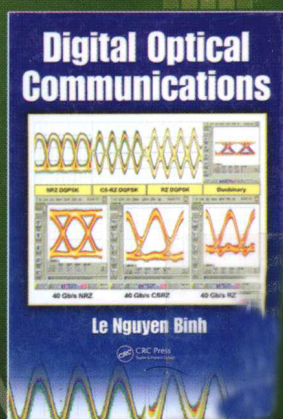


国外电子与通信教材系列

 CRC Press
Taylor & Francis Group

数字光通信

Digital Optical Communications



[越] 黎原平 著

朱 勇 项 鹏 王永强 等译

朱 勇 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

数字光通信

Digital Optical Communications

[越] 黎原平 著

朱 勇 项 鹏 王永强 等译

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是光通信领域的最新力作,内容涵盖高级数字光通信中的关键技术。全书共 14 章,主要包括:各种高级调制格式的光信号产生方法及在噪声、色散、非线性等因素影响下接收机的性能估计方法;差分相移键控、连续相位调制、多进制度数和相移键控、光最小频移键控及双二进制等多种基于相干光传输的高级数字调制格式的性能及其涉及的相干检测、滤波技术;使用时间透镜和自适应电光均衡进行光脉冲压缩、电域自适应均衡、光孤子传输、光正交频分复用等能够对抗或者容忍光纤色散的光域/电域处理方法;多种调制格式的实验或仿真结果比较。

本书内容较为前沿,是近年来光通信界在“更宽、更远”方向上实践探索的一个小结,可作为光通信方向硕士、博士研究生的教材,也可为从事光通信前沿开发的工程技术人员提供有益参考。

Title & Author: Digital Optical Communications & Le Nguyen Binh

ISBN: 978-1-4200-8205-0

Copyright©2009 by Taylor & Francis Group, LLC

Authorized translation from the English language edition published by CRC Press, part of Taylor & Francis Group LLC., All rights reserved.

本书英文版由 Taylor & Francis Group 出版集团旗下的 CRC 出版社出版,并经其授权翻译出版,版权所有,侵权必究。Publishing House of Electronics Industry is authorized to publish and distribute exclusively the Chinese (Simplified Characters) language edition. This edition is authorized for sale throughout Mainland of China. No part of the publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

本书中文简体版专有出版权由 Taylor & Francis Group, LLC 授予电子工业出版社,并限在中国大陆出版发行。专有出版权受法律保护。

Copies of this book sold without a Taylor & Francis sticker on the cover are unauthorized and illegal.

本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字: 01-2010-6580

图书在版编目(CIP)数据

数字光通信 / (越)黎原平 (Binh, L. N.) 著; 朱勇等译. ——北京: 电子工业出版社, 2011. 1

书名原文: Digital Optical Communications

(国外电子与通信教材系列)

ISBN 978-7-121-12200-2

I. ①数… II. ①黎… ②朱… III. ①数字通信: 光通信 - 高等学校 - 教材 IV. ①TN929. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 216529 号

策划编辑: 马 岚

责任编辑: 段丹辉

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 × 1092 1/16 印张: 32.5 字数: 853 千字

印 次: 2011 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 4000 册 定价: 68.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 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 zlts@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和自由组合使用。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、博士生导师
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 清华大学深圳研究生院副院长
	徐安士	北京大学教授、博士生导师、电子学系主任
	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
	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 国务院学位委员会学科评议组成员
	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副主任委员 中国电子学会常务理事
	郑宝玉	南京邮电大学副校长、教授、博士生导师 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会副主任委员
	朱世华	西安交通大学副校长、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副主任委员
	彭启琮	电子科技大学教授、博士生导师
	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兼秘书长，教授级高工 信息产业部通信科技委副主任
	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 教育部高等学校电子电气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院长
	范平志	西南交通大学教授、博士生导师、信息科学与技术学院院长

译 者 序

自 1970 年康宁(Corning)公司拉制出第一根低损耗光纤以来,光纤通信在容量和传输距离方面表现出的强大优势,使其逐渐占据了通信舞台的主角地位,目前的光纤通信已可实现数 Tbps 速率、上千 km 的无电中继传输,给人们的生活带来了巨大的变化。

到目前为止,在绝大部分光纤通信系统中应用的调制/检测方式仍然是强度调制/直接检测。这种调制/检测方式的主要优点是简单易行,付出的代价是带宽效率和功率效率较低,因此系统的带宽距离积受光纤色散及非线性效应的限制较为严重。而在无线通信领域中,为提高带宽/功率效率,已提出多种高效率的调制/检测方法,并已得到实践验证。本书关注将这些高级调制格式移植到光纤通信领域之中,对光纤通信未来的发展有着重要启示。

作者 Le N. Binh 博士在光纤通信方面有多年的研究与教学经历,本书很多内容取材于其较新的研究成果。本书不仅可作为相关专业硕士、博士研究生的教材,也可作为光纤通信领域的研究/开发工程师的重要参考资料。

本书由解放军理工大学通信工程学院光纤通信教研室组织翻译。其中,第 1、2、9、11~14 章由朱勇翻译,第 3 章由王永强翻译,第 4~8 章由项鹏翻译,第 10 章由蒲涛翻译,译者所在教研室的教师苏洋和研究生冯奎、陈寅芳、曹彦武、孙帼丹、魏志虎等人进行了部分章节的初译工作,朱勇对全书译稿进行了审校和整理。

由于原书在编辑、出版中存有个别不妥之处,我们在翻译时通过查阅大量相关文献,在书中相应位置进行了注释说明。由于我们水平有限,难免存在不妥和疏误之处,欢迎广大读者批评指正。

前 言

对于长距离的陆上及洲际电信系统和网络来说,其发展方向有三:①延伸透明传输距离;②提高通信容量;③在满足以上需求的情况下,尽可能经济。

目前的光通信网络主要使用基于 OOK 的 IM/DD 方式实现电信号和光信号之间的变换,该方式实现的传输容量远未达到光载波的信息承载能力极限。如果能够将光载波的幅度、相位、频率均用于表示信息并辅以归零、非归零等多种码型,则前述发展方向并非空中楼阁。不过,要达到该目标,这些光载波调制格式必须能够从容应对传输过程中的各种损伤,包括噪声、畸变及非线性等,此外,它们还必须具有很高的频谱效率。

本书将让读者见证含光放大器的长距离全球通信中的先进传输技术,这正是数字通信和光通信的交叉融合领域。本书中,二进制和正交幅移键控、相移键控、差分相移键控、连续相移键控、频移键控、多电平调制等多种数字调制方式将被应用于光通信系统之中,诸如正交频分复用之类的多副载波技术也将上台展示。RZ 或 NRZ 等码型和载波抑制技术等调制格式也是重点关心的内容,因为在提高信号能量的同时减少了无用的载波能量,它们在抗光纤非线性方面的能力有目共睹。还有,随着使用超高采样速率的数字信号处理技术的进展,我们可借助对光波调制信号进行相干检测以恢复其相位信息,然后在电域进行数字信号处理。与仅使用模拟电路相比,DSP 技术将极大地降低恢复信号相位的难度。20 世纪 80 年代中期发展起来的相干光通信,在提高光信噪比、延伸无中继距离方面拥有很大的优势,现在,本书将让读者见证其复兴之路。

本书从理论、实验和仿真等三个方面对调制和传输进行论述。考虑到很多行业和高校的研究室都拥有 MATLAB 仿真建模平台,本书各章节中广泛使用了 MATLAB(是 MathWorks 有限公司的注册商标,要获得更多的产品信息,请与该公司联系,地址:The MathWorks, Inc., 3 Apple Hill Drive, Natick, MA 01760-2098 USA.; 电话:508 647 7000; 传真:508 647 7001; E-mail: info@mathworks.com; 主页: www.mathworks.com) Simulink 进行建模。为了帮助研究人员和工程师利用 MATLAB 开发自己的调制格式和光通信系统,书中提供了部分模型。从易学易用考虑出发,我们选择 MATLAB 中基于模块集的 Simulink 软件包进行建模,可节省读者的学习、开发时间。此外,要用好 MATLAB Simulink,读者需要充分理解数字通信中各种通信、数学模块的原理。MATLAB Simulink 中没有此类光通信模块集,因本书的主要目标之一是帮助读者对自己的系统进行建模,故本书提供了光通信仿真模块的例子并详细介绍了其工作原理。

本书的目标为:①从光通信、光子通信这一视角出发研讨数字通信原理;②从实验工作、理论研究和仿真建模等角度,在含光放大器的光纤链路上展示各种调制格式的光传输技术;③明确数字调制格式的频谱对于信号的有效传输、抗损伤能力和增大通信容量的重要作用。

致 谢

感谢 Monash 大学工程系提供实验室和各种便利以完成本项工作。本书是我在德国基尔 Christian Albretchs 大学担任通信讲座的客座教授时的休假期间完成的,因此我要感谢 Werner Rosenkranz 教授(博士)的盛情邀请和与其进行的卓有成效的讨论。

感谢以前供职于北电网络、现在供职于德国柏林 SHF AG 公司的 Thomas Lee 博士,他为我提出了很多建议,从 2004 年起,为我提供了各种各样的光发送机和接收机,并为进行多种格式的 ASK 和 DPSK 实验购买了 40 Gbps 的 BERT(误码测试仪)。同时向我的本科生和研究生致以诚挚的谢意,包括康宁光系统(澳大利亚)的 S. V. Chung 博士、新加坡南洋理工大学的 John Ngo 教授、Monash 大学电气和计算机系统工程系的 Kai-fu Chang 博士、T. L. Huynh 博士、W. J. Lai 博士、Calvin Li、H. S. Chong、H. C. Chong 和 H. Q. Lam 等人。在通信讲座期间,我与下列人员进行了几次很有意义的讨论:Jochen Lebrich 博士, Abdulamir Ali, Chumin Xia, Stefan Schoemann, Liu Yun。C. Wree 博士和 Lebrich 博士的博士论文及 Rosenkranz 教授的“高速系统和网络”的课程笔记对我也有很大帮助。

最后的、但并非最不重要的谢意,要献给我的妻子 Phuong 和我的儿子 Lam,这些年来,在我笔耕的时候他们一直支持我、容忍我。多年来,我的父母教育我“为生活学习”,感谢他们对我终身的鼓励和对孩子们教育做出的牺牲。在此,用越南语引用他们的教育哲学:

“hoc. sau, thau. gon, chon. dung, dung. hay”

Le Nguyen Binh(黎原平), 博士, 注册工程师
于德国霍斯坦, 什勒斯威格, 基尔(Keil, Schleswig Holstein, Germany)

作者简介

Le N. Binh(黎原平)博士在越南获得学士学位(第一期和第二期)并得到澳大利亚政府的科伦坡计划奖学金,进入澳大利亚继续大学生涯。1975年和1980年在澳洲西部 Nedlands 的 Western Australia(西澳)大学分别获得电子工程 BE(Hons)和集成光电子学 PhD。在澳大利亚 CSIRO(联邦科学工作研究组织)担任研究科学家开发并行微计算系统三年后,于1980年加盟 Monash(莫纳什)大学电气工程系。1995年被任命为 Monash 大学的高级讲师(副教授)。

Binh 博士的工作经历还履及德国慕尼黑的西门子 AG 公司中心研究室光通信组和英国 Harlow 的北电网高级技术中心。2007—2008年,担任德国基尔 Christian Albrechts 大学工程系的客座教授。

Binh 博士在前沿期刊和重要会议上已发表 250 多篇论文,内容涉及线性/非线性集成光子学、光通信和光域信号处理,其专著《光域信号处理》于 2007 年由 CRC 出版社出版。他是 IEEE(USA)、美国光学协会(SPIE)和 IET(UK)的会员,还任职于很多国际会议的技术程序委员会,也是多份国际前沿期刊、多项澳大利亚及国际研究资助计划的评阅人。

Binh 博士在为电气/电子和计算机系统工程专业的本科生/研究生讲授信号处理、物理电子学、电磁场传播和光通信等课程方面有着丰富的经验。

缩 写 词

AM	Amplitude Modulation/Modulator	调幅/幅度调制器
ASE	Amplified Spontaneous Emission	放大的自发辐射
ASK	Amplitude Shift Keying	幅移键控
BDPSK	Binary Differential Phase Shift Keying	二进制差分相移键控
CD	Chromatic Dispersion	色度色散
CPFSK	Continuous Phase Frequency Shift Keying	连续相位频移键控
CS-RZ	Carrier Suppressed Return to Zero Format	载波抑制归零格式
DBM	Duo-Binary Modulation	双二进制调制
DCF	Dispersion Compensating Fiber	色散补偿光纤
DCM	Dispersion Compensating Module	色散补偿模块
DD	Direct Detection	直接检测
Demux	Demultiplexer	解复用器
DFB	Distributed Feedback(Laser)	分布反馈式(激光器)
DI	Delay Interferometer	延迟干涉仪
DPSK	Differential Phase Shift Keying	差分相移键控
DQPSK	Differential Quadrature Phase Shift Keying	差分正交(四相)相移键控
DSF	Dispersion Shifted Fiber	色散位移光纤
DSP	Digital Signal Processing(Processor)	数字信号处理(器)
DuoB	Duo-Binary	双二进制
EDFA	Erbium-Doped Fiber Amplifier	掺铒光纤放大器
FWM	Four-Wave Mixing	四波混频
GVD	Group Velocity Dispersion	群速度色散
IF	Intermediate Frequency	中频
IM	Intensity Modulation/Modulator	强度调制/强度调制器
IM/DD	Intensity Modulation/Direct Detection	强度调制/直接检测
I-Q	In-Phase and Quadrature	同相和正交
ITU	International Telecommunications Union	国际电信联盟(国际电联)
LO	Local Oscillator	本振
MADPSK	Multi-level(M-ary) Amplitude-Differential Phase Shift Keying	多电平(多进制)幅度-差分相移键控
MMF	Multi-Mode optical Fibers	多模光纤
MSK	Minimum Shift Keying	最小频移键控
Mux	Multiplexers	复用器
MZDI	Mach-Zehnder Delay Interferometer	马赫-曾德尔延迟干涉仪

MZI	Mach-Zehnder Interferometer 马赫-曾德尔干涉仪
MZIM	Mach-Zehnder Interferometer Modulator or Mach-Zehnder Interferometer Intensity Modulator 马赫-曾德尔干涉调制器或马赫-曾德尔干涉强度调制器
NF	Noise Figure 噪声指数
NLPN	Non-Linear Phase Noise 非线性相位噪声
NLSE	Non-Linear Schroedinger Equation 非线性薛定谔方程
NRZ	Non-Return to Zero 非归零
NZDSF	Non-Zero Dispersion Shifted Fiber (ITU-655) 非零色散位移光纤
OA	Optical Amplifier 光放大器
O-DPSK	Offset Differential Phase Shift Keying 偏移差分相移键控
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing 正交频分复用
OOK	On-Off Keying or Amplitude Shift Keying (ASK) 开-关键控或幅移键控
OPLL	Optical Phase Locked Loop 光锁相环
OSNR	Optical Signal-to-Noise Ratio 光信噪比
PDF	Probability Density Function 概率密度函数
PLL	Phase Locked Loop 锁相环
PM	Phase Modulator 相位调制器
PMD	Polarization Mode Dispersion 偏振模色散
PMF	Polarization Maintaining Fiber 保偏光纤
QAM	Quadrature Amplitude Modulation 正交幅相调制
ROA	Raman Optical Amplifier 拉曼光纤放大器
RZ	Return-to-Zero format 归零
RZ33	RZ pulse of width of 33% of bit period format 33% 占空比的归零码
RZ50	RZ pulse of width of 50% of bit period format 50% 占空比的归零码
RZ67	RZ pulse of width of 67% of bit period format (normally CSRZ) 67% 占空比的归零码(通常为载波抑制归零码)
SMF	Single Mode Fiber 单模光纤
SPM	Self Phase Modulation 自相位调制
SSMF	Standard Single Mode Fiber (ITU-652) 标准(常规)单模光纤
STAR-QAM	Star Quadrature Amplitude Modulation 星形正交幅相调制
TOD	Third Order Dispersion 三阶色散
XPM	Cross Phase Modulation 交叉相位调制

注释

α_L	Attenuation (linear scale) 衰减(线性刻度)
α dB	Attenuation factor in dB 用 dB 表示的衰减系数
β	Propagation constant of fiber 光纤的传播常数
β_1	First order differentiation of the propagation with respect to the angular frequency-propagation delay 角频率传播常数的一阶导数——传播时延

β_2	Second order differentiation of the propagation constant—group velocity dispersion (GVD) 传播常数的二阶导数——群速度色散(GVD)
β_3	Third order differentiation of the propagation constant—dispersion slope 传播常数的三阶导数——色散斜率
b_0, b_1	energy of a “1” transmitted and received at the front end of a photodetector “1”码的发送能量和光电检测器前的接收能量
δ	Delta-factor-equivalent to the Q-factor Delta 参数(因子), 等效于 Q 参数(因子)
f_c	optical carrier frequency(center) 光载波中心频率
h	Plank’s constant 普朗克常数
L	Fiber length 光纤长度
η	Quantum efficiency 量子效率
N	Number of fiber spans 光纤跨段数
P	Responsivity 响应度
λ	Wavelength 波长
q	Electronic charge 电子电量
B_e	Electrical bandwidth 电带宽
B_o	Optical bandwidth 光带宽
$i_{N_{eq}}$	total equivalent noise current at the input of an electronic amplifier 电放大器的总等效输入噪声
i_{Ns}	shot noise current 散弹噪声
i_d	Dark current noise of a photodetector 光电检测器的暗电流
$\langle i_s(t) \rangle$	Average current generated by signal power $P_s(t)$ 信号功率 $P_s(t)$ 产生的平均电流
S_N	Noise spectral density(A^2/Hz) 噪声谱密度(A^2/Hz)
γ	admittance parameters of the small signal model of electronic device 电器件小信号模型的导纳参数

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 数字光通信和光传输系统:挑战性问题	1
1.2 关键技术	3
1.3 本书章节结构	10
参考文献	13
第 2 章 光发送机	16
2.1 光调制器	16
2.2 归零光脉冲	21
2.3 差分相移键控	26
2.4 各种调制格式的产生	27
2.5 数字调制方式的频谱特性	44
2.6 总结	46
习题 长距离传输系统中的高级调制格式	47
参考文献	52
第 3 章 光接收机和传输性能	54
3.1 引言	54
3.2 数字光接收机	55
3.3 二进制幅度调制格式的性能估计	58
3.4 不同调制格式下光接收机的量子极限	62
3.5 二进制相干光接收机	68
3.6 DPSK 和 MSK 的非相干检测	69
3.7 传输损伤	71
3.8 光通信系统的 MATLAB Simulink 仿真器	76
3.9 性能估计	83
3.10 光源线宽的影响	94
3.11 总结	96
3.12 附录	96
习题	97
参考文献	103
第 4 章 相干光传输	105
4.1 相干检测	105
4.2 相干与非相干光传输技术	112
4.3 光滤波器和相位比较器	116

4.4	连续相位和差分相位的相移键控	118
4.5	光纤传输与非线性	122
4.6	多电平光调制:基本理论	129
4.7	相干 OFDM	132
4.8	总结	136
	参考文献	136
第 5 章	差分相移键控光系统	139
5.1	引言	139
5.2	光 DPSK 调制与格式	140
5.3	DPSK 传输实验	148
5.4	DQPSK 调制格式	158
5.5	不同格式及 ASK 和 DPSK 的比较	167
5.6	总结	172
	参考文献	173
	附录: DQPSK 光通信系统的 MATLAB Simulink 模型	174
第 6 章	连续相位调制格式光系统	177
6.1	引言	177
6.2	光 MSK 调制信号的产生	179
6.3	多进制 CPFSK 调制光信号的检测	181
6.4	二幅度光 MSK 格式	186
6.5	光最小频移键控	187
6.6	仿真结果与讨论	188
6.7	总结	194
	参考文献	194
第 7 章	多进制幅度和相移键控光传输	196
7.1	引言	196
7.2	幅度和差分相位调制	197
7.3	MADPSK 光传输	211
7.4	传输性能	219
7.5	星形 16 进制 QAM 光传输	230
7.6	不带相位估计的相干接收机	241
7.7	总结	246
7.8	其他用于 100 Gbps 以太网传输的多电平、多子载波调制格式	246
7.9	结论与总结	254
	参考文献	256
第 8 章	光 MSK 信号的鉴频接收机	259
8.1	OFDR 的工作原理	259
8.2	接收机建模	260

8.3	接收机设计	263
8.4	光鉴频滤波器的最佳带宽和中心频率的选择	265
8.5	接收机性能	267
8.6	OFDR 对色散的鲁棒性	269
8.7	二电平光最小频移键控(MSK)	275
8.8	总结	278
	参考文献	279
第 9 章	部分响应和单边带调制格式	281
9.1	部分响应:双二进制调制格式	281
9.2	双二进制直接检测接收机	293
9.3	系统传输和性能	295
9.4	密集波分复用残留边带调制光传输	310
9.5	单边带调制	322
9.6	结论与总结	322
	参考文献	323
第 10 章	时间透镜和自适应电光均衡	325
10.1	引言	325
10.2	空时对偶性和均衡	325
10.3	传输与均衡的仿真	334
10.4	160 Gbps 传输系统中的均衡	343
10.5	结论	359
	参考文献	360
第 11 章	光传输系统中的电信号处理	362
11.1	引言	362
11.2	电域数字处理均衡	364
11.3	均衡传输函数的系统性能	366
11.4	光传输中双二进制调制格式的电域线性倍采样均衡器	380
11.5	MSK 光传输系统的非线性 MLSE 均衡器	384
11.6	光 MSK 系统的 MLSE 均衡器	386
11.7	MLSE 方案性能	389
11.8	光信号传输的不确定度	400
11.9	各种调制格式的电域色散补偿	402
11.10	结论	406
	参考文献	407
第 12 章	光孤子传输	410
12.1	引言	410
12.2	非线性传播理论基础	410
12.3	孤子求解方法	412

12.4	基态孤子和高阶孤子	414
12.5	基态孤子的相互作用	417
12.6	孤子脉冲传输系统和逆散射法	423
12.7	光纤中孤子对的相互作用	431
12.8	孤子的产生	435
12.9	总结	454
	参考文献	455
第 13 章	OFDM 光传输系统	456
13.1	引言	456
13.2	光 OFDM 传输系统	461
13.3	针对 100 Gbps 以太网的 OFDM 和 DQPSK 格式	465
13.4	总结	466
	参考文献	466
第 14 章	带光放大的长距离传输系统和网络中各种调制格式的比较	467
14.1	明确调制方式抗损伤特征	467
14.2	幅度、相位和频率调制格式之比较	468
14.3	调制格式与全光网	480
14.4	混合 40 Gbps 和 10 Gbps 的光网络中相邻 10/40 Gbps 信道的影响： 328 km SSMF + 可补偿 320 km 色散的 DCF	482
14.5	超快光网络	482
	参考文献	484
	中英文术语对照	485