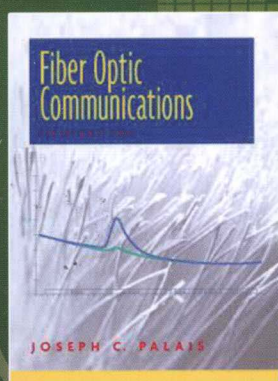


国外电子与通信教材系列

PEARSON

光纤通信 (第五版)

Fiber Optic Communications, Fifth Edition



[美] Joseph C. Palais 著
王江平 刘杰 闻传花 等译
李玉权 审校



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)

Fiber Optic Communications
Fifth Edition

美 Joseph C. Palais 著

王江平 刘 杰 闻传花 等译

李玉权 审校

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书是美国亚利桑那大学Palais教授撰写的一本享有盛誉的著作,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。内容主要涉及光纤通信系统的构成、光学和波动学的简单回顾、光学技术的基础知识、光纤和光缆、光源和光检测器、无源器件、光源的调制技术、光信号的检测和噪声对光通信的影响,以及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新技术。

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材。对于从事通信工程的技术人员,也不失为一本优秀的参考书和进修教材。

Authorized translation from the English language edition, entitled *Fiber Optic Communications*, Fifth Edition, 9780130085108 by Joseph C. Palais, published by Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall, Copyright © 2005 by Pearson Education, Inc.

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.

CHINESE SIMPLIFIED language edition published by PEARSON EDUCATION ASIA LTD., and PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY Copyright © 2011.

本书中文简体字版专有出版权由 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。

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: 01-2005-0324

图书在版编目(CIP)数据

光纤通信:第5版/(美)帕勒里斯(Palais, J. C.)著;王江平等译.-北京:电子工业出版社,2011.1
(国外电子与通信教材系列)

书名原文: *Fiber Optic Communications*, Fifth Edition

ISBN 978-7-121-11980-4

I. ①光… II. ①帕… ②王… III. ①光纤通信-高等学校-教材 IV. ①TN929.11

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第198091号

策划编辑: 马 岚

责任编辑: 马 岚

印 刷: 北京中新伟业印刷有限公司

装 订:

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 × 1092 1/16 印张: 23.75 字数: 677千字

印 次: 2011年1月第1次印刷

定 价: 40.00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,除了依靠高校的老教师和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”。

为做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、南京邮电大学、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、中山大学、哈尔滨工业大学、西南交通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,我们通过与作者联络、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	南京邮电大学副校长、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

译者序

近年来,通信业在我国超常发展,取得了举世瞩目的进步。通信工程以及相关专业成为高等院校中发展最快的工科专业。光纤通信是构建现代通信网最主要的传输手段,所以光纤通信也就成为这类专业的必修课程。适时引进国外著名大学的教科书对于提高国内院校的教学水平大有助益。美国亚利桑那大学的 Joseph C. Palais 教授编著的《光纤通信》是一本享有盛誉的名著,至今已出第五版,很多著名院校选其作为教科书。为方便国内的教学,我们将本书的最新版本,也就是第五版,译成了中文。这个中译本可以作为高年级本科生的教科书,对于硕士研究生、工程技术人员而言,则是一本很好的参考书。

本书的主要内容包括:光纤通信概述;与光纤通信相关的光学基础;光集成技术基础;光纤、有源和无源光器件;光信号的发送与检测;光网络以及光纤通信系统的设计等。注重工程实践是本书的主要特点。书中有大量的例题,一部分例题的目的是为加深理解,另一部分则与工程紧密结合,可以作为学生日后参与实际工程设计的参考。每一章的末尾都附有一个习题集,大部分习题的答案附在书末。

参与本书翻译工作的人员除王江平、刘杰、闻传花以外,还有解放军理工大学通信工程学院光纤通信教研室的博士研究生苏洋,硕士研究生梁明晓、彭晖、龚坚、欧阳俊、聂辰等。全书由李玉权审校。

本书的译稿虽经仔细斟酌、多次修改,但疏漏乃至错误在所难免,热诚希望本书的读者批评指正。

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)也正在发展之中。1992年本书第三版出版时,世界范围内已铺设超过1000万千米的光纤线路。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(Tbps)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,所以新版的改变并不是很大。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。

另外,本书新增了许多参考文献。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,以使學生加深理解。

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
亚利桑那大学

目 录

第 1 章 光纤通信系统	1
1.1 历史回顾	1
1.2 基本通信系统	2
1.3 光的属性	16
1.4 光纤的优点	19
1.5 光纤通信的应用	22
1.6 总结和讨论	27
习题	29
参考资料	31
第 2 章 光学概要	32
2.1 射线理论及其应用	32
2.2 透镜	35
2.3 成像	39
2.4 数值孔径	42
2.5 衍射	43
2.6 总结和讨论	46
习题	47
参考资料	48
第 3 章 波动学基础	49
3.1 电磁波	49
3.2 色散、脉冲畸变和信息速率	51
3.3 偏振	61
3.4 谐振腔	62
3.5 平面边界上的反射	65
3.6 全反射临界角	69
3.7 总结和讨论	71
习题	72
参考资料	73
第 4 章 集成光波导	74
4.1 电介质平板波导	74
4.2 对称平板波导中的模式	75
4.3 非对称平板波导中的模式	81

4.4	波导的耦合	83
4.5	平板波导的色散和失真	88
4.6	集成光器件	90
4.7	总结和讨论	94
	习题	94
	参考资料	96
第5章	光纤波导	97
5.1	阶跃折射率光纤	97
5.2	渐变折射率光纤	99
5.3	损耗	103
5.4	阶跃折射率光纤中的模式和场	111
5.5	渐变折射率光纤中的模式和场	115
5.6	光纤中的脉冲畸变和信息速率	117
5.7	光纤的制造	124
5.8	光缆	129
5.9	总结和讨论	135
	习题	137
	参考资料	139
第6章	光源和光放大器	141
6.1	发光二极管	141
6.2	发光二极管的工作特性	144
6.3	激光器原理	149
6.4	半导体激光器	153
6.5	半导体激光器的工作特性	154
6.6	窄谱宽和可调谐半导体激光器	160
6.7	光放大器	162
6.8	光纤激光器	169
6.9	垂直腔面发射激光器	170
6.10	总结和讨论	171
	习题	172
	参考资料	174
第7章	光检测器	175
7.1	光检测原理	175
7.2	光电倍增器	176
7.3	半导体光电二极管	179
7.4	PIN型光电二极管	180
7.5	雪崩光电二极管	186
7.6	总结和讨论	187

习题	188
参考资料	190
第 8 章 耦合器与连接器	191
8.1 连接器原理	191
8.2 光纤头预处理	201
8.3 接头	202
8.4 连接器	206
8.5 光源耦合	213
8.6 总结和讨论	218
习题	218
参考资料	219
第 9 章 分布式网络和光纤器件	221
9.1 分布式网络	221
9.2 定向耦合器	229
9.3 星形耦合器	233
9.4 开关	235
9.5 光纤隔离器	237
9.6 波分复用	239
9.7 光纤布拉格光栅	245
9.8 阵列波导光栅	246
9.9 MEMS 开关	249
9.10 其他元件: 衰减器、环行器和偏振控制器	253
9.11 总结和讨论	254
习题	255
参考资料	258
第 10 章 调制	260
10.1 发光二极管的调制及其电路	260
10.2 半导体激光器的调制及其电路	265
10.3 模拟调制格式	267
10.4 数字调制格式	270
10.5 电吸收式调制器	276
10.6 光外差接收机	278
10.7 总结和讨论	283
习题	285
参考资料	287
第 11 章 噪声和检测	288
11.1 热噪声和散弹噪声	288
11.2 信噪比	291

11.3	误码率	299
11.4	模式噪声、模分配噪声、放大器噪声、激光器噪声和抖动	305
11.5	其他噪声源	312
11.6	接收电路设计	312
11.7	总结和讨论	315
	习题	316
	参考资料	319
第 12 章	系统设计	320
12.1	模拟系统的设计	320
12.2	数字系统的设计	323
12.3	总结和讨论	332
	习题	332
	参考资料	333
	部分习题答案	334
	参考文献	343
	索引	351

第1章 光纤通信系统

本章将阐述有关光纤通信的主要内容,探讨学习这些知识的方法,扼要介绍所选择技术的优点并讨论其典型应用。此前,读者可能不具有光纤光学方面的知识,所以本书还将介绍作为光纤通信技术基础的几个主题。其中包括光纤、光学、通信和光通信等方面的问题。最后,介绍完整的光纤通信系统。本章将对光纤通信系统进行整体描述,随后介绍每部分的特性及各部分之间的关系,并将介绍实际系统设计的相关问题。

1.1 历史回顾

光总是与我们如影随形。在人类发展的早期光通信就已经产生了,当时人们使用手势实现了最早的通信。显然,这是一种目视形式的光通信。这种形式的通信不能在黑暗中进行。白天,太阳充当了这个通信系统中的光源。发送者的信息通过反射的太阳辐射携带,从发送者传送到接收者。手的运动改变或调制光波,眼睛则是信息的检测装置,大脑处理这个系统传送的信息。这种系统的信息传输速度很低,传输距离有限,而且发生错误的概率很大。

后来的光波系统使用烟作为信息载体,这对远距离的传输十分有用。用改变烟火形态的方法来实现信息的传送。这种烟火形态的改变通过反射太阳光携带再次传送,从而到达接收者。这种系统所需要的编码方法,通过通信员和信息用户的学习、培训,也在使用中得到了发展。这种方法可与现代数字通信系统中使用的脉冲编码相比较。

1880年,贝尔发明了一种称为“光电话”的光通信系统^[1]。这种系统使用从一个调制声音的薄膜镜面反射的太阳光携带双方的通话信息。在接收端,被调制的光波投射到一个光电导硒电池上,可以将信息转换成电流信号。于是,一个电话接收过程在该系统中就完成了。尽管光电话工作得相当好,但从来没有获得商业上的成功。

灯的发明使人们可能构造简单的光通信系统,例如闪光、船只到船只和船只到陆地的通信链路、汽车转向信号以及交通管制灯光等。事实上,任何类型的指示灯都是一个基本的光通信系统。

上述所有系统的信息容量都很低。1960年激光器的发明,是实现大容量光通信的一个主要突破。激光器提供了窄带光辐射源,适于用做信息载体。激光器可以与传统电信系统中的射频信号源相比较。在发明激光器以后,非导引的光通信系统(无光纤)很快得到了发展。通过光束在大气中传输进行的通信很容易实现。但是,这种系统的正常工作要取决于洁净的大气、在发送机和接收机之间需要可直视的传输路径,在不知不觉的情形下看到光束时,可能对人的眼睛造成伤害,这些都是这种形式的光通信的缺点。尽管非导引光通信的使用受到上述因素的制约,但是早期的应用却激起了人们对可以引导光束传输的光系统的兴趣,从而克服了上述困难。另外,被导引光束可以在拐角处转弯,并且可以埋于地下。早期基于大气激光通信系统的工作为光纤通信提供了理论基础,以及许多可以实际使用的元件。当然,正如我们现在知道的,并不是所有的光纤通信系统都需要激光器作为光源。在许多情况下,使用宽谱的发光二极管是合适的(有关合适光源的选择问题是本书中要讨论的一个主题)。

直到20世纪60年代,实际的光纤通信系统中一直缺少一个关键部件,那就是有效的光纤。尽管可以将光导入玻璃纤维,但当时玻璃纤维的衰减太大。早期,古埃及制造的玻璃是不透明的。在中世纪,威尼斯的艺术家们已能制造出非常纯净的玻璃。威尼斯玻璃的透明性相当好,但是对现代的远距离通信来说,损耗值仍然太大。直到1970年,在发明了第一根真正意义上的低损耗光纤以后,光纤通信才得以实现^[2]。这刚好发生在英国物理学家 John Tyndall,在皇家学会证实通过弯曲的水流可以导引光这一现象的100年之后。玻璃纤维和水流导引光为相同的物理现象(内全反射)提供了证据。

1.2 基本通信系统

基本通信系统由发送机、接收机和信道构成,如图1.1所示。在发送机端产生信息并将其转换成适合在信道上传送的形式。信息通过信道由发送机传送到接收机。信道可以分为两类,即非导引信道和被导引信道。大气即是波可以传播的非导引信道的实例。使用大气信道的系统包括无线电广播、电视广播以及微波接力链路。被导引信道包括各种导电传输结构。图1.2所示就是被导引信道的几个实例,其中包括双导线传输线、同轴电缆以及矩形波导。在制造、铺设和服务方面,被导引线路要比大气信道的成本更高。但是,被导引信道有许多非导引信道不具有的优点,即可以保密、不取决于天气、而且有能力将传送的信息置于物理结构的内部、其下或其周围。光纤波导则不仅仅限于这些优点,在本章的后面将列举光纤波导的其他优点。接收机从信道中提取信息,并将其转换成最终的形态。

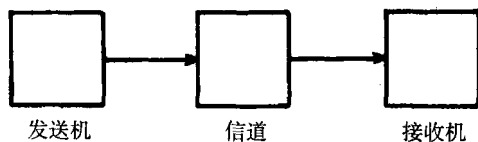


图 1.1 基本通信系统



图 1.2 部分导体传输线

相对来说,更具体但仍然具有普遍性的光纤通信系统方框图如图1.3所示。通过对图中的每个模块进行简单讨论,可以对通信系统的主要单元有很好的了解。对这些单元的描述,重点是指出哪些对于光纤系统是合适的。对许多问题的简明描述稍后将在本节中展开。现在,我们对本专题做概要介绍,而将基础知识留在后面做进一步的讨论。

1.2.1 信源

信源可以有多种物理形式,最常见的是一个将非电信号转换成电信号的变换器。常见的例子包括用于将声波转换成电流信号的麦克风,以及将图像转换成电流信号的视频(电视)摄像机。在一些情况下,诸如计算机之间或计算机部件之间的数据传送,其信息已经是电形态。用光纤链路构建

一些较大系统时,类似的情形也会发生。例如,将光纤用于卫星通信系统的地面接入子系统,以及将光纤用于有线电视信号的中继。在任何情况下,无论是在电通信还是在光通信中,信息在传输之前都必定是电形态的。

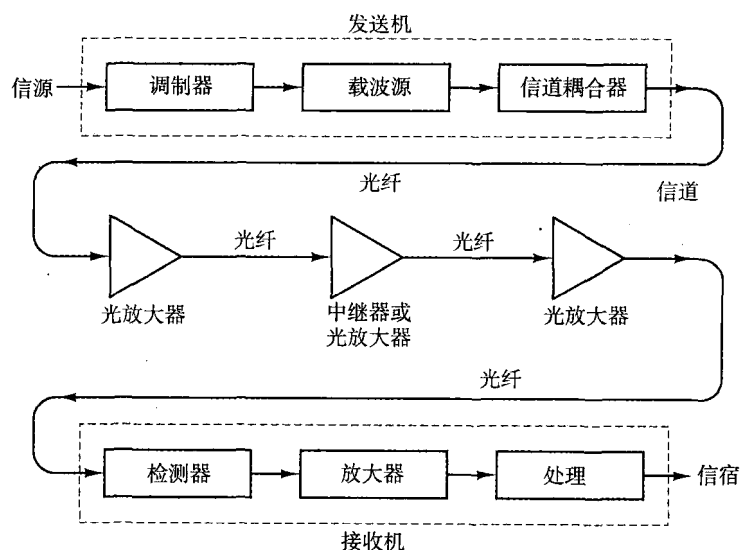


图 1.3 一般的光纤通信系统

1.2.2 调制器

调制器有两个主要功能。首先,将电信号转换成适合传输的形态;其次,将这种信号加载到由载波源产生的载波上。所采用的调制格式有模拟和数字这两种不同类型。模拟信号是连续信号,与源信息的形态非常类似。作为一个例子,假设要发送一个单音频的声波,麦克风产生的电流波形与声波本身的波形完全相同,其关系如图 1.4 所示。在这种情形下,调制器不需要改变信号的形式。但是,需要适当地放大这个信号,使其有足够的幅度以便驱动载波源。

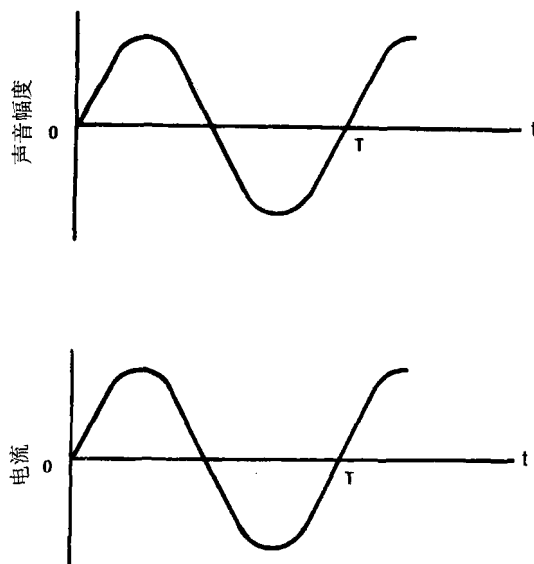


图 1.4 模拟调制