

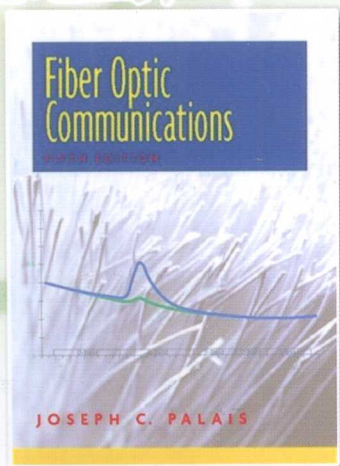
国外电子与通信教材系列

英文版

PEARSON

光纤通信

(第五版)



Fiber Optic Communications
Fifth Edition

[美] Joseph C. Palais 著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

国外电子与通信教材系列

光纤通信

(第五版)

(英文版)

Fiber Optic Communications

Fifth Edition

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书全面讲述光纤通信用到的主要器件、光纤传输原理、光信号的产生和接收、光纤通信系统的设计以及光纤通信网络。第1章介绍光纤通信系统的构成；第2章和第3章是对有关光学和波动学的简单回顾，所讲基本理论是分析光纤器件及光纤通信系统的基础；第4章讲集成光学技术的基础知识；第5章讲光纤和光缆；第6章和第7章讲通信用光源和光检测器；第8章和第9章介绍主要的无源器件；第10章讲光源的调制技术；第11章讲光信号的检测以及噪声对光通信的影响；第12章介绍系统设计中涉及的主要问题。

本书对光纤通信基础知识的讲授全面、系统而又深入浅出，同时也非常注重近年来光纤通信中出现的最新技术。因此，这是一本适合于电子工程以及通信工程专业高年级学生和研究生优秀教科书。对于从事通信工程的技术人员，也不失为一本很好的参考书和进修教材。

Original edition, entitled Fiber Optic Communications, Fifth Edition, 9780130085108 by Joseph C. Palais, published by Pearson Education, Inc, publishing as Prentice Hall, Copyright © 2005 Prentice Hall.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

China edition published by PEARSON EDUCATION ASIA LTD., and PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY, Copyright © 2009.

This edition is manufactured in the People's Republic of China, and is authorized for sale only in the mainland of China exclusively (except Taiwan, Hong Kong SAR and Macau SAR).

本书由 Pearson Education (培生教育出版集团) 授予电子工业出版社。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。

此版本仅限在中国大陆出版发行。

本书贴有 Pearson Education (培生教育出版集团) 激光防伪标签，无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字：01-2005-1941

图书在版编目 (CIP) 数据

光纤通信：第5版 = Fiber Optic Communications, Fifth Edition: 英文 / (美) 帕勒里斯 (Palais, J. C.) 著.

北京：电子工业出版社，2009.7

(国外电子与通信教材系列)

ISBN 978-7-121-09219-0

I. 光… II. 帕… III. 光纤通信-教材-英文 IV. TN929.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 113489 号

责任编辑：马 岚

印 刷：北京市顺义兴华印刷厂

装 订：三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编：100036

开 本：787 × 980 1/16 印张：28.75 字数：957 千字

印 次：2009 年 7 月第 1 次印刷

定 价：45.00 元

凡所购买电子工业出版社的图书有缺损问题，请向购买书店调换；若书店售缺，请与本社发行部联系。联系及邮购电话：(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：(010) 88258888。

序

2001年7月间,电子工业出版社的领导同志邀请各高校十几位通信领域方面的老师,商量引进国外教材问题。与会同志对出版社提出的计划十分赞同,大家认为,这对我国通信事业、特别是对高等院校通信学科的教学工作会很有好处。

教材建设是高校教学建设的主要内容之一。编写、出版一本好的教材,意味着开设了一门好的课程,甚至可能预示着一个崭新学科的诞生。20世纪40年代MIT林肯实验室出版的一套28本雷达丛书,对近代电子学科、特别是对雷达技术的推动作用,就是一个很好的例子。

我国领导部门对教材建设一直非常重视。20世纪80年代,在原教委教材编审委员会的领导下,汇集了高等院校几百位富有教学经验的专家,编写、出版了一大批教材;很多院校还根据学校的特点和需要,陆续编写了大量的讲义和参考书。这些教材对高校的教学工作发挥了极好的作用。近年来,随着教学改革不断深入和科学技术的飞速进步,有的教材内容已比较陈旧、落后,难以适应教学的要求,特别是在电子学和通信技术发展神速、可以讲是日新月异的今天,如何适应这种情况,更是一个必须认真考虑的问题。解决这个问题,除了依靠高校的老师 and 专家撰写新的符合要求的教科书外,引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,是会有好处的。

一年多来,电子工业出版社为此做了很多工作。他们成立了一个“国外电子与通信教材系列”项目组,选派了富有经验的业务骨干负责有关工作,收集了230余种通信教材和参考书的详细资料,调来了100余种原版教材样书,依靠由20余位专家组成的出版委员会,从中精选了40多种,内容丰富,覆盖了电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等方面,既可作为通信专业本科生和研究生的教学用书,也可作为有关专业人员的参考材料。此外,这批教材,有的翻译为中文,还有部分教材直接影印出版,以供教师用英语直接授课。希望这些教材的引进和出版对高校通信教学和教材改革能起一定作用。

在这里,我还要感谢参加工作的各位教授、专家、老师与参加翻译、编辑和出版的同志们。各位专家认真负责、严谨细致、不辞辛劳、不怕琐碎和精益求精的态度,充分体现了中国教育工作者和出版工作者的良好美德。

随着我国经济建设的发展和科学技术的不断进步,对高校教学工作会不断提出新的要求和希望。我想,无论如何,要做好引进国外教材的工作,一定要联系我国的实际。教材和学术专著不同,既要注意科学性、学术性,也要重视可读性,要深入浅出,便于读者自学;引进的教材要适应高校教学改革的需要,针对目前一些教材内容较为陈旧的问题,有目的地引进一些先进的和正在发展中的交叉学科的参考书;要与国内出版的教材相配套,安排好出版英文原版教材和翻译教材的比例。我们努力使这套教材能尽量满足上述要求,希望它们能放在学生们的课桌上,发挥一定的作用。

最后,预祝“国外电子与通信教材系列”项目取得成功,为我国电子与通信教学和通信产业的发展培土施肥。也恳切希望读者能对这些书籍的不足之处、特别是翻译中存在的问题,提出意见和建议,以便再版时更正。



中国工程院院士、清华大学教授
“国外电子与通信教材系列”出版委员会主任

出版说明

进入21世纪以来,我国信息产业在生产和科研方面都大大加快了发展速度,并已成为国民经济发展的支柱产业之一。但是,与世界上其他信息产业发达的国家相比,我国在技术开发、教育培训等方面都还存在着较大的差距。特别是在加入WTO后的今天,我国信息产业面临着国外竞争对手的严峻挑战。

作为我国信息产业的专业科技出版社,我们始终关注着全球电子信息技术的发展方向,始终把引进国外优秀电子与通信信息技术教材和专业书籍放在我们工作的重要位置上。在2000年至2001年间,我社先后从世界著名出版公司引进出版了40余种教材,形成了一套“国外计算机科学教材系列”,在全国高校以及科研部门中受到了欢迎和好评,得到了计算机领域的广大教师与科研工作者的充分肯定。

引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,将有助于我国信息产业培养具有国际竞争能力的技术人才,也将有助于我国国内在电子与通信教学工作中掌握和跟踪国际发展水平。根据国内信息产业的现状、教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的指示精神以及高等院校老师们反映的各种意见,我们决定引进“国外电子与通信教材系列”,并随后开展了大量准备工作。此次引进的国外电子与通信教材均来自国际著名出版商,其中影印教材约占一半。教材内容涉及的学科方向包括电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等,其中既有本科专业课程教材,也有研究生课程教材,以适应不同院系、不同专业、不同层次的师生对教材的需求,广大师生可自由选择 and 自由组合使用。我们还将与国外出版商一起,陆续推出一些教材的教学支持资料,为授课教师提供帮助。

此外,“国外电子与通信教材系列”的引进和出版工作得到了教育部高等教育司的大力支持和帮助,其中的部分引进教材已通过“教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导委员会”的审核,并得到教育部高等教育司的批准,纳入了“教育部高等教育司推荐——国外优秀信息科学与技术系列教学用书”。

为作好该系列教材的翻译工作,我们聘请了清华大学、北京大学、北京邮电大学、东南大学、西安交通大学、天津大学、西安电子科技大学、电子科技大学等著名高校的教授和骨干教师参与教材的翻译和审校工作。许多教授在国内电子与通信专业领域享有较高的声望,具有丰富的教学经验,他们的渊博学识从根本上保证了教材的翻译质量和专业学术方面的严格与准确。我们在此对他们的辛勤工作与贡献表示衷心的感谢。此外,对于编辑的选择,我们达到了专业对口;对于从英文原书中发现的错误,我们通过作者联络、从网上下载勘误表等方式,逐一进行了修订;同时,我们对审校、排版、印制质量进行了严格把关。

今后,我们将进一步加强同各高校教师的密切关系,努力引进更多的国外优秀教材和教学参考书,为我国电子与通信教材达到世界先进水平而努力。由于我们对国内外电子与通信教育的发展仍存在一些认识上的不足,在选题、翻译、出版等方面的工作中还有许多需要改进的地方,恳请广大师生和读者提出批评及建议。

电子工业出版社

教材出版委员会

主 任	吴佑寿	中国工程院院士、清华大学教授
副主任	林金桐	北京邮电大学校长、教授、博士生导师
	杨千里	总参通信部副部长，中国电子学会会士、副理事长 中国通信学会常务理事
委 员	林孝康	清华大学教授、博士生导师、电子工程系副主任、通信与微波研究所所长 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员
	徐安士	北京大学教授、博士生导师、电子学系主任 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
	樊昌信	西安电子科技大学教授、博士生导师 中国通信学会理事、IEEE 会士
	程时昕	东南大学教授、博士生导师、移动通信国家重点实验室主任
	郁道银	天津大学副校长、教授、博士生导师 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员
	阮秋琦	北京交通大学教授、博士生导师 计算机与信息技术学院院长、信息科学研究所所长
	张晓林	北京航空航天大学教授、博士生导师、电子信息工程学院院长 教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会委员
	郑宝玉	南京邮电学院副院长、教授、博士生导师 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
	朱世华	西安交通大学副校长、教授、博士生导师、电子与信息工程学院院长 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员
	彭启琮	电子科技大学教授、博士生导师、通信与信息工程学院院长 教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会委员
	毛军发	上海交通大学教授、博士生导师、电子信息与电气工程学院副院长 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
	赵尔沅	北京邮电大学教授、《中国邮电高校学报（英文版）》编委会主任
	钟允若	原邮电科学研究院副院长、总工程师
	刘 彩	中国通信学会副理事长、秘书长
	杜振民	电子工业出版社原副社长
	王志功	东南大学教授、博士生导师、射频与光电集成电路研究所所长 教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会主任委员
	张中兆	哈尔滨工业大学教授、博士生导师、电子与信息技术研究院长
	范平志	西南交通大学教授、博士生导师、计算机与通信工程学院院长

前 言

自 1970 年世界上第一根低损耗光纤问世以来, 光纤通信得到了飞速发展。正在运行的光纤通信系统比比皆是, 新的设备、新的应用还在不断涌现。光纤通信所能实现的功能早已大大超过基于铜缆传输的系统。光纤通信技术使得我们身处其中的社会发展至信息社会成为可能。光纤通信与尚存的铜线应用以及正在快速增长的无线系统共同构建了信息基础架构, 满足了人们日益增长的通信需求。

光纤通信技术已经非常成熟, 因而以此为题材的书籍很多。在众多的著作中, 有相当一部分在理论体系及数学论证方面论述得十分详细。但这对于初学者来说, 却是相当困难的。本书试图在降低难度的同时, 尽可能为读者理解光纤通信系统的设计、工作原理以及系统容量等内容提供必要的信息。书中列出了重要的理论结果及数学结论, 但省略了冗长的推导过程。在适当的情况下, 尽可能用物理概念对这些理论结果加以解释, 并用大量的图表说明这些结果的用途。为了使提供的知识更接近于实际, 书中还给出了典型器件的特性参数的数值范围。

本书的第一版于 1984 年问世时, 在美国以及其他一些国家已经建成了纵横交错的光纤线路, 用于交换局之间的电话信息传输。到 1988 年本书的第二版出版时, 陆地长途光纤电话网的建设已接近完成, 而在世界主要的海洋中正铺设海底光缆。与此同时, 光纤局域网 (LAN, local-area network) 也处在发展之中。1992 年本书第三版出版时, 世界范围内已铺设超过一千万公里的光纤线路。海底光缆建设也加紧进行, 光纤局域网则快速增长。到 1998 年本书第四版问世时, 多条跨越大西洋、太平洋及其他海洋的光缆已经投入运行。同时, 各种光纤入户的试验也已完成, 以便为各种不同的用户提供更加广泛的业务。在本版, 也就是第五版出版时, 我们注意到了光纤通信的几个新的发展方向。更大的传输带宽需求 (尤其是因特网和商业应用), 要求设计出信息速率超过太比特每秒 (Tb/s) 的长距离光纤通信系统。城域网 (MAN, Metropolitan area network) 在光纤业界扮演更加重要的角色。光纤入户仍然是一个目标, 但并未引起人们的特别关注, 经济上的考虑使得这方面的进展步履维艰。

对于反映无止境的更高的带宽需求, 本书的基础内容不会有所变动, 但第五版突出了新的技术进步来展现这一点。我试图尽可能完整地将这些新的发展纳入第五版。

本书是一本为不具备光纤光学和通信方面基础知识的读者撰写的导论性著作。书中用来解释光纤系统特性的简单概念只涉及代数和三角学。必要的时候, 书中适当地引入有关光学、电子学和通信方面的基础知识。

本书的原稿是以我从事研发工作的记录及一系列有关光纤通信短期课程的讲稿为基础写成的。这些课程的听众包括攻读技术学院二年制博士学位的人员, 他们担负从设计师到部门主管的各种角色, 同时还包括工业界、政府和科学界的人士。所涉及的内容包括化学、物理学和多方面的工程技

术知识。同时,我还用这些短期课程的讲稿作为教材,面向超过 1500 名电气工程专业的高年级学生和一年级研究生讲授课程。这一课程通过电视讲授 20 多年,最近几年又作为因特网课程在更广泛的范围内传播。

可以从本书获益的专业人士包括从事实际工程设计的工程师,他们往往关注元器件、设备的选择和应用以及系统的设计计算。关于整个系统方面的知识对于器件设计师也很有用。其他从事与光纤通信事业有关工作的读者,例如高级工程决策人员、项目经理、技术人员、市场和销售人员以及教师都可以从本书中获得很有价值的信息。

本书是按以下结构来组织的。在本书的开篇给出了整个光纤通信系统的结构框图,指出了构成光纤通信系统的主要单元。这可以激发读者学习后续各章的动力。第 2 章和第 3 章回顾了有关光学和波动学领域的一些重要成果,这些基础知识对于理解光纤器件及光纤系统是十分必要的。第 4 章讲述集成光学,介绍将光器件集成在同一基片上的技术。集成光波导技术为在光纤中光波的传播提供了优异而简单的模型。第 5 章至第 9 章讲授用于构建光纤通信系统的主要器件,包括光纤、光源、光检测器、耦合器以及分布式光网络。有关系统方面的考虑在第 10 章至第 12 章中讲授,包括调制方式、噪声对信息传输质量的影响以及系统设计等重要内容。

我希望读者在掌握本书的这些知识以后,能够设计和规划光纤系统,以及选择和评估构成该系统的诸如光纤、光源、光检测器和耦合器等元器件。掌握本书中的知识以后,读者也可以胜任对一些商用子系统,例如光发送机和光接收机的评估工作。

这本整体修订过的新版《光纤通信》包含了自本书第四版出版以来光纤业界已有的重要进展。由于光纤通信技术的基础几乎是未曾改变的,所以新版的变化并不是很大。尽管如此,变化和增加的内容还是很明显的。新的或扩展的论题包括拉曼(Raman)放大器、掺铒波导(erbium-doped waveguide)放大器、阵列波导光栅、电吸收式调制器、光微机电(MEM, micro-electro-mechanical)元件、色散补偿、可调谐光源、可调谐滤波器、光时分复用、密集波分复用及稀疏波分复用等,以提升光谱利用率,更为注重外调制技术。在书中加进了一个新流行的光谱带分割表,对小形状因子连接器和无胶连接进行了描述。另外,还有很多细微之处的论述也有所改进,以便使概念更加清晰。

由于很多院校选用本书的最初版本作为研究生的光纤光学课程教材,所以在出第二版时增加了一系列习题。此次又新增了一些习题,同时对部分旧习题进行了修改,使新版本更适合课堂教学的需要。有一些习题相对简单,主要是使学生对书中的知识掌握得更加熟练,从而更有把握。另一些习题则涉及更深入的考虑,同时还需要回顾其他相关课程的内容。大多数习题的答案附在本书末尾,我们还会提供一本新的习题解答指南供教师使用。

本书添加了许多新的参考文献。本书最后列出的参考文献可以为进一步学习提供必要的资源。其中包括了旧的光纤光学经典文献和本书最新版本出版前发表的新资料。

我认为本书的前七章可以作为一个学期的课程。作为入门课,首先引进光纤通信系统中的主要元器件。学完这门课的学生可掌握进入光纤业界的必要知识。本书的后五章讲述一些更为高深的课题,可以作为第二学期的课程。为了进行数学方面的简化以及扩大本书的读者群,书中列出的许多

结论没有加以详细推导。如果授课对象训练有素，例如是电气工程专业的高年级学生，则授课教师可以补充讲解一些详细的推导过程，使学生加深理解。

光纤光学软件

很多技术人员和学生都拥有个人计算机，并接入了因特网。正因为如此，许多研究组都致力于研发解释光纤相关现象、辅助分析和设计光纤系统的计算机软件。其中几个程序可以从我的网页（www.fulton.asu.edu/~palais）获取。

在线课程

可以在网上得到涵盖本书内容的两个学期课程的教案。该教案既适合于大学教学，也适于进修或自学。网络版教案包括作者写的讲稿、示例、课后作业以及考试题。可以通过 E-mail（joseph.palais@asu.edu）和作者联系。

Joseph C. Palais
亚利桑那州立大学

目 录

第 1 章 光纤通信系统	1
1.1 历史的回顾	1
1.2 基本通信系统	2
1.3 光的属性	20
1.4 光纤的优点	24
1.5 光纤通信的应用	28
1.6 总结和讨论	33
习题	37
参考文献	39
第 2 章 光学概要	40
2.1 射线理论及其应用	40
2.2 透镜	44
2.3 成像	49
2.4 数值孔径	52
2.5 衍射	54
2.6 总结和讨论	58
习题	59
参考文献	60
第 3 章 波动光学基础	61
3.1 电磁波	61
3.2 色散、脉冲畸变及信息速率	64
3.3 偏振	77
3.4 谐振腔	78
3.5 平面边界面上的反射	82
3.6 临界角反射	87
3.7 总结和讨论	89
习题	90
参考文献	92

第4章 集成光波导	93
4.1 介质平板波导	93
4.2 对称平板波导中的模式	94
4.3 非对称平板波导中的模式	103
4.4 波导的耦合	104
4.5 平板波导中的色散和失真	111
4.6 集成光器件	113
4.7 总结和讨论	118
习题	119
参考文献	121
第5章 光纤波导	122
5.1 阶跃折射率光纤	122
5.2 渐变折射率光纤	125
5.3 损耗	129
5.4 阶跃折射率光纤中的模式和场	139
5.5 渐变折射率光纤中的模式和场	145
5.6 光纤中的脉冲畸变及信息速率	148
5.7 光纤的制作	157
5.8 光缆	162
5.9 总结和讨论	170
习题	172
参考文献	174
第6章 光源和光放大器	176
6.1 发光二极管	176
6.2 发光二极管的工作特性	179
6.3 激光原理	186
6.4 半导体激光器	191
6.5 半导体激光器的工作特性	192
6.6 窄谱宽半导体激光器和可调谐半导体激光器	200
6.7 光放大器	203
6.8 光纤激光器	211
6.9 垂直腔面发射半导体激光器	213
6.10 总结和讨论	213
习题	214
参考文献	217

第 7 章	光检测器	218
7.1	光检测原理	218
7.2	光倍增器	219
7.3	半导体光电二极管	223
7.4	PIN 型光电二极管	225
7.5	雪崩光电二极管	232
7.6	总结和讨论	234
	习题	235
	参考文献	237
第 8 章	耦合器和连接器	238
8.1	连接器原理	238
8.2	光纤头预处理	250
8.3	熔接	252
8.4	连接器	257
8.5	光源的耦合	265
8.6	总结和讨论	271
	习题	271
	参考文献	273
第 9 章	分布式网络和光纤器件	274
9.1	分布式网络	275
9.2	定向耦合器	284
9.3	星形耦合器	289
9.4	光交换	291
9.5	光纤隔离器	293
9.6	波分复用	296
9.7	光纤布拉格光栅	303
9.8	阵列波导光栅	305
9.9	MEMS 交换	308
9.10	其他器件: 光衰减器、光环行器和偏振控制器	313
9.11	总结和讨论	315
	习题	316
	参考文献	319
第 10 章	调制	321
10.1	发光二极管的调制及其电路	321
10.2	半导体激光器的调制及其电路	328

10.3	模拟调制格式	330
10.4	数字调制格式	334
10.5	电吸收调制器	342
10.6	外差式光接收机	345
10.7	总结和讨论	351
	习题	353
	参考文献	355
第 11 章	噪声和检测	357
11.1	热噪声和散弹噪声	357
11.2	信噪比	361
11.3	误码率	371
11.4	模式噪声、模分配噪声、放大器噪声、激光器噪声和抖动	379
11.5	其他噪声源	387
11.6	接收机电路设计	388
11.7	总结和讨论	391
	习题	392
	参考文献	395
第 12 章	系统设计	397
12.1	模拟系统设计	397
12.2	数字系统设计	401
12.3	总结和讨论	412
	习题	413
	参考文献	414
部分习题答案		415
参考文献		422
索引		430

C H A P T E R 1

Fiber Optic Communications Systems

In this chapter, we define the subject of fiber optic communications and explain our approach to this subject. We review the many advantages over alternative technologies and discuss significant applications. Because the reader might have no previous fiber optics experience, this book presents the fundamentals of several subjects on which the technology is based. These include fibers, optics, communications, optic communications, and, finally, complete fiber optic communications systems. The outlines of a complete system are shown here. Later, properties of each part and the dependence between parts are described. Finally, details of the design of practical systems are presented.

1.1 HISTORICAL PERSPECTIVE

Light has always been with us. Communications using light occurred early in our development, when human beings first communicated by using hand signals. This is obviously a form of optic communications. It does not work in darkness. During the day, the sun is the source of light for this system. The information is carried from the sender to the receiver on the sun's reflected radiation. Hand motion modifies, or modulates, the light. The eye is the message-detecting device, and the brain processes this message. Information transfer by such a system is slow, the transmission distance is limited, and the chances for error are great.

A later optic system, useful for longer transmission paths, was the smoke signal. The message was sent by varying the pattern of smoke rising from a fire. This pattern was again carried to the receiving party by reflected sunlight. This system required that a coding method be developed and learned by the communicator and receiver of the message. This is comparable to modern digital systems that use pulse codes.

In 1880, Alexander Graham Bell invented a light communication system, the *photophone* [1]. It used sunlight reflected from a thin voice-modulated mirror to carry

conversation. At the receiver, the modulated sunlight fell on a photoconducting selenium cell, which converted the message to electrical current. A telephone receiver completed the system. The photophone never achieved commercial success, although it worked rather well.

The advent of lamps allowed the construction of simple optic-communications systems, such as blinker lights, for ship-to-ship and ship-to-shore links, automobile turn signals, and traffic lights. In fact, any type of indicator lamp is basically an optic-communications system.

All these systems have low information capacities. A major breakthrough that led to high-capacity optic communications was the invention of the laser, in 1960. The laser provided a narrowband source of optic radiation suitable for use as a carrier of information. Lasers are comparable to the radio-frequency sources used for conventional electronics communications. Unguided optic communications systems (non-fiber) were developed shortly after the discovery of the laser. Communication over light beams traveling through the atmosphere was easily accomplished. The disadvantages of these systems include dependence on a clear atmosphere, the need for a line-of-sight path between transmitter and receiver, and the possibility of eye damage to persons who unknowingly look into the beam. Although somewhat limited in their use, these early applications aroused interest in optic systems that would guide the light beam and thus overcome those disadvantages. In addition, guided beams could bend around corners and could be buried in the ground. The early work on atmospheric laser systems provided much of the fundamental theory and many of the actual components required for communications over fibers. Ironically, it is now known that laser sources are not required for all fiber systems. In many cases the broader-band light-emitting diode is suitable. (The choice of the proper light source is a matter we discuss in this book.)

In the 1960s, the key element in a practical fiber system was missing—that is, an efficient fiber. Although light could be guided by glass fibers, those available attenuated light by far too large an amount. Glass produced by the ancient Egyptians was opaque. The artisans of Venice fabricated glass of much greater purity in the Middle Ages. Venetian glass was moderately transparent, but still orders of magnitude too lossy for modern long-distance communications. It was not until 1970 that the first truly low-loss fiber was developed and fiber optic communications became practical [2]. This occurred just 100 years after John Tyndall, a British physicist, demonstrated to the Royal Society that light can be guided along a curved stream of water. Guiding of light by a glass fiber and by a stream of water are evidence of the same phenomenon (total internal reflection).

1.2 THE BASIC COMMUNICATIONS SYSTEM

A basic communications system consists of a transmitter, a receiver, and an information channel, arranged as in Fig. 1.1. At the transmitter, the message is generated and put into a form suitable for transfer over the information channel. The information travels from the transmitter to the receiver over this channel. Information channels can be divided into two categories: unguided channel, and guided channel. The atmosphere

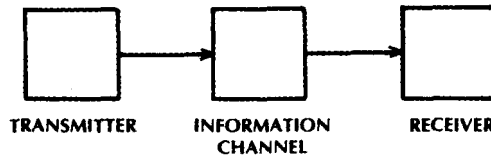


FIGURE 1.1

The basic communications system.

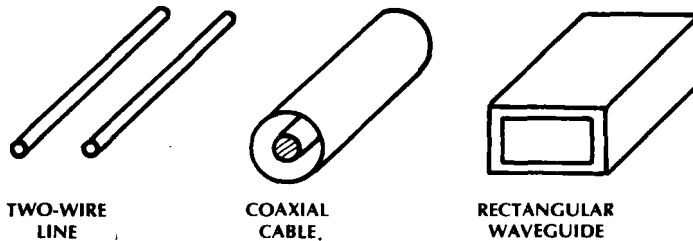


FIGURE 1.2

Some conducting transmission lines.

is an example of an unguided channel over which waves can propagate. Systems using atmospheric channels include commercial radio and television broadcasts and microwave relay links. Guided channels include a variety of conducting transmission structures. A few of these, illustrated in Fig. 1.2, are the two-wire line, coaxial cable, and rectangular waveguide. Guided lines cost more to manufacture, install, and service than do atmospheric channels. Guided channels have the advantages of privacy, weather independence, and the ability to convey messages within, under, and around physical structures. Fiber waveguides have these advantages and others. We enumerate them later in this chapter. At the receiver, the message is extracted from the information channel and put into its final form.

A more detailed, but still quite general block diagram appears in Fig. 1.3. A brief discussion of each block in this figure gives us a good feel for the main elements of a communications system. Descriptions of these elements emphasize those suitable for fiber systems. Many of the concise descriptions given in this section are expanded later. For now, we present an overview of the subject and lay the foundations for further discussions.

1.2.1 Message Origin

The message origin may take several physical forms. Quite often it is a transducer that converts a nonelectrical message into an electrical signal. Common examples include microphones for converting sound waves into currents and video (TV) cameras for converting images into currents. In some cases, such as data transfer between computers or parts of a computer, the message is already in electrical form. This situation also arises when a fiber link constitutes a portion of some larger system. Examples include fibers used in the ground portion of a satellite communications system and fibers used in relaying cable television signals. In any case, the information must be in electrical form before transmission for either electronic or optical communications.

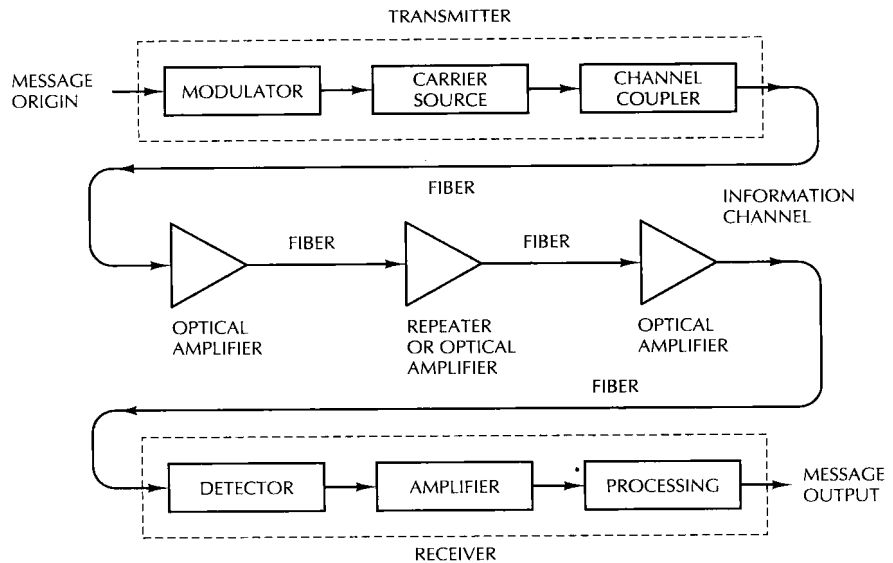


FIGURE 1.3
A generalized fiber
optic communica-
tions system.

1.2.2 Modulator

The modulator has two main functions. First, it converts the electrical message into the proper format. Second, it impresses this signal onto the wave generated by the carrier source. Two distinct categories of modulation format are *analog* and *digital*. An analog signal is continuous and reproduces the form of the original message quite faithfully. For example, suppose a sound wave containing a single tone is to be transmitted. The electrical current produced when a microphone picks up this wave has the same shape as the wave itself. This relationship is illustrated in Fig. 1.4. In this case, the modulator need not change the format of the signal. It could be appropriate to amplify this signal, however, so that the signal will be strong enough to drive the carrier source.

Digital modulation involves transmitting information in discrete form. This is illustrated in Fig. 1.5. The signal is either on or off. The *on* state represents a digital 1, the *off* state a digital 0. These states are the *binary digits* (or *bits*) of the digital system. The data rate is the number of bits per second (b/s) transmitted. The sequence of *on* and *off* pulses might be a coded version of an analog message. An analog-to-digital converter develops the digital sequence from the analog message. The reverse process occurs at the receiver, where the digital signal is returned to its analog form. To impress a digital signal onto a carrier, the modulator need only turn the source on or off at the appropriate times. The ease of constructing digital modulators makes this format very attractive for fiber systems.

The choice of format must be made very early in the design of any system. Other considerations and comparisons between analog and digital systems are discussed in more detail later in this and succeeding chapters.