

先锋系列丛书

发展中的光网络器件

DEPLOYING OPTICAL NETWORKING COMPONENTS

Gilbert Held 著
胡先志 陈汉林 译

**Mc
Graw
Hill** Education

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

TN029.11

IT 先锋系列丛书

发展中的光网络器件

Gilbert Held 著

胡先志 陈汉林 译

人民邮电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

发展中的光网络器件 / (美) 赫尔德 (Held, G.) 著; 胡先志, 陈汉林译.

—北京: 人民邮电出版社, 2003.8

(IT 先锋系列丛书)

ISBN 7-115-11449-8

I. 发... II. ①赫... ②胡... ③陈... III. 光纤通信—通信网 IV. TN929.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 055673 号

IT 先锋系列丛书

发展中的光网络器件

◆ 著 Gilbert Held

译 胡先志 陈汉林

责任编辑 梁 凝

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

读者热线 010-67129258

北京汉魂图文设计有限公司制作

北京顺义振华印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本: 800×1000 1/16

印张: 10.75

字数: 225 千字

2003 年 8 月第 1 版

印数: 1-4 000 册

2003 年 8 月北京第 1 次印刷

著作权合同登记 图字: 01-2003-1671 号

ISBN 7-115-11449-8/TN · 2113

定价: 19.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

版 权 声 明

Gilbert Held

Deploying Optical Networking Components

ISBN: 0-07-137505-8

Copyright©2001 by the McGraw-Hill Companies, Inc.

Original language published by The McGraw-Hill Companies, Inc. All Rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed in any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition jointly published by McGraw-Hill Education (Asia) Co. and Posts & Telecommunications Press.

本书中文简体字翻译版由人民邮电出版社和美国麦格劳-希尔教育（亚洲）出版公司合作出版。未经出版者预先书面许可，不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有 McGraw-Hill 公司激光防伪标签，无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记图字：01-2003-1671 号

内 容 提 要

本书详细地介绍了正在发展中的光网络器件，包括光纤传输的优点、光传导原理、光纤组成与制造、光缆结构、光连接器、光源与光探测器，以及光纤在局域网、广域网、小区和建筑物内应用所涉及到的各种关键技术内容。

本书的特点是：（1）内容丰富，书中对构成光网络的器件作了全面的介绍，从光纤通信系统的优、缺点到光纤在各个层次光网络中的具体应用所涉及的关键技术细节都做了翔实的阐述；（2）重点突出，书中在介绍光网络器件发展的同时，重点阐述光纤导光原理、光纤材料组成与制造工艺、光缆结构特点、光连接器结构特点、光源与光探测器的分类和特点以及光纤与光器件在各个层次光网络中应用的关键技术和具体形式；（3）目的明确，作者编写本书的目的是使阅读此书的读者能够在了解光网络发展的基础上，熟悉不同光网络器件的工作原理，进而掌握将各种光网络器件如何合理地配置到各层次光网络的具体技巧。

本书可供从事光纤通信的技术人员参考使用，对从事光网络、光网络器件研究、应用方面的工作人员也颇具参考价值。

致 谢

当作者的名字显著地出现在大多数书的封面上时，作者只是作为负责使书名标题出现在书店书架或出现在硬拷贝或电子出版广告上而进行准备、生产和营销努力的团队中的一员。因此，如果我不向为本书倾注辛勤劳动的许许多多的人表示衷心的感谢，那将是我的疏忽。

作为一个有大量时间是在飞机和旅馆房间里度过的传统作者，不久前，我认识到技术的使用受到了一些限制。特别是在 30000 英尺高空中的空气湍流使得在笔记本电脑上打字或画图变得困难，而且几乎没有旅馆有这样的电源插座，它能与我使用的旅行套件中的通用连接器的插头相配合。认识了这些问题，我倾向使用通用的文字处理器：铅笔和纸张。在 30000 英尺高空遇到空气湍流时，尽管我的书写会出现波动，但是我决不会失去握住钢笔或铅笔的力量，而且不会担心我的连接器插头是否能插入旅馆中的插座来为我的书写工具充电。当然，我现在担心的是是否能够寻找到解读我的笔迹以及将我的手稿内容和所画的图转换成为一份正式原稿的人。幸运的是，我能够依赖于 Linda Hayes 女士的这方面的娴熟技能。Linda 已能够做到奇迹般地解读我的笔迹且转变我画的图成为一份正式原稿。对此，我是非常感谢的。

尽管原稿诞生是本书出版过程的一个重要部分，但如果我不感谢对本书的出版尽心尽力的我的图书编辑和出版部门的人们，那将会是我的再一次疏忽。虽然，“图书策划”这个词看上去是简单的，但是实际上这个过程涉及相当多的工作，而且需要图书策划编辑采用作者建议并将其调整为国内图书结构版式，在正式会议上提交建议且维护它的生存价值。这明显地需要相当大量的努力，而且我再次得到了 Marjorie Spencer 的关怀，他指导我将建议变为合同。

当原稿转入出版过程时，原稿要经过校对编辑、制图、封面和封底设计以及其他专家的手。在此，我向他们一并致谢。最后，但确切地说并不是最后，我将要感谢我的妻子——Beverly。当我在进行研究工作和撰写这本书时，她却在毫无怨言的在忍耐和理解中度过了漫长的黑夜和失去了一个又一个周末。

译 者 的 话

今天,信息时代正在推动着光网络的蓬勃发展。众所周知,光网络器件是决定光网络发展的关键技术之一。为适应国内光网络的发展需求,各出版社已组织出版了一些论及光网络的书籍,但是专门对光网络器件进行全面、深入介绍的书籍却寥寥无几。为此,我们翻译了这本关于光网络器件的专著,以供国内从事光网络、光网络器件研发的技术人员参考。

光网络的发展与三大关键技术有关:光传输媒介、光器件和组网技术。业内人士十分清楚今天光网络按照承担的服务范围分为核心网、城域网、接入网、局域网,不同的网络层次则选用了不同的光传输媒介和不同的光器件,进而按用户的要求构筑成不同的光网络。例如一个 $32 \times 10\text{Gbit/s}$ 的长途全光密集波分复用系统是由非零色散位移单模光纤、分布反馈激光器、掺铒光纤放大器、合(分)波器、雪崩光电二极管、光分插复用器和光交叉连接设备等共同组成的,由此,我们会认识到光网络器件,如分布反馈激光器、雪崩光电二极管、掺铒光纤放大器、合(分)波用器、分插复用器等光器件起到了延长传输距离,提高传输容量的作用,进而增加了组网能力。如上所述,在光网络中光器件扮演着极其重要的作用。为此,对从事光网络与光网络器件研究和应用的读者,仔细地阅读本书一定会有不少的收获。

在拿到本书英文版原著时,作为长期从事技术工作的人会感觉内容相当浅显。然而,在翻译过程中,特别是通过仔细校对译稿后,我们发现这是一本很不错的书。当然也需要指出,书中也有一些内容上的错误和用词不严密的地方,译者尽力作了注释,希望读者在阅读本书时加以注意。

本书的翻译分工是:胡先志负责目录、前言、致谢、第1~4章及附录部分;陈汉林负责第5~8章;全书最后由胡先志校对定稿。

由于译者技术和中英文水平有限,本书的翻译难免会有误译之处,欢迎读者不吝赐教。

译者

2003年1月18日

前 言

今天，我们正在亲眼目睹着通信领域中的一场革命。这场革命包括利用光作为手段沿着光纤传送信息。虽然利用光沿光纤传送信息的试验工作可追溯到 20 世纪 30 年代，而且在 20 世纪 70 年代成功地实现了在光纤上传送信息，但是直到世纪之交，才使光网络的使用得到迅速增长。

当我们迈入新世纪时，光网络代表着迅速发展的通信领域中成长最快的部分。因为光网络具有高带宽和低噪声的特点，所以光纤非常适合于传送信息。当专业刊物中的许多文章集中讨论用光网络提供基础结构来满足因特网应用的日益增长的需要时，正如著名的预言家所说，“这只是故事的一个片段”。与光网络有关的真正故事是光网络扩展用于局域网和广域网（LAN 和 WAN），而且更新的情况是光网络正在用于建筑物内的通信。

在办公室环境中，光网络设备的使用正在向着无处不在的程度发展，而且有望在几年内延伸到家庭。在办公室环境中，十分常见的是利用光中继器传送数据的距离比用铜线电缆能够传送的距离要远得多。除了中继器之外，利用光调制解调器和复用器以及以在光纤上传送数据为基础的存储区域网络也正在普及之中。在家庭环境中，有线电视公司和电话公司正在使用光纤到小区（FTTN）、光纤到路边（FTTC）和光纤到家庭（FTTH）作为向居民提供宽带通信的手段。因为光网络设备使用猛增，所以对通信业内人士来说，重要的是要了解光网络是如何出现的，以及许多可选择方案的适用性。这就是本书所要论及的重点。

在本书中，我们将集中阐述光传输系统的各种各样的器件和怎样用这些器件来支持光的有效和经济传输。因为本书写作时考虑了读者具有不同的背景和对网络有各种不同的需求，所以本书写作目的是使读者对光网络的许多领域作一个深入了解。在本书中，我们除了要熟悉和掌握不同光网络器件的工作之外，还要了解它们在发展中的传输系统 WAN、LAN 和其他应用环境中的应用。

作为一名具有 30 多年从事光网络工作经验的专业作者，我渴望得到读者的反馈意见。请通过电子邮件信箱 gi/held@yahoo.com 随时与我联系，我希望与您共享您关于本书的任何评论。请您告诉我本书再版时应考虑省略的内容或专题，或我对一个专题论及的太多或太少。正如所说，提一只烧鸡，端一杯百事可乐或一杯茶，跟我来，让我们一起来探讨奇妙的光网络世界。

Gilbert Held
佐治亚州 梅肯

目 录

第1章 概述	1
1.1 光网络和基本术语	1
1.1.1 术语	1
1.1.2 发展	2
1.1.3 本书重点	2
1.1.4 本章要点	3
1.2 光传输的优点	3
1.2.1 带宽	4
1.2.2 技术进步	4
1.2.3 抗电磁干扰	5
1.2.4 低信号衰减	5
1.2.5 环境利用	5
1.2.6 安全性	6
1.2.7 重量和尺寸	6
1.3 光纤的缺点	6
1.3.1 光缆接续	6
1.3.2 光纤成本	7
1.4 各章预览	7
1.4.1 认识光	7
1.4.2 了解光纤	8
1.4.3 光源和光探测器	8
1.4.4 光纤在局域网中的应用	8
1.4.5 光纤在广域网中的应用	8
1.4.6 光纤在小区中的应用	8
1.4.7 光纤在建筑物中的应用	8
第2章 了解光	9
2.1 光的描述	9
2.1.1 光作为一种粒子	9
2.1.2 光作为一种电磁波	9

2.2	电磁波的基础	11
2.2.1	频率	11
2.2.2	波长	12
2.2.3	频谱	13
2.3	功率度量	19
2.3.1	贝尔	19
2.3.2	分贝	20
2.3.3	功率预算	21
2.3.4	信噪比	21
2.4	金属媒质对传输速率的约束	24
2.5	光媒质传输速率的限制	26
2.5.1	衰减	26
2.5.2	散射	26
2.5.3	色散	26
2.5.4	工作速率	26
第3章	了解光纤	28
3.1	发展	28
3.2	制造	28
3.3	基本组成	30
3.3.1	包层	30
3.3.2	护套	30
3.3.3	增强纤维	31
3.4	光纤中的光传导	31
3.4.1	折射率	31
3.4.2	临界角	32
3.4.3	波长确定	32
3.4.4	数值孔径	33
3.4.5	光传导	33
3.5	光纤评价方法和术语	34
3.5.1	光纤尺寸	34
3.5.2	光纤分类	35
3.5.3	光衰减	37
3.6	光纤组成	41
3.6.1	玻璃光纤	42

3.6.2	塑料光纤	42
3.6.3	塑料包层石英玻璃芯光纤	42
3.7	光缆类型	43
3.8	连接器	44
3.9	插入损耗	46
3.10	EIA/TIA568 标准	46
第 4 章	光源和探测器	48
4.1	光传输系统的器件	48
4.1.1	光发射机和光接收机	48
4.1.2	媒质	48
4.1.3	耦合器	48
4.1.4	器件关系	49
4.2	光源	49
4.2.1	发光二极管	49
4.2.2	工作	50
4.2.3	调制方法	55
4.2.4	LED 和激光二极管的比较	55
4.2.5	激光器	56
4.3	光电探测器	60
4.3.1	光系统中的基本工作	61
4.3.2	辐射吸收	61
4.3.3	光电探测器的类型	62
4.4	耦合器和连接器	64
4.4.1	作用	64
4.4.2	准直过程	65
4.4.3	模场直径和数值孔径重要性	66
4.4.4	耦合要考虑的因素	66
4.4.5	对准要考虑的因素	66
4.4.6	耦合器和连接器的类型	67
第 5 章	光纤在局域网中的应用	68
5.1	光纤分布数据接口 (FDDI)	68
5.1.1	FDDI 在 OSI 参考模型中的位置	68
5.1.2	4B/5B 编码	68

5.1.3	光纤规范	71
5.1.4	媒质接口和 ST 连接器	71
5.1.5	环结构	71
5.1.6	站点类型	72
5.1.7	端口类型和规定	72
5.1.8	FDDI 帧结构	73
5.1.9	总结	75
5.2	以太网和快速以太网	76
5.2.1	网络直径限制	76
5.2.2	局域网延伸器	78
5.2.3	其他延伸器	81
5.3	吉比特以太网	81
5.3.1	概述	81
5.3.2	方案	82
5.3.3	双工支持	84
5.3.4	网络利用	85
5.3.5	限制因素	86
第 6 章	光纤在广域网中的应用	88
6.1	发展演化和理论基础	88
6.1.1	应用的理论基础	88
6.1.2	AT&T 的 FT3C 系统	89
6.1.3	技术进步	90
6.2	SONET 和 SDH	96
6.2.1	概述	97
6.2.2	SONET 的传输结构	97
6.2.3	SONET 的传输体系	98
6.2.4	SDH 体系	103
6.2.5	组网拓扑	105
6.3	波分复用 (WDM) 和密集波分复用 (DWDM)	107
6.3.1	波分复用 (WDM)	108
6.3.2	密集波分复用 (DWDM)	111
6.3.3	WDM 和 DWDM 的发展	112
6.3.4	交替协议栈	113

第 7 章 光纤在小区中的应用	115
7.1 电话公司已有的基础设施	115
7.1.1 概述	115
7.1.2 中心局	116
7.1.3 连接方法	116
7.2 最初的有线电视的基础设施	119
7.2.1 概述	119
7.2.2 前端	119
7.2.3 有线电视分配系统	120
7.3 本地电话网络的改进	121
7.3.1 概述	121
7.3.2 选择	122
7.4 有线电视基础设施的改进	123
7.4.1 概述	123
7.4.2 带宽限制	124
7.4.3 混合光纤—同轴系统	124
7.5 光纤到家	126
7.5.1 概述	126
7.5.2 经济性	126
7.5.3 旁路	127
第 8 章 光纤在大楼中的应用	129
8.1 光纤调制解调器	129
8.1.1 基本工作原理	129
8.1.2 使用特点	130
8.1.3 选择特点	130
8.1.4 TC1540 型光纤调制解调器	131
8.2 光纤复用器	133
8.2.1 理论基础	134
8.2.2 概述	134
8.2.3 特点	135
8.2.4 典型的复用器	136
8.3 光模式转换器	139
8.3.1 概述	139
8.3.2 操作	139

8.3.3 特性	140
8.3.4 转换器的比较	140
附录 频率与波长	141
名词解释	151
缩略语	155

第1章 概述

我们可以想象某个人能够工作在动态地获得额外带宽来满足不同工作需要的环境中。假定是在度过一个长周末后的星期二早上8点钟,当工作人员回来且在讨论他们的周末活动时,一个团体需要的带宽会是最小的。随着工作的进行,团体的活动增加,客户打电话寻求支持,员工接入到各种各样的远端数据库,而团体的带宽需要就增加了。

现在是通过固定容量的本地环线路将团体各地方彼此连接起来或连接到不同网络的方法来满足不同团体的带宽需求的。但当容量出现突变时,如当采用帧中继的地方,它有可能突然超过待发信息速率(CIR),这时只能够突然升高到固定线路工作速率。现在想象使用通信线路将每个团体点连接到一个网络上,这个网络的每个本地环线路都具有大的(实际上是虚拟无限)传输容量。随着团体需要的扩大,而且在需要更大带宽时,线路终端设备的传输容量十分大,以致在无需对线路进行升级的条件下,只需要额外的带宽就能完全满足当今21世纪的需要。这个说法像一个幻想吗?这个问题的答案与我们的时间标准有关。一开始时人们可能没有考虑动态带宽的需要。当读者阅读这本书时,满足需求的动态带宽将会成为现实。通过了解光网络器件的发展,我们将获得按需的动态带宽中可用的关键技术及获得实现视频会议、多个吉比特文件在几分之一秒内完成传输、点播电影、动态连接到远距离的学习中心和满足其他带宽强烈要求的应用的能力。

1.1 光网络和基本术语

因为本书论及的是光网络,所以在我们深入讨论这个课题之前,一个好的想法是将光通信方法与传统的以铜线电缆为基础的电通信进行比较和对比,来理解它们的异、同点。在传统的以铜线电缆为基础的通信系统中调制解调器或数字服务单元(DSU)既用作发射机,也用作接收机,而铜线电缆导体是传输媒质。在一个光网络环境中,我们仍需要有任何类型的通信系统的三大支柱:发射机、接收机和传输媒质。激光器或发光二极管(LED)是发射机,而光检测器,称为光电探测器或光探测器是接收机。发射机和接收机两者一般是固体半导体器件。正如人们所预料的那样,用光纤代替铜线电缆来作传输媒质。

1.1.1 术语

本节将帮助读者理解本书中将会遇到新的和旧的术语及一些可能混淆的术语。关于后者,即使语言纯正癖者不同意,在整本书中作者仍将术语光纤和纤维光学互换使用。这样,我们将认为除了玻璃和塑料两者可用来代表光纤之外,也可用纤维光学中可用的材料来代表

光纤。然而，由于塑料光纤提供的传输能力仅是玻璃光纤传输能力的一小部分，所以在本书中我们具体地涉及的是玻璃光纤。换言之，所论及的光纤都是指玻璃光纤。

所论及的其他术语，在我们回顾全书可应用的术语时，帮人们记忆的前缀值是按次序排列的。特别是本书所涉及的频率、带宽和波长与我们日常工作所涉及的一般数字是明显不同的。因此，作为一种复习，前缀毫表示 10^{-3} ，微表示 10^{-6} ，纳表示 10^{-9} ，而千表示 10^3 ，兆表示 10^6 ，吉表示 10^9 。与光网络领域有关的值得注意的其他前缀，在日常生活中很少遇到的是皮 (10^{-12})、飞 (10^{-15})，太是表示万亿 (10^{12}) 的前缀，拍表示 10^{15} 。

1.1.2 发展

在电话公司和有线电视干线基础设施进入本地用户区和局域网 (LAN) 内时，光网络器件正在发生快速的变化。如果简单地计算出光缆制造商正在运输的不同类型的光纤盘数，人们就容易理解在 20 世纪前 50 年光缆制造商的证券市场值呈捆绑土星火箭般飙升的原因。类似地，已被承认的各种各样的光器件（如激光器、发光二极管 (LED)、耦合器、光调制解调器和复用器）的制造商与需要以交钥匙为基础的光系统、或采购分立的器件且集成这些器件成为一个满足那些团体需要的光系统的大量的团体的涌现，如同股票的上涨一样。光网络发展的一个常用的计量方法是以通信电话公司已经敷设的或者计划敷设的光纤公里数来表示。这里术语光纤公里数表示由网络运营商已经或正在敷入管道的光纤长度乘以管道中的明光纤和暗光纤芯数。术语明光纤是指传输信息的光纤，而术语暗光纤表示尚未使用的光纤。与光纤网络建设相关的主要费用包括获得通行权、挖沟、敷设管道，为日后扩容增添暗光纤是一种常用的作法。表 1-1 以光纤公里的方式汇总了 6 个通信电话公司的网络增长情况。

虽然光纤公里数是对网络地理覆盖区的一个重要标志，但是光纤公里数不能说明一个网络的真正容量。有关网络容量，重要的是要指出所敷设的光纤类型，因为某些类型的光纤比其他类型的光纤更适合用来支持数据速率为 10Gbit/s（吉比特/秒）的高速传输和即将出现的单纤支持 40Gbit/s 的传输速率。本书中将包括了这些研究课题。

表 1-1 以光纤公里数来表示网络容量

网络运营商	光纤公里数	网络建成日期
Aerie 网络	14 220 000	2004（计划）
AT&T	8 237 000	2001（计划）
Level 3 通信	3 686 000	2001（计划）
Qwest	2 940 000	已建成
Broadwing	2 411 500	已建成
全球交叉	770 000	已建成

1.1.3 本书重点

由于读者具有不同的文化背景，而且读者所在的团体对网络有不同的要求，所以本书的

最终目的是为读者提供一个光网络器件工作和使用的实际指导。我们将在本书中集中讨论组成光传输系统的各种器件,每种器件是如何工作的,怎样集成所有的器件来形成一个光网络。随着我们阅读本书的进程,我们将会对光的组成和光怎样在不同类型的光纤中传导有一个了解。我们将注意到,在一个光系统中,不仅可使用不同类型的光源作为发射机,而且可用不同类型的光探测器作为光接收机。通过本书所介绍的内容,我们将逐步获得用来理解光传输如何用于本地网、广域网环境以及大楼内来满足各种不同网络要求的基础知识。

1.1.4 本章要点

直到 20 世纪 90 年代末为止,当通信公司拓展他们的基础设施支持用于因特网、视频会议和其他高带宽的应用增长时,大多数人才将光网络与广域网(WAN)联系起来。不是常识的事实是光网络器件能够和正在被用于办公环境,而且正在增大向用户住地提供通信的动力。为了理解光网络器件使用增长的原因,本章的第一节为支持使用光纤提出一个理论综述。为保证读者不会有对一切事情持乐观态度和我们应迁移一切的通信到以光为基础的系统的偏见,我们也将阐述和讨论为什么选择使用铜线电缆仍会比使用光纤更好的一些原因。一旦我们了解了光纤使用所涉及到的优点和缺点,我们将讨论与光的使用有关的广泛应用问题。我们将以预览后续各章的方式来结束这个序言性章节。读者可以使用本章本身或者连同索引一起来找到特别感兴趣的信息。

虽然本书各章是按照最有利于读者阅读的次序编排的,但作者也认识到有许多人需要很快了解某些信息来完成今天的工作任务,为此,本书每章的撰写顺序尽可能将前后各章既可看作为一个整体,又可以将各章作为一个独立部分。因此,读者需要直接了解一个特殊课题的专门信息就可以直接翻到有关章节,而不必阅读所有的以前的章节。然而,例外的情况可能发生在读者需要的背景信息涉及光传输系统的专用器件的工作和光传输系统使用在特殊的操作环境中时。在这种情况下,读者将至少需要阅读两章,一章叙述特殊的光传输系统器件的工作,另一章集中在读者需要信息的工作环境。

现在,为了对放在本书前面的这章内容有了一个了解,让我们开始将阅读的重点放在研究使用光传输的优点上。

1.2 光传输的优点

在考虑使用光传输系统时,大多数人想的是光纤的带宽。虽然这无疑是重要的且为许多机构团体改用光传输系统提供基本理由,但是光纤的带宽并不是考虑使用这类传输系统的惟一理由。正如我们将简要地指出的那样,使用光传输系统有许多的理由,众多的理由中某些理由对一种类型团体比另一类团体更适用。

表 1-2 列出了与使用光纤传输系统有关的 7 个主要优点。因为许多人首先是把带宽与光纤联系起来,那么让我们首先讨论带宽问题。