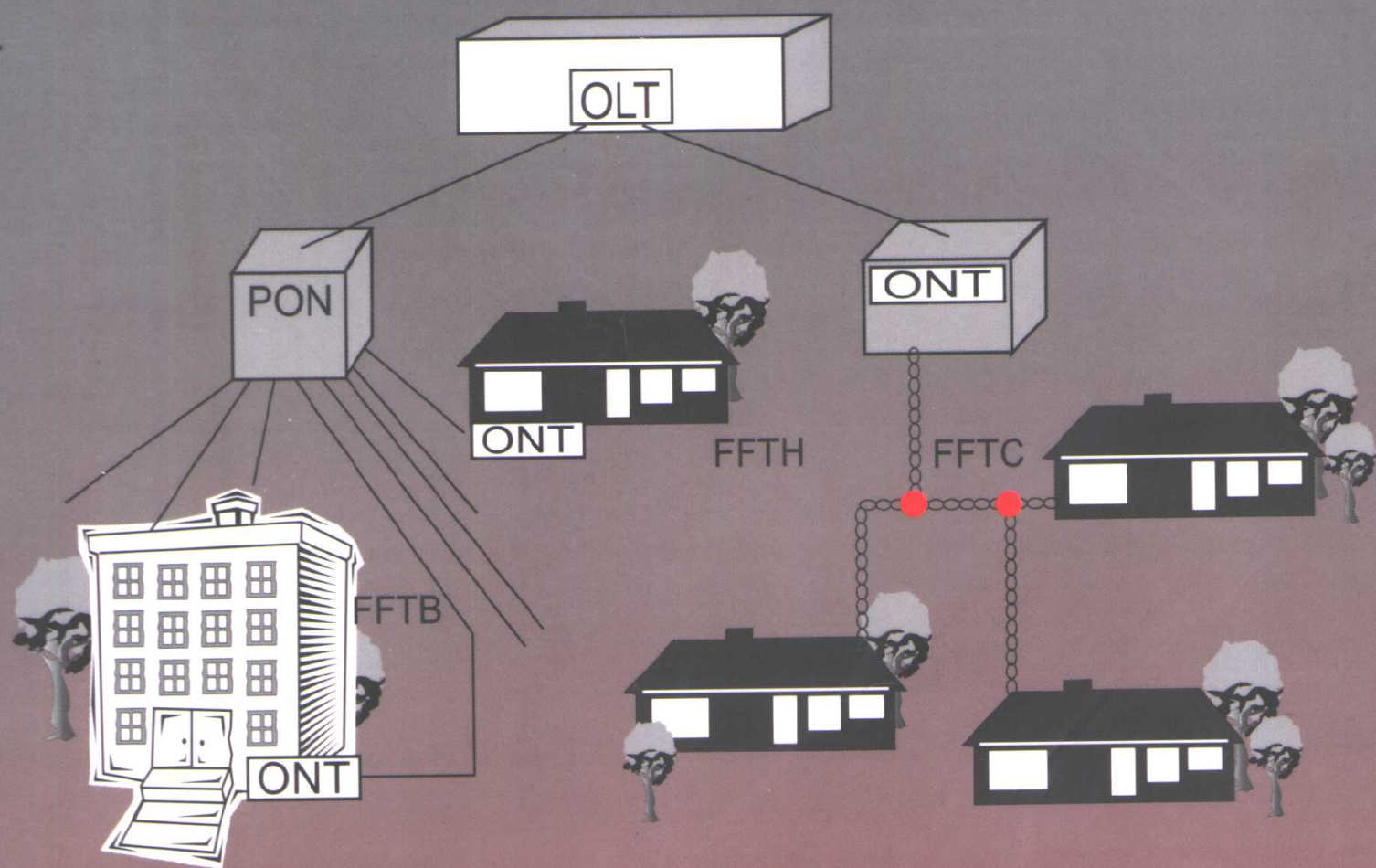


国外经典教材



光通信器件与系统

〔美〕 J.H. Franz 著
V.K. Jain

徐宏杰 何 珺 蒋剑良 等译
陈淑芬 审校



Narosa



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

Optical Communications Components and Systems

光通信器件与系统

[美] J.H. Franz 著
V.K. Jain

徐宏杰 何 珺 蒋剑良 等译

陈淑芬 审校

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 提 要

光通信网络是现代高速点对点通信网络的首选, 光纤通信及空间光通信显得越来越重要, 并与微电子技术和计算机软件技术并列为现代通信系统中的关键技术。本书的目的是为光纤通信及空间光通信系统的理论研究与实际应用提供基本教材, 内容包括点对点通信链路及网络中用到的无源、有源和光电器件, 相干及非相干通信系统的分析和优化, 光纤网的设计以及光通信网络目前的应用领域等。

本书既可作为工程技术类学生的入门教材, 也可作为高级教材或该领域工作技术人员更新知识、进行工程设计的工具书。



Originally published in English as OPTICAL COMMUNICATIONS Components and Systems

© 2000 by Narosa Publishing House, New Delhi-110 002. All Rights Reserved.

本书英文版由印度Narosa公司出版, Narosa公司已将中文版独家版权授予中国电子工业出版社及北京美迪亚电子信息有限公司。未经许可, 不得以任何形式和手段复制或抄袭本书内容。

版权贸易合同登记号: 01-2001-0384

图书在版编目(CIP)数据

光通信器件与系统/(美)弗兰兹(Franz, J. H.)等著; 徐宏杰等译. —北京: 电子工业出版社, 2002.4

书名原文: Optical Communications Components and Systems

ISBN 7-5053-7553-9

I. 光… II. ①弗… ②徐… III. ①光通信—通信设备②光通信—通信系统 IV. TP929.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第018846号

责任编辑: 李莹

印刷: 北京天竺颖华印刷厂

出版发行: 电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编: 100036

北京市海淀区翠微东里甲2号 邮编: 100036

经销: 各地新华书店

开本: 787×1092 1/16 印张: 32.75 字数: 840千字

版次: 2002年4月第1版 2002年4月第1次印刷

定价: 50.00元

凡购买电子工业出版社的图书, 如有缺损问题, 请向购买书店调换, 若书店售缺, 请与本社发行部联系。联系电话: (010) 68279077

前 言

近些年来，光纤通信系统在世界各地广泛应用于通信、图像及数据传输等。光纤通信具有容量大及可靠性强的优点。此外，光强度调制及直接检测传输网还具有成本低效率高的特点。光通信网络是现代高速点对点通信网的首选。在通信工程中，光纤通信及空间光通信显得越来越重要，并与微电子技术和计算机软件技术并列为现代通信系统中的关键技术。

自从20世纪90年代中期以来，光纤技术已经从线路发展成为网络。除了损耗小以外，这些网络中由于采用了光交换技术及波分复用技术，使得寻址非常方便。光纤网可连接到每座建筑或每个家庭，为用户提供宽带数字接入。光纤通信系统是信息高速公路的关键，可提供高质量的交互式多媒体服务。

随着一些新技术，如相干检测技术的使用，光通信技术将有一个新的突破，并扩展其应用领域。相干光通信的优点一是增强了探测器对信号的选择性，二是提高了检测灵敏度。虽然在直接检测系统中通过对光信号的前放也可以提高检测灵敏度，但无法改善信号选择性。相干多通道光通信系统可充分利用光纤的带宽，提高信息容量。

本书的目的是为光纤通信及有无放大器的空间光通信系统的理论研究及实际应用提供一本基础教材。所需的背景知识和一般工程技术类课程相同，只是假设读者已经掌握了电磁场理论及通信工程的基本原理，最好对频谱分析及统计理论有一定的了解。为方便读者学习，本书给出了所需的一些相关材料。

本书写给对光通信感兴趣的读者，既可作为工程技术类学生的入门教材，也可作为高级教材。从事这一领域的工程技术人员及专家学者也可以利用这本书更新现有知识。此外，本书也可作为光纤通信及空间光通信工程设计的一本工具书。

非常感谢在编写本书时为我们提供很多有益帮助及建议的同事、学生及朋友。同时也感谢我们的妻子及儿女在此期间对我们的支持。

希望读者能喜欢这本书，并有所收获。

J. H. Franz

V. K. Jain

译 者 的 话

很高兴能参与本书的翻译工作。其实，工作的过程也是学习的过程、磨炼的过程、提高的过程。在这一过程中，我们每个人都为能向广大读者朋友献上一部优秀的译著而努力着。本书由徐宏杰翻译了前言、第1章~第3章、第8章和第15章；由何珺翻译了第4章~第7章和附录；由蒋剑良翻译了第9章、第10章、第13章和第14章；由田亚光翻译了第11章和第12章。

另外，我们衷心感谢北京理工大学光电工程系的陈淑芬教授，感谢她在百忙之中挤出自己的休息时间为全书做了审校；同时，感谢秦秉坤教授为组织翻译本书所付出的心血。

真诚希望本书能成为您的良师益友。

译者

目 录

第1章 概述	1
1.1 历史回顾	1
1.2 现代光通信系统	3
1.3 本书的安排	6
1.4 参考文献	7
第2章 光源和光发射机	9
2.1 引言	9
2.2 光源工作原理	10
2.3 发光管	14
2.4 激光器	16
2.5 光发射机	31
2.6 参考文献	32
第3章 激光器噪声	33
3.1 激光器噪声的起因及形成	33
3.2 激光器噪声的统计特性	36
3.3 弛豫振荡	53
3.4 滤波的影响	56
3.5 减小激光器噪声	67
3.6 参考文献	69
第4章 光纤	72
4.1 光纤的类型	74
4.2 光传播理论	76
4.3 光纤衰减	83
4.4 光纤色散	85
4.5 光纤设计与选择	93
4.6 光纤材料、制造及成缆	97
4.7 光纤熔接及连接器	102
4.8 光纤中的非线性效应	108
4.9 布拉格光纤光栅	111
4.10 参考文献	112

第5章 偏振波动	115
5.1 单模光纤中的偏振现象	115
5.2 偏振传播矩阵	138
5.3 降低偏振波动	139
5.4 参考文献	148
第6章 光探测器和光接收机	153
6.1 光电探测器	154
6.2 光电探测器的类型	155
6.3 光电二极管的噪声	167
6.4 最小可探测功率	170
6.5 光接收机的结构	171
6.6 参考文献	177
第7章 光放大器	179
7.1 光放大器的种类	179
7.2 半导体光放大器和光纤放大器的比较	187
7.3 光放大器的应用	188
7.4 光放大器的噪声	190
7.5 放大器的噪声系数	192
7.6 参考文献	193
第8章 光学网络器件	196
8.1 接入场技术	196
8.2 定向耦合器	198
8.3 波分复用器和解复用器	205
8.4 衰减器、隔离器、环行器和起偏器	211
8.5 可调谐滤波器	216
8.6 固定滤波器	226
8.7 调制器	226
8.8 路由和交换元件	227
8.9 波长转换器	232
8.10 光学双稳态和数字光学	234
8.11 参考文献	237
第9章 光通信系统基础	242
9.1 直接检测和相干检测原理	242
9.2 接收机性能	245

9.3	光通信系统器件	253
9.4	光通信系统中的信号	256
9.5	眼图与差错概率	268
9.6	参考文献	278
第10章	非相干系统：分析和优化	279
10.1	分析	279
10.2	优化	282
10.3	激光器噪声的影响	285
10.4	接收机的参数计算：举例	286
10.5	使用光放大器的非相干系统	289
10.6	参考文献	291
第11章	相干系统：分析与优化	293
11.1	零差系统	294
11.2	使用相干探测的外差系统	323
11.3	使用非相干探测的外差系统	326
11.4	带有光放大器的相干系统	369
11.5	外差探测中计算方法的比较	371
11.6	参考文献	379
第12章	系统比较、应用与物理极限	383
12.1	理想条件下的系统比较	383
12.2	真实条件下的系统比较	387
12.3	应用及实现时的特殊问题	396
12.4	光通信的物理极限	405
12.5	参考文献	413
第13章	光纤链路设计	417
13.1	长途通信系统	417
13.2	功率预算	419
13.3	时间预算	420
13.4	最大链路长度的计算	421
13.5	参考文献	424
第14章	光网络	426
14.1	网络原理	426
14.2	光网络的背景	439

14.3	光纤网络	442
14.4	全光网络	464
14.5	光通信网络的发展趋势	469
14.6	参考文献	477
第15章	空间光通信	481
15.1	引言	481
15.2	空间光通信系统的应用	481
15.3	同微波系统的比较	482
15.4	相干空间光通信系统	485
15.5	缺点及技术困难	485
15.6	系统介绍及设计	486
15.7	参考文献	509
附录A		512
A.1	大西洋越洋传输链路	512
A.2	梯度折射率棒透镜	512
	参考文献	514

第1章 概 述

在本章中，我们首先要回顾一下光通信的发展历程。第一节介绍古代的通信技术，这大致起源于两千多年以前；第二节介绍现代光通信的一些背景知识及相关技术；第三节介绍本书的内容及章节安排。

1.1 历史回顾

当人们谈及光通信时，自然会想到激光器、光纤及高速数据传输，因为它们是现代光通信技术的代表。但实际上，在两千多年以前，人类就已经开始了光通信。据记载，公元前800年左右，人们就利用火来传递一些少量的简单信息。和激光器及发光管（LED）一样，火也是一种光信号。通过火传递信息与空间光通信的原理类似，在本书第15章将详细介绍。二百年后，征服特洛伊的消息就是通过火传到亚尔古的，两地相距500公里，中间有8个中继站。这就是历史上有名的阿加门农烽火台。

古时候，也有一些其它形式的烽火台，但它们都有一个缺点，就是只能传递一些简单的事先约定好的信号，而不能传递所有信息。公元前200年左右，古希腊的Polybios发明了一种传输系统，不仅可以传递一些固定信息，还可以传递字母。如图1.1所示，它的原理是采用编码表，通过对左右墙后面的火炬数目进行编码和解码来传递和接收所有24个字母。例如，左墙的火炬数为3，右墙的火炬数为2，代表希腊字母 μ 。只要对操作人员进行一定培训，便可利用这一系统每分钟大约传送8个字母。考虑到每个字母包括5个字节，可知这一系统的传输速率为每秒0.67字节，而现代通信系统的传输速率为每秒几个吉（ 10^9 ）字节。

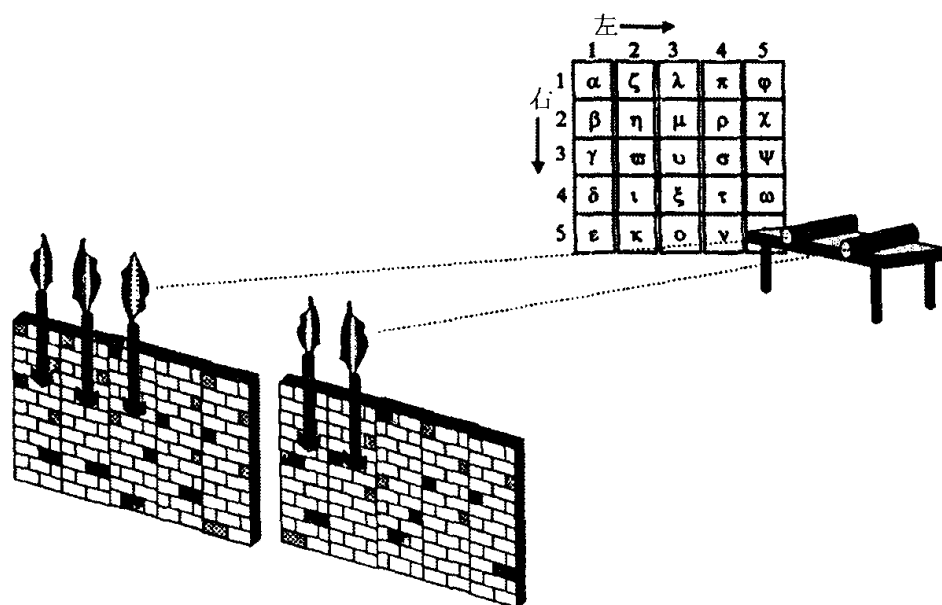


图1.1 Polybios基于编码的光通信系统及编码表

虽然古时候人们已经频繁使用烽火台作为通信工具,但这一技术一直到中世纪却没有进一步的发展。直到1600年,随着世界上第一台望远镜的诞生,光通信才获得新生。1791年,Claude Chappe成功地用基于信号灯的光信息传输系统传送了信息,如图1.2所示。他的信号灯发报系统逐渐完善,成为一个真正实用的通信网络系统,并从巴黎传到了整个法国。到了1844年,这一网络已延伸至5000多公里,有超过500个站点。在19世纪初,这一光中继系统发展到了其它国家,如比利时、意大利、德国、埃及、阿尔及利亚等。这一装置包括一根四、五米高的柱子,上面装有一个横梁。在横梁的两端各有一个方向标,约有一米长,上面有一个箭头。方向标的每个位置代表一个数字信号。相邻站点的工作人员可用望远镜观察到这一信号并把它传送到下一个站点。虽然这一通信系统在当时非常成功,但随着电的发现及使用,很快就被淘汰了。1886年,Graham Bell发明了电话。1887年,Heinrich Hertz通过实验证实了电磁波的存在。1895年,Guglielmo Marchese Marconi发明了第一台收音机。

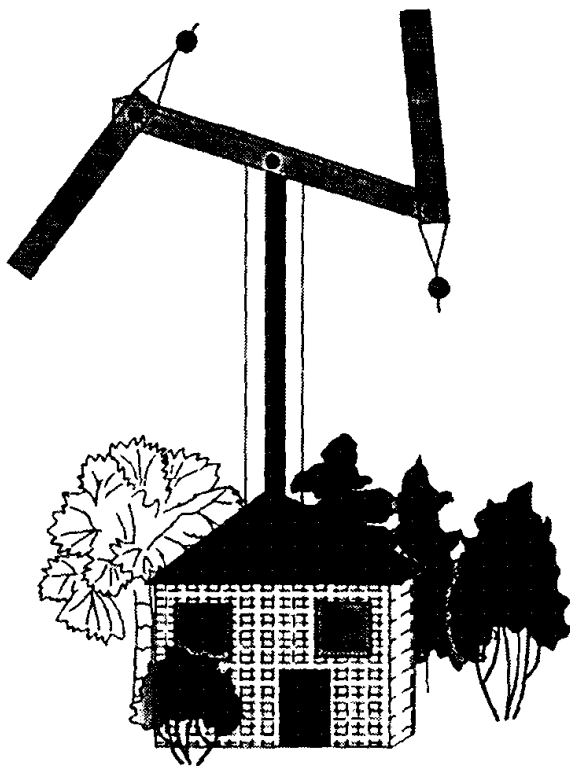


图1.2 Claude Chappe的信号灯电报站(公元1800年)

1917年,Albert Einstein提出了受激辐射的概念,预示了激光的存在。然而,过了四十多年,第一台激光器才在1960年诞生。1962年,第一台半导体激光器出现,然而那时没有低损耗的光纤。1967年,人们首次进行了相干光通信实验,并于1974年又一次使用气体激光器在自由空间做了相同的实验[1, 3],但传输距离都很短,而且由于大气干扰带来信号畸变,以至于人们对此失去了兴趣。1970年,光纤的损耗降到了20dB/km左右,半导体激光器的寿命也达到了一千小时以上。1980年,人们使用光纤及半导体激光器重新开始了相干光通信实验[6]。随着光纤制造工艺的改善,1982年,光纤的损耗已降到了0.2dB/km,现代光通信的时代也随之到来。

1.2 现代光通信系统

光的频率很高，相应带宽很宽（如图1.3所示），光通信充分利用了这一优点。光的波长 λ 和频率 f 之间的关系为：

$$\lambda \cdot f = c \quad (1.1)$$

其中， c 是光速，在真空中， $c_0 = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 。在介质中，光速低于真空中光速：

$$c = \frac{c_0}{n} \leq c_0 \quad (1.2)$$

其中， n 是介质的折射率，光纤的折射率为1.5左右。

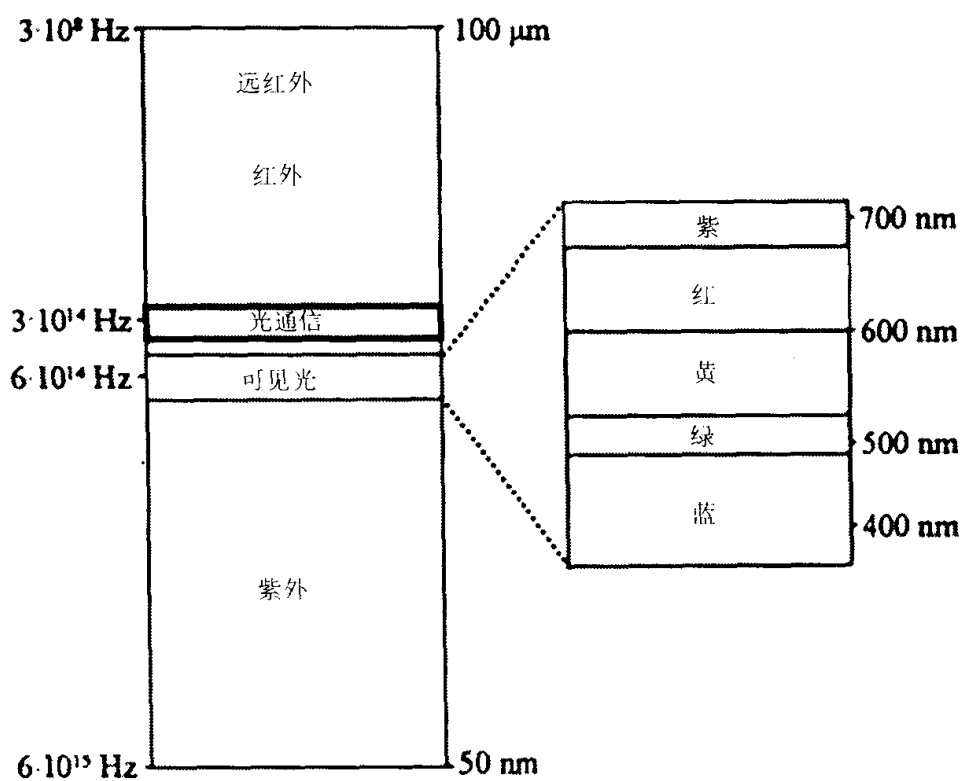


图1.3 光频谱

除了一些特殊场合使用可见光之外，例如绿光（ $\lambda \approx 500 \text{ nm}$ ）、红光（ $\lambda \approx 670 \text{ nm}$ ），现代光通信一般使用近红外光，典型的波长为 1300 nm 和 1550 nm ，相应频率分别为 230 THz 和 193 THz 。

在过去的几十年里，光纤技术发展迅速，广泛使用于海底、陆地长距离干线通信以及有线电视网等。最近几年来，光通信的容量平均每2.4年就增长一倍。在世界很多地方，每根光纤的带宽已经超过 2.5 Gb/s ，可容纳约40,000门电话。现在越来越多的地方在使用基于光

纤的2.5Gb/s同步数字网（SDH），如STM-16、OC-48，同时世界很多地方已经开始试验10Gb/s的系统。这不仅依赖于光纤技术，也需要微电子技术及软件技术有所创新。表1.1展示了大西洋海底光缆（TAT）每根光纤中的通话容量的发展情况，这条光缆于1988年铺设成功[4]。太平洋海底光缆及其它海底光缆发展情况的完整表格见附录A1。

表1.1 穿越大西洋通信网容量的进展

年份	1956	1963	1970	1976	1988	1997	2001
介质	同轴 电缆	同轴 电缆	同轴 电缆	同轴 电缆	光纤 (1.3μm)	光纤 (1.5μm)	光纤 (1.55μm)
声音 通道	84	128	720	4000	40,000	60,000 (5Gb/s)	≈120,000 (50STMI)

20世纪80年代中期，光纤开始用于长距离干线通信，传输速率为140Mb/s。从那时起，光纤便在电话网及有线电视网中逐渐取代了铜线。很多国家开始在电话网中使用光纤，例如德国从1987年开始使用。目前，长距离点对点通信干线网中普遍使用单模光纤，传输速率通常为45Mb/s~565Mb/s。很多地方更高，例如欧洲为2.4Gb/s~2.5Gb/s，美国为1.6Gb/s~1.7Gb/s。这些系统中使用很多中继站，它们之间的距离为40公里左右。值得注意的是，目前铺设的光缆中只使用了50%~60%，其余的用做以后使用。目前点对点的通信能力只利用了光纤潜在容量的1%~5%。

如图1.4所示，1500nm波长附近被称为光纤的第三个窗口，其可利用的带宽约为20,000GHz或150nm。这意味着，每根光纤可容纳3亿个64kb/s的ISDN通道或四百万个电视模拟频道！此外，这一窗口光纤的损耗只有0.18dB/km。综合上述，可以得到以下结论[6]：

在高达十个太比特率的超高速信息高速公路中，例如传输速率为 10^{12} b/s甚至 10^{13} b/s，光纤已经成为一个关键技术。

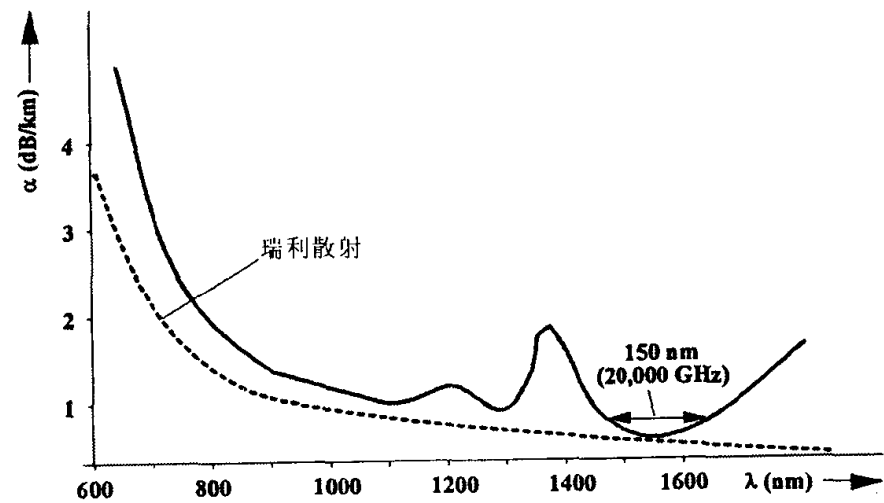


图1.4 1550nm波段（第三个窗口）的光纤容量

现在,超高速通信在技术上没有问题,但成本限制了其发展速度。回顾20世纪80年代和90年代,光纤技术取得了显著的进步,但也带来了一些问题,限制了新技术的采用,我们将在后面详细讨论。在80年代,数字通信都是基于64kb/s的ISDN通道的。90年代才发展起来以异步传输模式(ATM)为基础的多兆比特率接入,可提供更为方便的数据传输。

在过去的几十年里,光波技术的突破已经改变了长距离干线通信,然而光子技术在短途网如局域网(LAN)和电话终端网中究竟起着怎样的作用尚不清楚[2]。以后光交换将遍及各类光通信网、多媒体交叉互连、节点交换等,这一设想促进了光交换技术的研究进程。有人预言,光纤将进入家庭,完全取代双扭铜质电话线及视频传输的同轴电缆。

受80年代光纤技术的巨大进步所鼓舞,很多专家认为未来的通信将基于全光网络,包括光波频分复用技术(OFDM)、信息高速公路、使用高质量可调谐本地激光器的相干检测技术、干线网及局域网中的全光交换技术等。基于ATM的数字宽带网的光纤将进入家庭(FTTH),其极大的带宽可为用户提供交互式多媒体服务和高清晰电视(HDTV)信号。然而,由于经济上的原因,这一设想尚未实现。高成本的主要原因并不是因为光纤,而是光电子器件的成本较高,因而光纤局域网最多只到达路边,甚至离得更远些,只到达节点。

高质量交互式多媒体通信需要高比特率接入。毫无疑问,光纤到户是光纤技术发展的最佳境地。某一天,我们所有人的家里、书桌上都可以享用到光纤,但是现在高成本的壁垒还不允许全面启动光纤入户的工程,另外还有许多其他原因也限制了光纤到户的实施,这点我们将在第14章详细讨论。然而,我们对通信容量的需求不断增加,尤其是交互式服务和多媒体通信更是需要极高的带宽[7],所以对光网先进性的要求也更高。不久的将来,视频图像的传输是对通信容量增长的最大需求。对那些一直在使用铜线电缆的用户来说更换电缆的成本太高,因此传输系统、传输策略和网络接入等都依赖于现有基本设施和管理规则允许范围内的服务。在90年代,绝大多数通信网都是在现有基础上进行低成本升级改造,为用户提供第一代宽带接入的。这一趋势还将持续十年以上。这种升级网络将成为现有窄带网和未来宽带网之间的桥梁。然而,现在还不知道究竟哪种技术和什么样的网络将来能最有效地满足未来用户的要求。

不管现在和将来有什么样的困难存在,光纤技术都在不断发展。显然:

光纤技术正在由点对点链路发展成为网络。

在传统的光通信系统中,通过调制激光器或发光管(LED)的光强来加载信息。在接收端,解调是调制的简单反过程,通过光电二极管将光信号转换成等效电流。这一方案称为直接检测。目前在所有商用通信系统中都是采用强度调制及直接检测方案(IM/DD)。然而,这一方案比较落后,正像老式晶体管收音机的信号检测一样。现在收音机及电视机都采用超外差式检测技术,对应于光通信中的相干检测技术。正像外差式技术对收音机带来革命性的影响一样,相干光检测也将为光通信技术的发展带来革命性的影响。

在相干光通信系统中,光信号的强度、频率和相位都包含信息,由接收机对输入载波信号的电场矢量进行分析和处理。其具体方法是:将一只本地激光器,相当于一只本地振荡器(LO),与载波光信号进行混频,得到一个中频(IF)信号,频率等于LO频率与载波频率之差。所以IF信号包含了原始信号的信息。通常差频信号为GHz的量级,可以用成熟的微

波信号处理技术来处理。采用相干检测技术, 可以将检测灵敏度达到20dB, 从而显著改善相干探测器对信号的选择性。这使得真正实现光频分复用 (OFDM) 系统成为可能, 这种系统采用了称做相干多通道通信 (CMC) 的技术, 能使光纤中不同相邻空间的载波可容纳大量的宽带通道, 并在接收方通过可调谐激光器和窄带微波滤波器将各个通道分开。理论上, CMC系统可容纳上百个通道, 充分利用光纤的带宽。虽然相干光通信有这些优点, 但它的成本的确很高, 系统也比较复杂, 还需要使用一些相关器件, 如本地激光器、光耦合器、偏振控制器、跟踪电路等。此外, 光放大器的出现及色散补偿技术也替代了相干光通信的一些优点。

在这一节中, 我们回顾了通信发展史上的一些重要进展。很多年以来, 通信市场一直是世界上发展最快的产业之一, 而且这一发展步伐还在加快。在过去几十年中, 通信技术的进步主要体现在数字化、微处理器程控交换技术、光纤传输技术、LAN、ISDN、蜂窝移动无线通信、ATM等方面。今天, 现代通信以三大关键技术为特征: 微电子技术、软件控制技术和光通信技术。下一代通信技术的标志是高性能、高比特率信息高速公路、宽带交互式多媒体服务、智能化网络——包括宽带ISDN (BISDN) 和更加灵活的具有SDH标准的ATM系统。此外, 光子技术将越来越多地替代电子技术, 相干光通信将成为现代光通信中的重要组成部分。

1.3 本书的安排

本书分为两部分。第一部分探讨器件, 从第2章至第8章; 第二部分介绍系统, 从第9章至第15章。第一部分包括点对点通信链路及网络中所用到的无源、有源及光电器件; 第二部分包括相干及非相干通信系统的分析及优化, 涉及光纤网的设计、其光学局限性、光纤通信网与空间光通信目前的应用领域等。

对通信系统的分析、设计及优化都需要对光源有一定的了解, 所以第2章将简要介绍发光二极管 (LED)、半导体激光器和固体激光器的工作原理。在这一章里还简要介绍光发射机, 包括激光器模块、温控及光控模块。

在高速长距离光通信以及相干光通信系统中, 光源的强度噪声及相位噪声对系统的影响很大。尤其在相干光通信系统中, 相位噪声的影响是主要的。在第3章中, 将利用统计学原理给出噪声的简单模型以及对系统性能的影响, 同时简要介绍激光的弛豫振荡特性以及受相位噪声干扰的滤波信号的特性, 比较相位噪声和高斯噪声 (例如散粒噪声及热噪声) 之间的区别, 并在最后给出抑制激光器噪声影响的一些重要方法。

第4章是光纤理论。除讲述光的传播特性及光纤参数, 如损耗、色散等的物理意义之外, 还要介绍光纤设计和光纤的非线性特性。最后探讨光纤光栅以及用它来补偿光纤色散, 并制作光纤器件, 如光纤滤波器、光分插复用器等。

除了光源噪声外, 光纤中的偏振起伏对光通信系统——尤其是长距离通信及相干光通信系统的影响也很大。因此第5章将讲述偏振噪声的原理、影响及抑制偏振噪声的技术措施。

第6章讲述光探测器及光接收机。内容涉及基本的光探测器, 如PIN光电管和雪崩光电管 (APD) 的工作原理; 探测器噪声, 最小可探测功率及不同接收机的结构参数等。

在光通信领域最重要的进展之一就是光放大器的发现,这可能是继单模光纤出现以来最重要的成果。第7章将介绍不同类型的光放大器,对它们的性能进行对比研究,并讨论它们在光通信系统中的应用。

光通信已经从点对点线路发展成为网络,第8章介绍的就是光纤网络中使用的所有器件,包括耦合器和分束器、波分复用器及解复用器、隔离器、调制器、光交叉互连器(OXC)和光分插复用器(ADM)。

第9章介绍光通信系统的背景知识,涉及光接收机的基本原理和规则,相干光通信系统中在接收灵敏度及信号选择性方面较非相干系统的提高。本章还要介绍波分复用器(WDM)、密集波分复用器(DWDM)、频分复用器(OFDM)以及光网中的各种器件。最后,介绍数字通信系统的一些重要特性,这在分析相干通信系统时非常需要。眼图技术及误码率,即BER,是对系统进行比较评价的两个重要准则。

在第9章的基础上,第10章将对非相干通信系统,即强度调制和直接检测系统(IM/DD)进行分析;对所有的噪声源及其对系统的影响进行分析,并给出对系统进行优化及减小误码率的方法。

第11章将分析并优化设计各种相干通信系统。各种系统之间的区别由调制及解调方案决定。同第9章类似,还要对所有的噪声源及其对系统的影响进行分析,对各种算法和逼近进行推导和比较,另外介绍通过计算机模拟得到的一些有趣结果。

第12章将对第10章和第11章中所介绍的通信系统进行对比,主要依据以下参数,如传输速率、对光源谱宽的要求、眼图及应用。本章还要讨论系统传输速率的理论极限,包括量子极限、散粒噪声极限、Shannon极限和色散极限。

在过去几年中,光纤通信系统在世界范围内广泛用来传输电话和数据,所以根据用户要求设计光纤网成为重要准则。第13章将介绍数字式点对点链路的设计过程。

第14章介绍电网及光网的协议及设计原理,内容涉及光网的一些背景知识,重点是光纤网,包括光学、电子器件以及网络,由光器件实现的网络功能,包括交换和接入。此外,本章还要着重讨论基于光纤的数字宽带网和信息高速公路的一些重要特性,这是高质量多媒体通信的基础。

第15章介绍光通信的一个重要组成部分——自由空间光通信,包括自由空间光通信的应用领域及同其它通信系统如光纤通信和微波通信相比的优势。

1.4 参考文献

- [1] Goodwin, F. E.: A 3.39-micron infrared optical heterodyne communication system. IEEE J. QE-3 (1967) 11, 524-531.
- [2] Henry, P.S.: High-capacity light wave local area networks. IEEE Commun. Magazine, 27 (1989) 10, 20-26.
- [3] Nussmeier, T. A.; Goodwin, F. E.; Zavín, J.E.: A 10.6- μm terrestrial communication link. IEEE J. QE-10 (1974) 2, 230-235.
- [4] Runge, P. K.: Future directions of undersea systems. ECOC (1994), 927-932.

-
- [5] Saito S.; Yamamoto, Y.; Kimura, T.: Optical heterodyne detection of directly frequency modulated semiconductor laser signals. Electron. Lett. 16 (1980) 22, 826-827.
 - [6] Smith, D. W. : The road to superhighways. ECOC (1994) , 903-906.
 - [7] Stordahl, K.; Murphy, E.: Forecasting long-term demand for services in the residential market. IEEE Commun. Magazine, 33 (1995) 2, 44-49.