

"十五"国家重点图书出版规划项目: **光通信技术丛书**

高速光纤通信

ITU-T规范与系统设计

GAOSU GUANGQIAN TONGXIN ITU-T GUIFAN YU XITONG SHEJI

编著 马声全



北京邮电大学出版社
<http://www.buptpress.com>

高 速 光 纤 通 信

ITU-T 规范与系统设计

马声全 编著

北 京 邮 电 大 学 出 版 社
· 北 京 ·

内 容 简 介

全书共9章。前3章介绍光纤通信的基本特征与潜在通信容量,光纤的衰耗、色散和非线性,光发送机和光接收机与光放大器的接口特性;第4章讨论ITU-T关于高速光纤通信系统接口规范文件的形成思路;第5、6、7章分别介绍STM-4、STM-16和STM-64单通道系统的接口规范和系统设计方法;第8章叙述光波分复用的原理与规范;第9章介绍 $16 \times 2.5\text{Gbit/s}$ 、 $32 \times 10\text{Gbit/s}$ 和不等信道间隔系统的具体设计方法。

本书注意避免叙述国内已出版物反映的内容,以2000年出版的ITU-T规范文件为蓝本,加进作者自己的理解和研究内容,形成目前实用光纤通信系统的具体设计方法。书中每种系统的设计都以工程实例的形式进行阐述。

本书可作为光纤通信工程设计和光纤通信设备、器件、光纤的科研、生产、管理人员的培训教材。也可以作为高等学校光通信专业教师和学生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

高速光纤通信 ITU-T 规范与系统设计/马声全编著. —北京:北京邮电大学出版社,2002.1

(光通信技术丛书)

ISBN 7-5635-0536-9

I. 高... II. 马... III. ①光缆通信—规范—教材②光缆通信—系统设计—教材 IV. TN929.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 091168 号

书 名: 高速光纤通信 ITU-T 规范与系统设计

编 著: 马声全

责任编辑: 时友芬

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(100876)

电话传真: 010-62282185(发行部)/010-62283578(FAX)

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京源海印刷厂印刷

开 本: 787 mm × 1092 mm 1/16

印 张: 12.5

字 数: 316 千字

印 数: 1—5000 册

版 次: 2002 年 1 月第 1 版 2002 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 7-5635-0536-9/TN·246

定 价: 25.00 元

序 言

“千里眼、顺风耳”是古代人们在神话故事中的憧憬和向往,“秀才不出门,能知天下事”是人们长期以来的一种美好愿望,在信息技术高度发达的今天,都已经变成了现实。

当你坐在计算机旁尽情浏览因特网上各种丰富多彩的文字、图像和声音信息时,有没有想过在10年前,如果你想得到现在一分钟内得到信息,需要花费千万倍的时间和难以估算的人力、物力和财力?当你用廉价方便的IP电话和远在大洋彼岸的亲朋好友侃侃而谈的时候,有没有想到在20世纪70年代之前,哪怕想打一个国内长途电话,也要到电信局排上几个小时甚至整天的队的情景?曾几何时,“大哥大”还是有钱人或有权人的象征,而今天,手机已成为普通百姓的日常生活用品。这一切,都得益于通信技术的飞速发展,也是社会进步的象征。

我常说,学通信的人很累。的确,通信技术的发展太快了,新概念、新技术、新设备层出不穷,通信网所提供的业务日新月异,真有一种一天不学就要落后,就要被新技术淘汰出局的感觉。我想,一定有许多读者与我有同感。

通信网一般由交换与传输两大部分组成。传输的技术有许多种,各有千秋。然而光传送技术因其无可比拟的众多优点,在各种传输技术中独占鳌头。当今世界信息量的80%以上是通过光传送网络进行传送的。因此,光通信技术成为人们非常关注的一种通信技术。

武汉邮电科学研究院(烽火科技产业集团)是我国最早从事光通信技术研究开发的单位,是国家光纤通信技术工程研究中心、国家光电子工艺研究中心(武汉分布)、国家高技术研究发展计划成果产业化基地、信息产业部光通信产品质量监督检验中心、亚太电信组织光通信培训中心,集光纤光缆、光电子/光器件、光通信系统设备技术于一

身(迄今国内唯一的一家)。从“六五”开始,武汉邮电科学研究院就承担了国家科技攻关项目和国家“八六三”高技术研究发展计划项目近百项,产品转化率在90%以上;诞生了一个又一个光通信技术成果的国内首创,在国内光通信项目的研究上取得了一个又一个零的突破;造就了一支攻克光通信技术难关的骨干队伍,锻炼出了一大批光通信技术方面的专家。

为了使读者能对光通信技术有一个全面的了解,我们组织武汉邮电科学研究院的一批科技骨干编写了这一套介绍光通信技术的丛书。该丛书既包括了目前光通信技术发展的热点,又反映了光通信技术的发展前沿。我们将这套丛书献给奋战在光通信界的朋友们和愿意献身光通信事业的读者,目的是使更多的读者和我们一起,掌握光纤通信的最新技术,致力于发展我国的民族光通信产业,使我国的民族光通信产业在国际上占有一席之地。

只有民族的,才是世界的。

毛 谦

2001 年 10 月

目 录

第 1 章 系统设计概述

1.1 光纤通信系统	1
1.1.1 光纤通信系统的基本特征	1
1.1.2 光纤通信技术的三次飞跃	2
1.1.3 光纤通信的潜在通信容量	3
1.1.4 高速系统界定	4
1.2 ITU-T 规范建议	4
1.2.1 高速系统合成的复杂性	4
1.2.2 ITU-T 规范文件的基本特点	5
1.3 系统设计	6
1.3.1 系统设计的任务	6
1.3.2 系统设计与工程设计的区别与联系	7

第 2 章 光通路技术特性

2.1 光纤的传输和连接衰耗	8
2.1.1 光纤的传输衰耗	8
2.1.2 光纤的连接衰耗	10
2.2 光纤的色散特性	10
2.2.1 色散与色散补偿机理	10
2.2.2 光纤的脉冲展宽、带宽与色散系数	12
2.2.3 零色散斜率	14
2.3 光纤的非线性	17
2.3.1 非线性概念	17
2.3.2 受激拉曼散射(SRS)	18
2.3.3 受激布里渊散射(SBS)	19
2.3.4 自相位调制(SPM)	22
2.3.5 交叉相位调制(XPM)	24
2.3.6 四波混频(FWM)	24
2.4 偏振模色散和差分群时延	26
2.4.1 偏振模色散(PMD)和差分群时延(DGD)的概念	26
2.4.2 PMD 系数	27
2.5 回波损耗	28

2.5.1 回波的产生与危害	28
2.5.2 回波损耗(ORL)和反射系数的测量	29

第3章 光设备技术特性

3.1 光发送机接口特性	31
3.1.1 工作波长范围	31
3.1.2 平均发送功率	32
3.1.3 线路码型	33
3.1.4 光源消光比(EX)	33
3.2 LD的频谱特性	34
3.2.1 MLM与SLM	34
3.2.2 LD的谱宽参数	37
3.2.3 模分配噪声(MPN)	38
3.2.4 频率啁啾(Chirp)	38
3.3 发送眼图模板	40
3.4 接收机的接口特性	41
3.4.1 接收机灵敏度	41
3.4.2 接收机的过载功率和老化余量	42
3.5 光放大器	44
3.5.1 OSA与OFA	45
3.5.2 EDFA特性	46
3.5.3 EDFA应用	48
3.6 光发送、接收模块	50

第4章 光接口规范

4.1 传输损伤限度	54
4.1.1 数字传输的有效性界定	54
4.1.2 判决误码率与接收灵敏度	55
4.1.3 光通路功率代价	59
4.2 通信距离的衰减受限与色散受限	61
4.2.1 衰减限制的最大无再生距离	61
4.2.2 色散限制的最大无再生距离	62
4.3 光接口规范	64
4.3.1 光接口规范的基本思路	64
4.3.2 光接口分类及应用代码	68
4.3.3 主通道接口(MPI)	70
4.4 光放大器规范	73
4.4.1 光放大器参数	73
4.4.2 EDFA技术指标	74

4.5 色散补偿技术	76
4.5.1 无源色散补偿(PDC)	77
4.5.2 SPM 补偿	78
4.5.3 预啾啾技术(PCH)	78
4.5.4 色散支持传输(DST)	79
第 5 章 STM-4 系统设计	
5.1 STM-4 光接口规范	81
5.1.1 光接口规范参数	81
5.1.2 STM-4 规范分析	83
5.2 光通路设计	84
5.2.1 L-4.2 的光通路参数设计	84
5.2.2 U-4.2 的主光通路参数设计	84
5.3 通路光功率代价核算	85
5.3.1 通路光功率代价核算的意义	85
5.3.2 模分配噪声功率代价的核算	86
5.3.3 频率啾啾功率代价的核算	87
5.3.4 码间干扰功率代价的核算	88
5.3.5 偏振模色功率代价的核算	88
5.4 设计举例(乌鲁木齐—克拉玛依工程)	90
5.4.1 应用代码选择	91
5.4.2 光缆选择	91
5.4.3 衰耗与色散预算	91
5.4.4 设计结果	92
第 6 章 STM-16 系统设计	
6.1 STM-16 系统光接口规范	93
6.1.1 STM-16 系统光接口规范参数	93
6.1.2 STM-16 系统特点	95
6.1.3 光发送信号啾啾参数 α 的测量	96
6.2 衰耗预算	99
6.2.1 无光放大器系统的衰耗预算	99
6.2.2 带光放大器系统的衰耗预算	99
6.3 色散预算	101
6.3.1 偏振模色散功率代价	101
6.3.2 码间干扰与频率啾啾的功率代价	101
6.3.3 色散相关参数的确定	103
6.4 设计举例(西安—兰州—西宁工程)	104
6.4.1 工程总体方案	104

6.4.2 应用代码选择	105
6.4.3 衰耗预算	106
6.4.4 色散预算	107
6.4.5 系统设计结果	109

第7章 STM-64 系统设计

7.1 ITU-T 建设的光接口规范	111
7.1.1 STM-64 光接口规范参数	111
7.1.2 STM-64 系统特点	112
7.2 外调制技术	114
7.3 色散预算与色散补偿	116
7.3.1 偏振模色散功率代价核算	117
7.3.2 码间干扰功率代价核算	117
7.3.3 色散补偿预算	118
7.4 衰耗预算	121
7.5 设计举例	122

第8章 WDM 原理与规范

8.1 波分复用原理与分类	126
8.1.1 WDM DWDM OFDM	126
8.1.2 单向 WDM 与双向 WDM	128
8.1.3 开放式与集成式系统	129
8.2 WDM 系统的组成	130
8.2.1 WDM 系统的总体结构	130
8.2.2 光转发器	131
8.2.3 波分复用器	132
8.2.4 波长选择器	140
8.2.5 光监控通路(OSC)	142
8.3 WDM 系统的技术规范	142
8.3.1 传输通道参考点定义	142
8.3.2 光接口参数	143
8.3.3 绝对参考频率与信道间隔	145
8.3.4 标准中心波长与频率偏差	145
8.3.5 最小与最大光功率限制	149
8.3.6 光通路衰耗与色散范围	150
8.3.7 单信道输出口的光串扰	151
8.3.8 接收机灵敏度和最大过载功率	151

第9章 WDM 系统设计

9.1 系统设计方案	152
9.1.1 复用路数与波长范围的选择	152
9.1.2 速率等级的选择	154
9.1.3 光纤类型的选择	154
9.1.4 关于通路组织	156
9.1.5 信道功率的选择	157
9.2 16×2.5 Gbit/s 系统设计(郑州—洛阳—开封工程)	159
9.2.1 系统基本参数选定	159
9.2.2 色散预算	160
9.2.3 光功率预算	162
9.2.4 光接收机子系统设计	164
9.2.5 光发送机子系统设计	165
9.2.6 保护通路的设计	167
9.3 32×10 Gbit/s 系统设计(上海—南京工程)	168
9.3.1 系统基本参数的选择	168
9.3.2 色散预算	169
9.3.3 光功率预算	170
9.3.4 光接收机子系统设计	171
9.3.5 光发送机子系统设计	173
9.4 不等信道间隔系统设计	175
9.4.1 不等信道间隔避开 FWM 损伤原理	175
9.4.2 信道中心频率的确定方法	177
9.4.3 8×2.5 Gbit/s 系统设计(西安—兰州—西宁)	178
9.5 WDM 系统保护	184
9.5.1 两种 WDM 网管方案	184
9.5.2 WDM 系统的保护	185
附录 英语缩写	187
参考文献	189

1.1 光纤通信系统

1.1.1 光纤通信系统的基本特征

通信,即信息的传递过程。在通信技术领域,信息指的是用户要求传送的语音、图像、数据以及它们的各种组合。语音、图像和数据本身并不能直接快速地远距离传送。现代通信方式是先通过物理变化将语音、图像和数据转换成相应的电信号,然后再将这些电信号经过处理后乘载在高频载波上,已调载波以电磁波的形式在信道中传播。这就是人们常说的“现代通信采用的是电通信方式”。

实现点一点间通信的全部设施称为一个通信系统。它通常包括用户终端、接入网、交换设备、电复接设备和传输系统。如图 1.1 示意,传输系统包括发送机、信道和接收机。电信号完成复接后,无论是模拟形式还是数字形式,是 PDH 还是 SDH 形式,原则上都可以采用不同的传输系统进行传输。传输系统按其信道的特征可分为有线通信和无线通信两大类。有线通信曾经出现过载波(电缆)通信、微波(同轴)通信和光纤通信。光纤通信以其传输容量大、无中继距离长、不怕电磁干扰、单位通信容量成本低以及特别适应传输数字化等一系列优点,经过 30 年的技术发展目前几乎在所有的领域全面淘汰着其他有线通信方式。

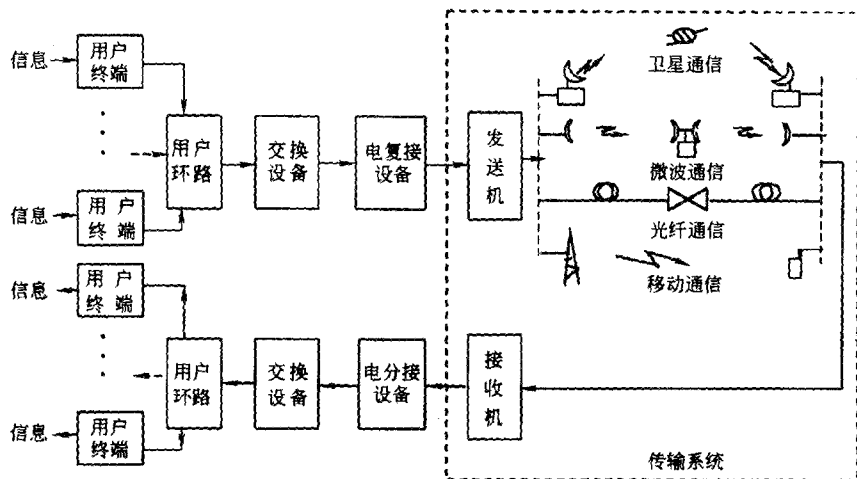


图 1.1 现代通信方式示意图

光纤通信与其他通信方式的根本区别,或者说光纤通信的基本特点是:以光波为信息载体,以光纤为传播媒质。

人们早就意识到光波是最理想的电信号载体。这是因为与人类早先采用的射频、微波等载体相比,光波的频率更高,因而有高得多的可利用带宽。而比光波频率再高的电磁波就进入了对人体有明显危害的紫外线,X射线,乃至 γ 射线领域。

光导纤维又是迄今为止人类找到的最好的信息传输媒质,它具有如下优点:

(1) 传输损耗特别小。目前实用单模光纤在 1.55 微米波长下的衰减系数已经降到了 0.2 dB/km 以下。

(2) 传输带宽非常宽。目前 G.652 和 G.655 组合运用已经实现了 256×42.7 Gbit/s 速率的数字传输。

(3) 抗电磁干扰。光纤材料的基质 SiO_2 是良好的绝缘材料,光纤中不会产生感应电动势。

(4) 成缆后机械性能好。光缆与电缆相比,直径小、重量轻、柔韧性好,便于线路敷设。

(5) 成本低。与微波波导和电缆相比,光缆每公里每话路的成本要低得多。

激光和光纤的完美组合,使得光纤通信在实现现代通信的大容量、长距离目标方面达到了无可伦比的高度。这就是光纤通信自 20 世纪 80 年代初进入实用化阶段后得以迅速淘汰已有的其他有线通信方式的原因。

1.1.2 光纤通信技术的三次飞跃

光纤通信脱胎于光通信,20 多年前文献中光通信、光纤通信和光缆通信三个术语还是混用的。

光纤通信的第一次飞跃发生在 20 世纪 60 年代。人们开始研究的本是以空气为传播媒质的光通信,由于信道对环境的变化非常敏感,终究被证实在地球上没有实用前景。1962 年第一只半导体激光器诞生,随后半导体光检测器也研究成功。特别是 1966 年美籍华人科学家高锟与 Hockham 提出用玻璃可以制成衰减为 20 dB/km 的通信光导纤维,1970 年美国康宁公司首先制出了 20 dB/km 的光纤,这标志着光纤通信系统的实际研究条件得已具备。

光纤通信的第二次飞跃发生在 20 世纪 70 年代末。1970 年发明了 LD 的双异质结构,使得光源与光检测器的寿命都达到了 10 万小时的实用化水平。1979 年发现了光纤 1.31 μm 和 1.55 μm 新的低损耗窗口,紧接着单模光纤问世。光纤的衰减系数一下降到了 0.5 dB/km 以下。这一次的飞跃使得光纤通信迈入了实用化阶段,从 80 年代初开始光纤通信便大步地迈向了市场。

光纤通信的第三次飞跃发生在 20 世纪 90 年代初。1989 年掺铒光纤放大器(EDFA)的研制成功是光纤通信新一轮突破的开始。EDFA 的应用不仅解决了光纤传输衰减的补偿问题,而且为光源的外调制、波分复用器、色散补偿元件和光滤波器等一批光网络器件的应用创造了条件。使得光纤通信的数字传输速率迅速提高,促成了波分复用技术的实用化。

有人对实用化光纤通信的速率距离乘积发展水平作过统计,速率距离乘积出现加速增长的两个年份分别是 1983 年和 1992 年,前者是报导发现光纤长波长低损耗窗口和单模光纤问世后的第三年,后者是报导 EDFA 研制成功后的第三年。这可以说明光纤的改进和 EDFA 的应用在光纤通信技术的发展史上占有非常重要的地位。

当光纤通信完成了上述三次技术突破之后,光纤通信方式的优越性已经得到了充分显示,光纤通信全面取代其他有线通信的格局也就随之形成。

1.1.3 光纤通信的潜在通信容量

前面已提及人类很早就看中了光载波的巨大通信容量。也许,最初预言光通信可以达到 40000 Gbit/s 容量的时候,恐怕没有多少人会相信如此巨大的天文数字当真会成为现实。光纤通信 30 多年的技术发展却奇迹般地正在一步一步地接近这一科学论断。

首先,我们要指出这 40000 Gbit/s 是光载波的潜在通信容量。表 1.1 列出了射频、微波

表 1.1 三种信号载波的比较

通信方式	载 波	载 频 (Hz)	可利用带宽 (Hz)	潜在通信容量 (bit/s)	话 路 数
电缆通信	射频电波	1×10^9 (1 GHz)	100M	200M	3000
微波通信	微 波	1×10^{11} (3 mm)	10 G	20 G	30 万
光纤通信	光 波	2×10^{14} (1.5 μ m)	20000 G	40000 G	6 亿

和光波三种载波的比较。表中取光纤通信的中心波长为 1.5 μ m,可利用带宽按载频的 10% 考虑,数字传输速率按传输带宽的两倍简单折算。这就是人们认为光纤通信的潜在通信容量为 40000 Gbit/s 的理由。光纤通信实际达到的传输速率是由光源的线宽,光纤的色散以及光检测器的响应速度共同决定的。目前,单通路光纤通信系统的实用化水平是速率 10 Gbit/s,采用外调制技术、色散补偿技术和 ASE(放大的自发辐射)滤波后可以达到 20 Gbit/s。DWDM(密集波分复用)的报导水平列于表 1.2。而多通路 WDM 受 EDFA 的可用带宽和窄带光滤波器成本的限制,目前的实用水平为 32×10 Gbit/s。

表 1.2 国外报导的 DWDM 研究水平

研究机构或公司	WDM 方式	传输容量 Gbit/s	传输距离 km	所用光纤类型
AT&T /Lucent	20×5 Gbit/s	100	9100	G.652 SMF
NTT	4×40 Gbit/s	160	320	G.653 DSF
Alcatel	32×10 Gbit/s	320	500	G.652 SMF
Lucent	32×10 Gbit/s	320	640	G.652 SMF
KDD	50×10.6 Gbit/s	533	1600	G.652 SMF
Fujitsu	55×20 Gbit/s	1100	150	G.652 SMF
NEC	132×20 Gbit/s	2640	120	G.652 SMF

单就 WDM 系统的复用路数而言,目前实际上已能扩展到 80 路,即从 1528.77 nm 至 1560.61 nm,信道间隔 50 GHz,共可配置 80 个信道。考虑到未来光网络的接口规范,只采用 64 波复用。不久的将来可以期待的是 1310 nm 波段光纤放大器的商品化,总复用路数可望达到约 160 路。本书以为光波分复用的实用化限度大约为 160×20 Gbit/s。离光纤通信的潜在容量预言还差 1 个数量级,可能需要倚仗光时分复用技术来实现。码分复用(CDM)在光纤通信中的应用恐怕不现实,因为 CDM 本身要以扩频为前提。

现在光纤通信技术人员已经普遍认为,当初科学预言的光通信潜在容量在不会太久的未来一定能成为现实,尽管它是最初实用系统数字速率(约 8Mbit/s)的 5×10^7 倍。未来达到光纤通信容量极限的多路通信模式可能是:

电时分复用 + 光波分复用 + 光时分复用
(20Gbit/s) (160 波) (8-16 时段)

1.1.4 高速系统界定

“高速”当然是讲光纤通信传输的数据速率,究竟多高的数据速率才算高速,ITU-T 并无明确的规范意见。事实上在光纤通信的不同发展阶段,高速的含义是不同的。目前通常把 STM-16 等级以上的系统称为高速系统,也有人称之为超高速系统。

本书把 STM-4 速率等级以上的系统作为高速光纤通信系统的讨论对象。

就光纤通信目前的技术现状而言,STM-4 系统的确只能算作常规系统,这是因为考虑到如下因素:

- (1) STM-4 速率等级是衰减受限与色散受限的转化点;
- (2) ITU-T 对 STM-4 系统的光接口规范完整,而对更高速率系统的光接口规范实际上尚未最终完成;
- (3) STM-4 系统是目前省内干线和中等城市市域网中最常用的系统。

STM-4 系统对于理解 ITU-T 规范标准,了解高速光纤通信系统技术的逐渐复杂化,理解新的系统合成方法有重要的意义。这便是我们将 STM-4 等级纳入高速系统的理由。

1.2 ITU-T 规范建议

1.2.1 高速系统合成的复杂性

这里所讲的“系统合成”是指合理选用光源、光纤、衰减补偿、色散补偿、信道隔离等设施组成技术先进性与通信成本经济性统一的实用光纤通信系统。

20 世纪 80 年代,光纤通信处于 PDH 实用阶段,最高传输速率为 PDH 五次群(565 Mbit/s),而实用干线系统大都还只是 140 Mbit/s。敷设光纤的 95% 为 G.652 常规单模光纤。工作波长绝大部分选用 1270 ~ 1335 nm 波段。实际系统的最大无中继传输距离由信道的衰减所限制。当时人们虽然已经了解光纤色散的危害,但由于系统的数据速率不高,与色散相关的各种效应在实际工程中并未足够显露。衰减受限距离约为 80 km,而色散受限距离达 1000 km 以上。因此人们对 G.652 光纤的色散特性还非常满意,以至工程上对光纤的色散特性实际不作任何验收。工程设计也无需进行色散功率代价的核算,只需使用 CCITT 推荐的一个方程(见本书(4-14)式),通过简单计算就可以完成光纤传输系统的全部技术参数的设计。

20 世纪 90 年代 EDFA 的商品化,使系统合成有了越来越多的技术灵活性。可以在更宽的范围内改变发送机的输出功率、精细地调整发送眼图、使用外调制彻底克服光源的频率啁啾效应、使用色散补偿技术克服光纤色散的距离积累效应以及实现多波长信号在同一根光

纤中传播等。

如此灵活技术手段的运用,使光纤通信系统发生了质的变化。以接收机灵敏度为例,它已经不能再简单地看成光接收机自身的特性。发送信号的波形、光源的啾啾系数、工作波长的稳定性、通路中的反射、光源谱宽和光纤色散及其距离积累效应、光放大器的增益和噪声特性、光信号的强度和不同波长信号间的串扰程度等等都将影响接收机的灵敏度。起初人们还试图修正接收机的理论计算,把诸如光源的消光比、光信号的码间干扰等因素再归入接收机灵敏度指标中,以接收机设计复杂化的代价来维持传统的系统设计方法。但是,随着数据速率的逐渐提高,需要考虑的因素越来越多,人们终于明了传统的设计模式无法适应高速光纤通信系统的合成。问题的根本还不在于理论计算有多么复杂,关键是一个考虑了太多因素的理论预言常常会严重偏离实际结果。

已有简单的系统合成方法已经不能继续使用,是否就意味着只有将系统先搭建起来,然后再通过实验方法去调整,才能满足预定的要求?也就是说只有通过实验方法才能完成系统的合理设计。采用实验方法解决高速系统合成问题至少有以下三点是人们不能接受的:

(1) 系统的建设成本过高

一个实际系统通过实验方法完成设计,付出的成本代价可能会完全抵消高速系统的通信成本优势。而高速系统的大容量是可以通过增加简单低速率系统的数目来达到的。

(2) 有碍技术进步

如果高速系统只有搭建、修改后才能明确其性能,势必只有系统合成厂商才有发言权。这将妨碍众多的器件厂家、设备厂家共同为光纤通信系统的技术进步作出贡献,同时共同享受技术进步的效益。

(3) 不利于未来全光网络的实现

系统通过实验方法完成设计必定各自为政,难以形成统一的规范标准,除了研究方向分散外,未来构建全光网络时也会遇到麻烦,以至需要附加新的接口设备。

正是高速光纤通信系统合成的复杂性及其实施前正确预言的必要性,才促成了联合国电信联盟下属相关专门研究组技术规范文件的产生。

1.2.2 ITU-T 规范文件的基本特点

ITU-T 下属的多个专门研究组经过多年的研究,制定出了一系列关于高速光纤通信系统的规范文件。这些文件倡议了新的高速光纤通信系统的合成方法,同时又规范了高速光纤传输系统的参数标准。本书将在后面各章逐步介绍这些文件的具体内容,本节仅对 ITU-T 规范文件的基本特点进行探讨。

按照本书的理解,ITU-T 规范文件的基本特点可归纳为如下几个方面:

1. 提供了系统设计的新思路

ITU-T 不再规范高速光纤通信系统的接收机设计方法。改变了接收机灵敏度的原来含义。定义接收机灵敏度为采用特定发送机的条件下,可以满足系统误码率指标的光通路 R 参考点(或 MPI-R 参考点)处允许的最低平均光功率。这意味着接收机灵敏度已经不再是接收机本身的特性,它已包含了某些影响接收误码性能的因素,但并未包含影响接收误码性能的全部因素。接收机灵敏度指标要求用相应的发送机进行检测。发送信号的波形质量对接收机灵敏度的影响另用规范发送眼图和消光比指标予以控制。光通路的反射效应对接收误

码性能的影响用规范 S 点的最小回波损耗、R 点的最大反射系数以及通路的离散反射系数指标来控制。光纤色散效应的距离积累用光通路功率代价予以控制等等。

如此集中与分散控制的灵活思路,正好与系统的调试检测方式相对应。正确地理解和运用 ITU-T 的这些规范文件便可以实现高速光纤通信系统的合理设计。

2. 强调系统的开放性

系统的开放性有两重意思。一个意思是指单个系统内部应满足纵向和横向兼容性。另一个意思是指系统之间允许通过规范的光接口直接连通,这为未来全光网络的实现准备了必要的条件。

按照 ITU-T 的光接口规范,SDH 设备可以与光传输系统分离;光发送机,光通路和光接收机又可以在 S 点(或 MPI-S 点)、R 点(或 MPI-R 点)处实行分离。ITU-T 规范文件还定义了另外一些参考点,并且规范了这些参考点的接口参数。这样,无论从纵向和横向看,不同厂家生产的产品只要满足接口规范标准,都可准入系统合成。

3. 规范标准有良好的可操作性

ITU-T 建议的规范文件以应用代码为基础,应用代码的目标距离充分考虑了相互衔接。所有规范参数都给予了明确的定义,大部分规范参数都指定了检测方法。而且这些规范参数和相应的检测方法都以目前的实用水平为基础,从而就保证了规范标准良好的可操作性。

4. 规范体系繁杂,某些参数的规范值有滞后性

高速光纤通信系统的规范文件和规范参数繁多。规范文件很少阐述规范参数之间的联系。规范参数大都以最坏值给出,而文件本身又没有说明诸多参数间的主次,也没有说明参数偏离其规范值对系统性能变化的贡献。有些参数,甚至是至关重要的参数尚未给出具体的规范值。所有这些都给实际的系统设计造成了一定的困难。

1.3 系统设计

1.3.1 系统设计的任务

高速光纤通信系统设计的任务是:遵循 ITU-T 建议规范,以技术先进性与通信成本经济性的统一为准则,合理选用器件和子系统,明确系统的全部技术参数,完成实用系统的合成。

高速光纤通信系统的 ITU-T 建议文件既是国际规范标准,又是高速系统设计思路的导引。无论光网络器件、光设备的生产厂家,高速系统工程设计人员以及系统的维护管理人员都必须了解 ITU-T 关于高速光纤通信系统的规范文件。由于 ITU-T 建议的相关文件繁多,每个文件中所列参数有些是规范值,有些并非规范值。某些参数值是不可变动的,有些参数值则给出了一定范围的选择余地,还有一些参数实际上只有参考意义。因此存在对 ITU-T 规范的理解和研究的实际需要。

ITU-T 建议文件参数规范的滞后性主要表现在 STM-16 和 STM-64 系统有关色散特性的参数大都有待进一步研究确定。因此我们说高速光纤通信系统设计不能离开 ITU-T 建议规范,而简单地套用 ITU-T 建议规范又不能完成实际工程的系统设计。系统设计者对 ITU-T

建议规范的理解越透彻,合成系统的手段就越灵活。

1.3.2 系统设计与工程设计的区别与联系

光信号的数字速率提高到 2.5 Gbit/s 以上和光波分复用技术的实用化,使得光传输系统中多种效应逐渐显著化,克服和利用这些效应的实用手段也变得灵活而复杂。简单地运用原来低速率系统的工程设计方法已经难以完成系统合成。在这样的背景下,出现了系统设计,有人又称之为系统合成。

系统设计与工程设计的区别首先表现在它们的复杂程度上。系统设计需要了解光源、光纤、光器件应用的数据速率限制,要在不同类型的光源、光纤和光器件间以及它们的工作波长作合理地选择。系统设计还需要理解高速工作状态下的各种效应和 ITU-T 规范文件,灵活地运用衰减补偿、色散补偿、信道隔离等多种技术。

系统设计与工程设计的区别还表现在它们的任务不同。系统设计的任务是完成高速实用系统的合成。工程建设中的详细的经费概预算,设备和线路的具体工程安装细节则是工程设计的主要任务。当然这并不意味着系统设计可以不考虑实用系统的成本和实施的可行性。通信成本的最佳化和实施的可行性依然是系统设计的根本宗旨。只是系统设计考虑的是系统总体的经济性,系统设计通过使全部接口参数满足规范要求来保证系统实施的可行性。

系统设计与工程设计都是针对实用化的系统进行的。这一点它们与新技术的开发研究不同。实用化系统的基本特征是:新技术的运用已经能达到长期可靠性的要求;技术的先进性已经带来了单位通信成本的实际降低。

高速率的工程系统需要先由系统设计完成系统的合成,确定系统的全部技术参数。然后由工程设计完成工程实施的细节。低速率的工程系统无需系统设计,直接由工程设计运用传统设计方法完成工程的全部设计。