行维护费用。下面就 SDH 所具有的优势, 从几个方面进一步说明 (注意与 PDH 体制相对比)。

1. 接口方面

(1) 电接口方面。

接口的规范化与否是决定不同厂家的设备能否互连的关键。SDH 体制对网络节点接口 NNI 做了统一的规范。规范的内容有数字信号速率等级、帧结构、复接方法、线路接口、监控管理等。于是这就使 SDH 设备容易实现多厂家互连, 也就是说, 在同一传输线路上可以安装不同厂家的设备, 体现了横向兼容性。

SDH 体制有一套标准的信息结构等级, 即有一套标准的速率等级。基本的信号传输结构等级是同步传输模块——STM-1, 相应的速率是 155 Mb/s, 高等级的数字信号系列, 如 622 Mb/s (STM-4)、2.5 Gb/s (STM-16) 等, 可通过将低速率等级的信息模块, 如 STM-1, 通过字节间插同步复用而成, 复用的个数是 4 的倍数。例如, $STM-4=4\times STM-1$, $STM-16=4\times STM-4$ 。

技术细节

什么是字节间插复用方式呢?

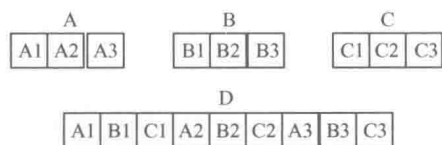


图 1-1-3 字节间插复用

以一个例子来说明。有三个信号帧结构 A、B、C, 每帧各为 3 个字节, 若将这三个信号通过字节间插复用方式复用成信号 D, 那么 D 就应该是这样一种帧结构, 帧中有 9 个字节, 且这 9 个字节的排放次序如图 1-1-3 所示。

(2) 光接口方面。

线路接口 (这里指光口) 采用世界性统一标准规范。SDH 信号的线路编码仅对信号进行扰码, 不再进行冗余码的插入。扰码的标准是世界统一的, 这样对端设备仅需通过标准的解码器就可与不同厂家 SDH 设备进行光口互连。扰码的目的是抑制线路码中的长连 0 和长连 1, 便于从线路信号中提取时钟信号。由于线路信号仅通过扰码, 所以 SDH 的线路信号速率与 SDH 电口标准信号速率相一致, 这样就不会增加发端激光器的光功率代价。

2. 复用方式

由于低速 SDH 信号是以字节间插方式复用进高速 SDH 信号的帧结构中的, 这样就使低

速 SDH 信号在高速 SDH 信号的帧中的位置是固定的、有规律的，也就是说，是可预见的，这样就能从高速 SDH 信号如 2.5 Gb/s (STM-16) 中直接分/插出低速 SDH 信号，如 155 Mb/s (STM-1)，从而简化了信号的复接和分接，使 SDH 体制特别适用于高速大容量的光纤通信系统。

另外，由于采用了同步复用方式和灵活的映射结构，可将 PDH 低速支路信号，如 2 Mb/s 复用进 SDH 信号的帧中去 (STM-N)，这样使低速支路信号在 STM-N 帧中的位置也是可预见的，于是可以从 STM-N 信号中直接分/插出低速支路信号，注意此处不同于前面所说的从高速 SDH 信号中直接分/插出低速 SDH 信号，此处是指从 SDH 信号中直接分/插出低速支路信号，如 2 Mb/s、34 Mb/s 与 140 Mb/s 等低速信号，于是节省了大量的复接/分接设备（背靠背设备），增加了可靠性，减少了信号损伤、设备成本功耗、复杂性等，使业务的上/下更加简便。

SDH 的这种复用方式使数字交叉连接设备 (DXC) 功能更易于实现，使网络具有了很强的自愈功能，便于用户按需动态组网，进行实时灵活的业务调配。

技术细节

什么是网络自愈功能？

网络自愈是指当业务信道损坏，导致业务中断时网络会自动将业务切换到备用业务信道，使业务能在较短的时间 (ITU-T 规定为 50 ms) 内得以恢复正常传输。注意，这里仅指业务得以恢复，而发生故障的设备和发生故障的信道则还是需要人去修复的。

那么，为达到网络自愈功能，除了设备具有 DXC 功能，完成将业务从主用信道切换到备用信道外，还需要有冗余的信道、冗余设备。

3. 运行维护方面

SDH 信号的帧结构中安排了丰富的用于运行维护 OAM 功能的开销字节，使网络的监控功能大大加强，也就是说，维护的自动化程度大大加强。PDH 的信号中开销字节不多，以至于在对线路进行性能监控时，还要通过在线路编码时加入冗余比特来完成。以 PCM30/32 信号为例，其帧结构中仅有 TS0 时隙和 TS16 时隙中的比特用于 OAM 功能。

SDH 信号丰富的开销占用整个帧所有比特的 1/20，大大加强了 OAM 功能，这样就使系统的维护费用大大降低。

4. 兼容性

SDH 有很强的兼容性。这也就意味着当组建 SDH 传输网时，原有的 PDH 传输网不会作废，两种传输网可以共同存在，也就是说，可以用 SDH 网传送 PDH 业务。另外，异步转移模式的 ATM、FDDI 信号等其他体制的信号也可用 SDH 网来传输。

那么，SDH 传输网是怎样实现这种兼容性的呢？

SDH 网中用 SDH 信号的基本传输模块 (STM-1) 可以容纳 PDH 的三个数字信号系列和其他的各种体制的数字信号系列——异步传输模式 (ATM)、光纤分布式数据接口 (FDDI)、分布式队列双总线 (DQDB) 等，从而体现了 SDH 的前向兼容性和后向兼容性，确保了 PDH 网向 SDH 网和 SDH 向 ATM 的顺利过渡。SDH 是怎样容纳各种体制信号的呢？很简单，SDH 把各种体制的低速信号在网络边界处 (例如 SDH/PDH 起点) 复用进 STM-1 信号的帧结构中，在网络边界处终点再将它们拆分出来即可，这样就可以在 SDH 传输网上传输各种体制的数字信号了。

在 SDH 网中, SDH 的信号实际上起着运货车的功能, 它将各种不同体制的信号(本书中主要是指 PDH 信号)像货物一样打成不同大小的速率级别包, 然后装入货车(装入 STM-N 帧中), 在 SDH 的主干道上传输。在收端, 从货车上卸下打成货包的货物(其他体制的信号), 然后拆包恢复成原来体制的信号, 这也形象地描述了不同体制的低速信号复用进 SDH 信号(STM-N)在 SDH 网上传输和最后拆分出原体制信号的全过程。

1.1.3 SDH 的缺陷

凡事有利就有弊, SDH 的这些优点是以牺牲其他方面为代价的。

1. 频带利用率低

有效性和可靠性是一对矛盾, 增加了有效性, 必将降低可靠性, 增加了可靠性, 也会相应地使有效性降低。例如, 收音机的选择性增加, 可选的电台就增多, 这样就提高了选择性, 但是由于这时通频带相应地会变窄, 必然会使音质下降, 也就是可靠性下降。相应地, SDH 的一个很大的优势是系统的可靠性大大地增强了, 运行维护的自动化程度高。这是由于在 SDH 的信号 STM-N 帧中加入了大量的用于 OAM 功能的开销字节, 这样必然会使在传输同样多有效信息的情况下, PDH 信号所占用的频带(传输速率)要比 SDH 信号所占用的频带(传输速率)窄, 即 PDH 信号所用的速率低。例如, SDH 的 STM-1 信号可复用进 63 个 2 Mb/s 或 3 个 34 Mb/s(相当于 48×2 Mb/s)或 1 个 140 Mb/s(相当于 64×2 Mb/s)的 PDH 信号。只有当 PDH 信号是以 140 Mb/s 的信号复用进 STM-1 信号的帧时, STM-1 信号才能容纳 64×2 Mb/s 的信息量, 但此时它的信号速率是 155 Mb/s, 要高于 PDH 同样信息容量的 E4 信号(140 Mb/s)。也就是说, STM-1 所占用的传输频带要大于 PDH E4 信号的传输频带, 二者的信息容量是一样的。

2. 指针调整机理复杂

SDH 体制可从高速信号(例如 STM-1)中直接下低速信号(例如 2 Mb/s), 省去了多级复用/解复用过程, 而这种功能的实现是通过指针机理来完成的。指针的作用就是时刻指示低速信号的位置, 以便在拆包时能正确地拆分出所需的低速信号, 保证了 SDH 从高速信号中直接下低速信号功能的实现。可以说指针是 SDH 的一大特色, 但是指针功能的实现增加了系统的复杂性, 最重要的是使系统产生 SDH 的一种特有抖动——由指针调整引起的结合抖动, 这种抖动多发于网络边界处(SDH/PDH), 其频率低, 幅度大, 会导致低速信号在拆出后性能劣化。这种抖动的滤除会相当困难。

1.2 SDH 信号的帧结构和复用步骤

1.2.1 SDH 信号 STM-N 的帧结构

SDH 信号需要什么样的帧结构呢?

STM-N 信号帧结构的安排应尽可能使支路低速信号在一帧内均匀有规律地分布, 这样便于实现支路的同步复用、交叉连接(DXC)、分/插和交换, 即为了方便地从高速信号中直接上/下低速支路信号。鉴于此, ITU-T 规定了 STM-N 的帧是以字节(8 bit)为单位的矩形块状

帧结构，如图 1-2-1 所示。

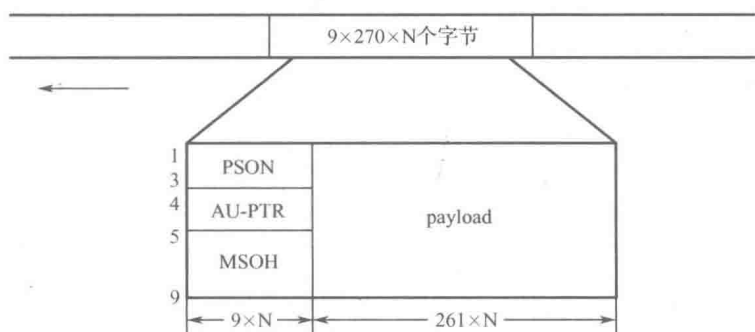


图 1-2-1 STM-N 帧结构图

诀窍

块状帧是什么呢？

为了便于对信号进行分析，往往将信号的帧结构等效为块状帧结构。这不是 SDH 信号所特有的。PDH 信号、ATM 信号、分组交换的数据包，它们的帧结构都算是块状帧，如 E1 信号的帧是由 32 个字节组成的 1 行 32 列的块状帧；ATM 信号是由 53 个字节构成的块状帧，将信号的帧结构等效为块状仅仅是为了分析的方便。

从图 1-2-1 可以看出，STM-N 的信号是 9 行 270×N 列的帧结构，此处的 N 与 STM-N 中的 N 相一致（取值范围为 1、4、16、64），表示此信号由 N 个 STM-1 信号通过字节间插复用而成。由此可知，STM-1 信号的帧结构是 9 行 270 列的块状帧。当 N 个 STM-1 信号通过字节间插复用成 STM-N 信号时，仅仅是将 STM-1 信号的列按字节间插复用，行数恒定为 9 行。

我们知道，信号在线路上传输时是一个比特一个比特地进行的，那么这个块状帧是怎样在线路上进行传输的呢？STM-N 信号的传输也遵循按比特的传输方式，SDH 信号帧传输的原则是帧结构中的字节（8 bit）从左到右，从上到下，一个字节一个字节、一个比特一个比特地传输，传完一行再传下一行，传完一帧再传下一帧。

STM-N 信号的帧频是多少呢？ITU-T 规定，对于任何级别的 STM，帧频都是 8 000 帧/s，即帧长或帧周期为恒定的 125 μs。帧周期的恒定是 SDH 信号的一大特点。而 PDH 不同等级信号的帧周期是不恒定的。由于帧周期的恒定，使 STM-N 信号的速率有其规律性，如 STM-4 的传输速率恒定地等于 STM-1 信号传输速率的 4 倍，STM-16 的速率恒定等于 STM-4 的 4 倍、STM-1 的 16 倍，而 PDH 中的 E2 信号速率≠E1 信号速率的 4 倍。SDH 信号的这种规律性，使高速 SDH 信号直接分/插出低速 SDH 信号成为可能，特别适用于大容量的传输情况。

想一想

STM-N 帧中单独一个字节的比特传输速率是多少？

STM-N 的帧频为 8 000 帧/s，这就是说，信号帧中某一特定字节每秒被传送 8 000 次，那么该字节的比特速率是 $8\,000 \times 8 \text{ bit} = 64 \text{ Kb/s}$ 。

从图 1-2-1 中可以看出，STM-N 的帧结构由三部分组成：信息净负荷（payload）、段开销（包括再生段开销（RSOH）和复用段开销（MSOH））、管理单元指针（AU-PTR）。下面讲述这三大部分的功能。

（1）信息净负荷（payload）。

信息净负荷是在 STM-N 帧结构中存放将由 STM-N 传送的各种信息码块的地方。信息净负荷区相当于 STM-N 这辆运货车的车箱，车箱内装载的货物就是经过打包的低速信号。待运输的货物为了实时监测打包的低速信号在传输过程中是否有损坏，在将低速信号打包的过程中加入了监控开销字节——通道开销 POH 字节。POH 作为净负荷的一部分与信息码块一起装载在 STM-N 这辆货车上在 SDH 网中传送，它负责对打包的低速信号进行通道性能监视管理和控制。

注意

信息净负荷并不等于有效负荷，因为在低速信号中加上了相应的 POH。

（2）段开销（SOH）。

段开销是为了保证信息净负荷正常灵活传送而必须附加的，供网络运行、管理和维护 OAM 使用的字节。段开销又分为再生段开销（RSOH）和复用段开销（MSOH），分别对相应的段层进行监控。

再生段开销在 STM-N 帧中的位置是第 1~3 行的第 1~9×N 列，共 3×9×N 个字节。复用段开销在 STM-N 帧中的位置是第 5~9 行的第 1~9×N 列，共 5×9×N 个字节。与 PDH 信号的帧结构相比较，段开销丰富是 SDH 信号帧结构的一个重要的特点。

（3）管理单元指针（AU-PTR）。

管理单元指针位于 STM-N 帧中第 4 行的 9×N 列，共 9×N 个字节。AU-PTR 起什么作用呢？我们讲过，SDH 能够从高速信号中直接分/插出低速支路信号，如 2 Mb/s。为什么会这样呢？这是因为低速支路信号在高速 SDH 信号帧中的位置有预见性，指针 AU-PTR 是用来指示信息净负荷的第一个字节在 STM-N 帧内的准确位置的指示符，以便收端能根据这个位置指示符的指针值正确分离信息净负荷。

这句话怎样理解呢？若仓库中以堆为单位存放了很多货物，每堆货物中的各件货物（低速支路信号）的摆放是有规律性的（字节间插复用），那么，若要定位仓库中某件货物的位置，只要知道这堆货物的具体位置就可以了，即只要知道这堆货物的第一件货物放在哪儿，然后通过本堆货物摆放位置的规律性，就可以直接定位出本堆货物中任一件货物的准确位置，这样就可以直接从仓库中搬运（直接分/插某一件特定低速支路信号）。AU-PTR 的作用就是指示这堆货物中第一件货物的位置。

指针有高低阶之分，高阶指针是 AU-PTR，低阶指针是 TU-PTR。支路单元指针 TU-PTR 的作用类似于 AU-PTR，只不过所指示的货物堆更小一些而已。

1.2.2 SDH 的复用结构和步骤

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，另一种是低速支路信号（例如 2 Mb/s、34 Mb/s、140 Mb/s）复用成 SDH 信号 STM-N。

第一种情况在前面已有所提及。主要通过字节间插复用方式来完成，复用的个数是四合