



光通信技术与应用

光通信技术与应用

Optical Telecommunications

[美] Robert M. Gagliardi & Sherman Karp 著

陈根祥 秦玉文 赵玉成 王勇 译

Optical Telecommunications

電子

4614
52

社



電子工業出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
URL: <http://www.phei.com.cn>

光通信技术与应用

[美] Robert M. Gagliardi
Sherman Karp 著

陈根祥 秦玉文 赵玉成 王勇 译

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

9810067

内 容 简 介

本书是 Robert M. Gagliardi 和 Sherman Karp 所著《光通信》(Optical Communications)一书的第二版,是为数不多的对光通信理论进行全面而系统论述的专著之一。书中对光电检测理论、空间光学、光纤通信、光纤网络和系统性能分析等内容进行了精辟的阐述,所涉及到的数字通信、纤维光学、大气信道等内容是光波技术应用的核心领域。书中有关光学部件及器件的描述使得应用技术实用化。

本书的叙述深入浅出,具有很强的逻辑性。在每一章后面均附有习题和有代表性的参考文献,供读者更进一步理解和掌握有关的内容。

Copyright © 1995 by John Wiley & Sons, Inc. . All rights reserved. Authorized Translation from English Language edition published by John Wiley & Sons Inc. .

本书中文专有翻译出版权由美国 John Wiley & Sons, Inc. 授与电子工业出版社。未经许可,不得以任何手段和形式复制或抄袭本书内容。

2020/3

书 名:光通信技术与应用

著 者:[美]Robert M. Gagliardi Sherman Karp 著

译 者:陈根祥 秦玉文 赵玉成 王 勇

责任编辑:徐堃

排版制作:华燕电脑开发公司

印 刷 者:北京大中印刷厂

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

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036 发行部电话 68214070

经 销:各地新华书店经销

开 本:787×1092 1/16 印张:15.25 字数:390.4 千字

版 次:1998 年 4 月第 1 版 1998 年 4 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-5053-4617-2
TN·1139

定 价:28.00 元

著作权合同登记号 图字:01-96-1400

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换

版权所有·翻印必究

译 者 序

本书是 R. M. Gagliardi 和 S. Karp 所著《光通信》(Optical Communications)一书的第二版。该书自第一版问世以来即以其对光通信,尤其是对空间光通信各个方面系统而深入的论述受到通信技术人员和研究者们的广泛青睐。与第一版相比,本书不但在结构上做了调整,使得内容更加紧凑易读,而且融入了光通信领域的最新发展。

光通信理论是目前尚未臻于完善的理论。就译者所知,本书是为数不多的对光通信理论进行全面而系统论述的专著之一。书中对光电检测理论、空间光学、光纤通信、光纤网络和系统性能分析等内容均进行了精辟的阐述。通过阅读本书可以使读者在不知不觉之间进入到光通信研究的前沿。

对空间光通信系统的理论和实验研究在我国尚处在萌芽时期,而这正是本书重点研究的内容。随着航空航天技术的迅速发展,空间光通信将是一个有待大力进行研究并具有极大应用价值的研究领域。在这个意义上说,本书更加显示出其重要性。

本书的叙述深入浅出,具有很强的逻辑性。在每一章后面均附有习题和有代表性的参考文献,以供读者进一步深入理解和掌握有关的内容。因此本书适合作为有关专业大学高年级师生的参考书和研究生教材使用,同时也可供光通信研究者和工程技术人员参考。

本书作者之一 **ROBERT M. GAGLIARDI** 是南加州大学教授,在 30 多年的通信研究中,他发表了 90 多篇专业论文和报告,是 *Introduction to Communication Engineering* 和 *Satellite Communications* 两部专著的作者,与 Sherman Karp 合著了 *Optical Channels* 一书。

另一位作者 **SHERMAN KARP** 是 ARPA 的资深科学家,就职于 Strategic Technology Office of DARPA,他的研究领域包括 Blue/Green 通信、GaAs 数字技术、GPS 接收机及其相关系统。Dr. Karp 是 IEEE 成员,与 Robert Gagliardi 合著了 *Optical Channels* 一书。

由于译者水平浅陋,译文不当之处恳请读者指正。

译 者

1997 年 9 月

前 言

本书是 1976 年第一版的修订版。原书中大量的数学模型及统计分析的内容在本次再版中做了删减,以求更接近现代的分析方法。本书特别容纳了自第一版发行后在光通信技术各个领域出现的新进展。此外,本书在数字通信、纤维光学、光波网络、大气通道、空间链路等方面增添了新的内容,所有这些是目前光波技术应用的核心领域。在书中适当地增加了一些对光学部件及器件的描述,以使本书适用于自学,并在第一版偏重理论及新版偏重应用之间进行沟通。新版中我们同样把纤维光学和空间光学作为一个整体介绍给读者,这也是本书的特点。因为,我们感觉目前出版的另外一些有关光通信的书完全是关于光纤器件和光纤通信方面的内容。

新版中同样注重光通信的系统概念,而不是对部件及器件做过细的描述。读过第一版的读者会发现,尽管一些原有的分析过程仍然适用,但新版中更注重直接面向现代的分析 and 设计。本书的形式仍保持了教材的风格,并给出整套新的习题和参考文献,起到引导和帮助读者自学的效果。本书适用于不同层次的读者,大专院校电机工程或电子物理专业的学生可作为教学参考书;通信领域工程技术人员可以从中了解光波技术的应用和巨大潜力;光学领域的工程技术人员进一步了解光信息传输可以从中得到帮助。作为教材,本书适合给高年级学生或研究生做光通信课程讲授。在 USC,本书作为光通信课程,连同光学和器件方面的课程给本科生和研究生开设。

第一章介绍光系统及应用领域,定义一些专业术语,为后面章节建立了整体框架,并对有关光场、光源、光通道、光信号的知识进行介绍,作为后续章节的基础知识复习和准备。

第二章描述光场接收、光场聚焦、光学滤波,其目的是引导读者通过必要的分析以确定在光纤和空间系统中光功率的电平。

第三章是很重要的一章,描述光探测器把光场变为电流的转换。对于通信技术人员,正是在这里建立起接收机的统计模型以评价系统的特性。这部分内容在第一版书中分为三章(光子计数、散弹噪声理论、光检测),在本书中合为一章,削弱计数统计内容,建立起更实用的光检测模型。同时,新增了光倍增检测的内容。

下面的章节由应用转入系统设计,分为两章介绍,分别为第四章直接检测(非相干)系统、第五章外差(相干)系统。其内容是用通信技术人员的语言描述的,注重了解调、信噪比性能评价,与第一版相比,这部分内容做了很多更新。

第六章为数字通信和数据比特传输。这是现代通信系统中一个很重要的领域。本书充分注意到了近十多年来在这一领域的重要进展。在比特错误概率、编码和数字时钟方面加入了新的内容。

第七章分析了光纤通道。这里把光功率流分析与调制和信号结合在一起,以求给出整个通信链路的全貌。

第八章把单独的光纤链路结合起来形成整个光波网络。这部分在第一版书中没有涉及,但目前是一个进展非常快的领域,特别随着当前的光波信息高速公路和光缆传输分布系统的建设,光波网络的发展将日新月异。同时,本书还介绍了光分配、光开关、光多路存取的基本知

识。

第九章完全是描述大气光波传输及空间链路对光通信性能的影响,其目的是引导通信技术人员通过可利用的数据进一步分析大气通道的一些效应对于通信链路的影响。

第十章介绍利用激光束建立交叉链路完成卫星及宇宙飞船之间的通信,对光束定向、光束捕获、光束追踪及对整个链路性能的相关性进行了讨论。光束追踪通常是与通信链路结合在一起,而各自参数的相互联系将影响通信性能。第十章给出这些相关联系的分析。

最后对 Ms. Milly Montenegro、Ms. Rohini Montenegro 及 USC 通信科学研究所的同行们表示感谢,感谢他们为本书的修订所提供的帮助,同时我们也对许多工程技术人员、研究人员、学生及大学指导教师给第一版书提出的见解、建议表示感谢。这在本书的修改和再版过程中使我们受益匪浅。

作 者

换算公式

物理常数

光速 $c = 2.998 \times 10^8 \text{ m/sec}$

电子电荷 $e = 1.601 \times 10^{-19} \text{ C}$

普朗克常数 $h = 6.624 \times 10^{-34} \text{ W}\cdot\text{sec/Hz} = -335.4 \text{ dBW/Hz}^2$

波尔兹曼常数 $k = 1.379 \times 10^{-23} \text{ W/}^\circ\text{K}\cdot\text{Hz}$

换算系数

1 微米 = 10^{-6} 米 = 10^{-4} 厘米

1 Å(埃) = 10^{-4} 微米 = 10^{-10} 米

1 arc sec = 2.78×10^{-4} 度 = 4.89×10^{-6} 弧度

频率赫兹(Hz) = $3 \times 10^{14} / (\text{微米}) \text{ 波长}$

中心波长带宽(Hz) = c/λ^2

光波频率及波长

紫光 $\approx 7 \times 10^{14} \text{ Hz}$	0.38 – 0.48 微米
兰光 $\approx 6 \times 10^{14} \text{ Hz}$	0.48 – 0.52 微米
绿光 $\approx 5.6 \times 10^{14} \text{ Hz}$	0.52 – 0.56 微米
黄光 $\approx 5.1 \times 10^{14} \text{ Hz}$	0.56 – 0.62 微米
橙光 $\approx 4.8 \times 10^{14} \text{ Hz}$	0.62 – 0.64 微米
红光 $\approx 4.4 \times 10^{14} \text{ Hz}$	0.64 – 0.72 微米
红外光 $\approx 3 \times 10^{14} \text{ Hz}$	0.7 – 100 微米

目 录

第一章 光通信系统	(1)
1.1 光通信系统	(2)
1.2 光源、调制器和光束生成系统	(5)
1.3 发送光场	(10)
1.4 空间光学信道	(12)
1.5 光纤信道	(14)
1.6 光场展开	(18)
1.7 随机光场	(21)
1.8 光学放大器	(22)
习题	(23)
参考文献	(25)
第二章 光场接收	(27)
2.1 光场聚焦	(27)
2.2 功率检测和接收机视场	(32)
2.3 探测器光场展开	(34)
2.4 聚焦随机光场	(35)
2.5 光学滤波器	(38)
2.6 背景辐射	(40)
2.7 扩展的信号光源	(47)
习题	(48)
参考文献	(50)
第三章 光电检测	(52)
3.1 光电检测过程	(52)
3.2 光电探测器	(54)
3.3 计数统计	(56)
3.4 接收机光场的光电计数	(61)
3.5 随机光场的计数	(63)
3.6 随机光电倍增的光电计数	(67)
3.7 散弹噪声过程	(69)
3.8 散弹噪声的谱密度	(72)
习题	(75)
参考文献	(78)
第四章 非相干(直接)检测	(79)
4.1 非相干通信系统模型	(79)
4.2 直接检测接收机模型	(84)

4.3	直接检测接收机的信噪比	(85)
4.4	优化的光电倍增增益	(89)
4.5	强度调制副载波系统	(90)
4.6	检波积分	(92)
4.7	多模信号的直接检测	(93)
4.8	多模信号功率的优化收集	(95)
	习题	(96)
	参考文献	(98)
第五章	相干(外差)检测	(99)
5.1	外差接收机	(99)
5.2	外差检测的信噪比	(102)
5.3	光外差检测后的解调信噪比	(104)
5.4	校准与场匹配问题	(106)
5.5	多模外差检测	(109)
5.6	随机信号场的外差检测	(112)
	习题	(114)
	参考文献	(116)
第六章	光数字通信	(117)
6.1	二进制数字光学系统	(117)
6.2	开关键控	(118)
6.3	曼彻斯特脉冲信号	(125)
6.4	数字副载波强度调制系统	(128)
6.5	数字信号的外差检测	(129)
6.6	组编码和脉冲位置调制	(132)
6.7	脉冲位置调制的信道编码	(135)
6.8	定时误差对脉冲光学系统的影响	(139)
6.9	脉冲光学系统的时钟同步	(146)
	习题	(151)
	参考文献	(153)
第七章	光纤通信	(154)
7.1	光纤中的功率流和色散	(154)
7.2	经散射后光纤中的色散和脉冲形状变化	(157)
7.3	多模光纤中的脉冲展宽和带宽限制	(158)
7.4	光纤信道的通信链路模型	(160)
7.5	光纤的射频载波传输	(161)
7.6	光纤链路中的光学放大器	(163)
7.7	光纤数字通信	(164)
7.8	光纤相干通信	(167)
	习题	(169)
	参考文献	(170)

第八章 光纤网络	(171)
8.1 光纤网络的互连元件	(171)
8.2 网络结构	(173)
8.3 光复用存取	(175)
8.4 波分复用网络	(177)
8.5 时分复用网络	(180)
8.6 码分复用网络	(182)
8.7 光路开关网络	(185)
习题.....	(186)
参考文献.....	(187)
第九章 大气层光学信道	(189)
9.1 大气层信道	(189)
9.2 大气层对光束的影响	(191)
9.3 大气层对直接检测接收机的影响	(196)
9.4 通过大气层信道的外差接收	(198)
9.5 大气层脉冲展宽	(199)
习题.....	(201)
参考文献.....	(201)
第十章 空间光学中的对准、捕获和跟踪	(203)
10.1 光学对准问题.....	(203)
10.2 空间捕获.....	(205)
10.3 空间跟踪.....	(215)
10.4 双向光束跟踪.....	(221)
10.5 光束跟踪对数据传输的影响.....	(225)
习题.....	(228)
参考文献.....	(229)

第一章 光通信系统

任何通信系统的目的都是把信息从一点传送到另外一点。完成这种信息的传送,最常用的办法是把信息先附加(调制)在一个电磁波(载波)上,然后把被调制的载波发送(传播)到目的地;在目的地接收到电磁波后,再把信息复原(解调)。这样的系统通常是以载波频率在电磁波频率谱中的位置加以区分的(图 1.1)。无线电通信系统中电磁载波是从射频(RF)波段中选择一个频率。微波和毫米波系统的载波频率是图 1.1 中标明微波和毫米波的频段。对于光通信系统,载波是从光区段中选择,包括红外光、可见光和紫外光频率。

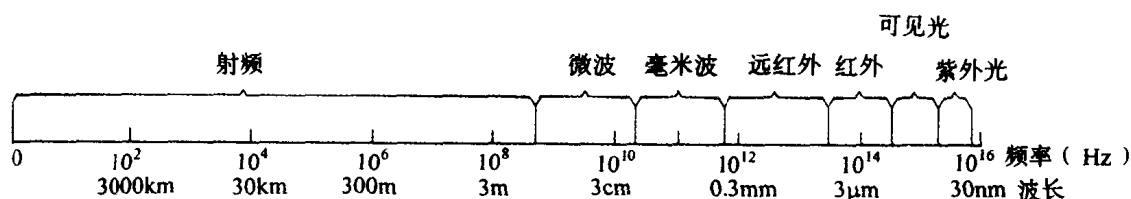


图 1.1 电磁波谱

在光频率段进行通信的显著优点是:(1)调制带宽可以显著增大;(2)能把光功率集中在非常窄的光束中;(3)器件尺寸明显减小。对于任何通信系统,传输的信息量大小直接和载波的调制带宽有关。通常,调制带宽只是载波频率的一个固定百分比,增加载波频率理论上可以增大可利用的传输带宽,因此也就增加了整个系统的信息容量。这意味着在光波频段所具有的可利用带宽大约是无线电射频波段的 10^5 倍。当传输大容量信息时,光波传输无疑具有巨大的吸引力。此外,随着载波频率的增加,传输功率在电磁波中的能量集中程度也将增大,因此,采用更高的载波频率将使系统达到更高的传输功率密度,这会改善整个系统的特性。最后,由于工作波长是非常小的光波波长,系统中的器件和零部件尺寸将比相应的电子器件尺寸小得多。基于以上这些因素,光通信已经作为一个特殊的技术领域引起了人们的很大兴趣。

光波频段通信与无线电射频通信有很大的不同。这是因为光波频段对应于非常小的波长,光波器件的设计需要一套独特的技术,与射频、微波、毫米波器件的设计技术完全不同。因此,光波器件尽管有些是模拟相应的电子器件,但其特性与电子器件大不相同。

光通信的另一个很大的不同是传播路径对光载波产生不利影响。这是因为光波长几乎与分子和粒子尺寸相比拟。这样,媒质所产生的传播效应与无线电射频和微波频率的情况完全不同,而且这些影响在本质上是一个随机过程,很难建立一个精确的传输模型,需要采集大量实验数据以帮助了解光波的传输现象。目前,虽然已经建立了一些分析模型,但仍然需要大量的研究以改善和验证这些结果。

开发光学器件和建立分析模型只是整个系统设计的一部分。通信系统工程设计人员还需要考虑如何选择器件、选择系统的工作方式以及系统各个部分之间的接口连接,以使系统在一种可能最好的方式下进行运作。接口设计需要精确合理的数学模型,从中指出器件的特性、非规则性、老化等因素,所有这些都将是有助于系统的优化设计,这也正是本书力图阐明的。我们

的目的就是对系统的能力进行了解,然后完成系统设计,使整个光通信系统达到所要求的性能。

1.1 光通信系统

图 1.2 为光通信系统的典型框图。图中所包含的各个标准通信模块在任何光通信系统中都是适用的。源所产生的某种形式的信息(随时间变化的波形、数字系统等)将被传送到远端的某个目的地。这个源的输出被调制到一个光载波上(载波频率为电磁波谱的光波部分),光载波以光场或光束的形式通过光通道(自由空间、湍流大气层、光纤波导等)进行传输。在接收端,光场被收集和处理(光检测)。通常,检测时会伴有噪声干扰、信号变形、内存背景辐射(无用的光场或其它电磁辐射)。上述系统中传输载波是光波频段,系统的工作方式与其它采用调制方式的通信系统是相同的。而光波系统所采用的器件与无线电射频系统所采用的标准器件大不相同。它们在使用方法、特性方面有很大的差异,需要不同的设计过程。

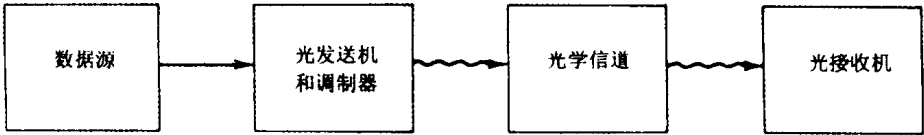


图 1.2 光通信系统方框图

把信号源的信息调制到光载频上可以采用不同的方式,如调频(FM)、调相(AM)。理论上,这些方式都适用于电磁波的任何一个载波频率,然而,另外一些在传统习惯上很少使用的调制方式常常用于光源的调制,比如强度调制,即用待传输的信息去调制光载波的强度;还有极化调制,这是对光场的空间特性进行调制。

图 1.2 中的光接收机是用于收集入射的光场并处理、恢复传输的信息。一个典型的光接收机包括三个基本的模块,如图 1.3 所示。第一部分是光接收前端(通常包括一些透镜或聚光部件),第二部分是光探测器,第三部分为后续处理器。透镜系统把接收的光场进行滤波和聚焦,使其入射到光探测器上。光探测器把光信号变换为电信号。后续处理器完成必要的信号放大、信号处理及过滤处理,以从探测器的输出中恢复所需要的信息。

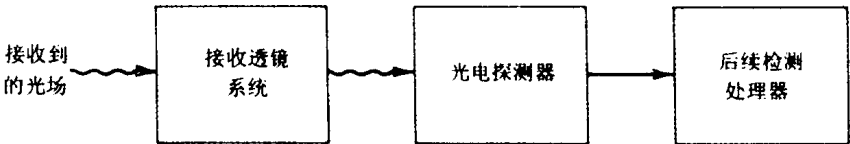
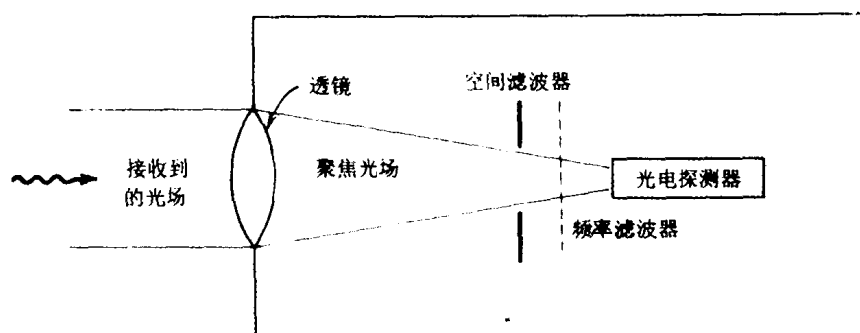


图 1.3 光接收机

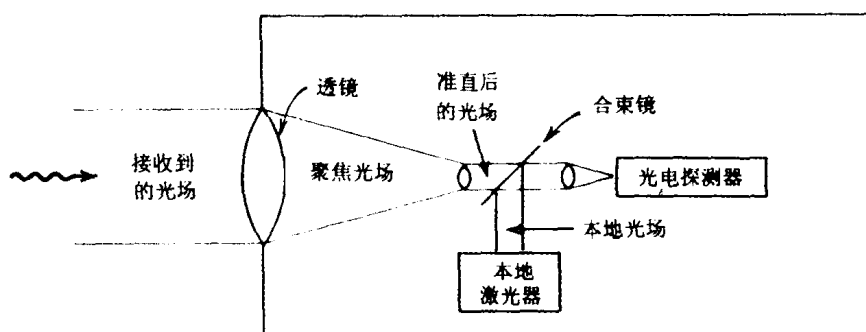
光接收机可以分为两种基本类型,即功率探测接收机和外差接收机。功率探测接收机也称作直接探测或非相干接收机,它的前端系统如图 1.4(a)所示。透镜系统和光电探测器用于检测所收集到的到达光接收机的光场瞬间光功率。这种光接收机的工作方式是最简单的一种,只要传输的信息体现在接收光场的功率变化之中,就可以采用这种光接收机。外差接收机的前端系统如图 1.4(b)所示。本地产生的光波场与接收到的光场经前端镜面加以合成,然后由光探测器检测这一合成的光波。外差式接收机可接收以幅度调制、频率调制、相位调制方式

传输的信息。外差式接收机实现起来比较困难,它对两个待合成的光场在空间相干性方面有严格的要求。因此,外差式接收机通常也称为空间相干接收机。不论是哪一种接收机,前端透镜系统都能把接收光场或合成后的光场聚焦到光探测器的表面,这就使得光探测器的面积可以比接收透镜的面积小很多。

如图 1.4 所示,接收机的前端系统除了把光场聚焦到光探测器,还具有一定程度的滤波作用。在探测器的前端采用滤波器能够减小背景辐射光的影响。滤波器可以是空间滤波(如极化滤波、光阑滤波等),也可以是频率滤波,即让某一频带通过,而阻止其余频带,频率滤波器同时也决定了光探测器接收光场的带宽。



(a) 直接检测接收机



(b) 外差检测接收机

图 1.4 光接收机的两种基本类型

光检测器把聚焦后的光场转换为待处理的电信号。尽管光探测器的种类很多,但其工作原理均可采用量子力学的理论加以解释,即利用光敏物质产生随入射光场功率变化的电流或电压信号。不同探测器的输出响应特性可能有所不同,但其基本的工作原理模型是相同的。这个基本模型在第三章还将详细加以探讨。对于通信工程师来说,这个问题是至关重要的。因为从该模型得到的统计特性将用于探测器输出信号的处理过程。常用的光探测器包括光电管、光电二极管和光电倍增管。

在光接收机中存在各种噪声源,这对于光场的探测是一种阻碍。在远程空间光通信中,最主要的影响是来自背景光或散辐射光,它们伴随着传输光场被接收机的透镜系统收集。采用适当的空间滤波可以在一定程度上减轻这些辐射光的影响,但它们仍然是光探测过程中的主要干扰。采用直接耦合光纤波导作为传输光路可以消除背景光的干扰。第二种噪声源来自光探测器本身,因为光探测器不是一个理想的器件,在光的探测过程中会产生内部干扰,这类噪

声称为探测器噪声。最后一类噪声为电路和电子器件的热噪声。这是在处理探测器输出信号的过程中产生的。这类热噪声的确切模型可以认为是可加性白高斯噪声,其噪声谱电平直接与接收机的工作温度有关,这种情况与各种射频或微波通信系统相同。在接收机的分析设计中,要充分考虑各种噪声的影响。

图 1.3 和图 1.4 所示的框图对任何光通信系统都是适合的。对于空间光通信系统,要把传输的光场首先聚焦为一束光,然后以电磁场的形式发送到某种介质中进行传播。图 1.5 给出了这类应用的示例。通信的方式可以是地面链路、地面对空链路、空间对空间链路,或者甚至是空间对水下链路,所有这些系统发送的光束都不是导波场,因此通信路径极易受到传输媒质的影响(如大气、云层、水等)。第九章将专门就大气层对空间链路的影响进行探讨。

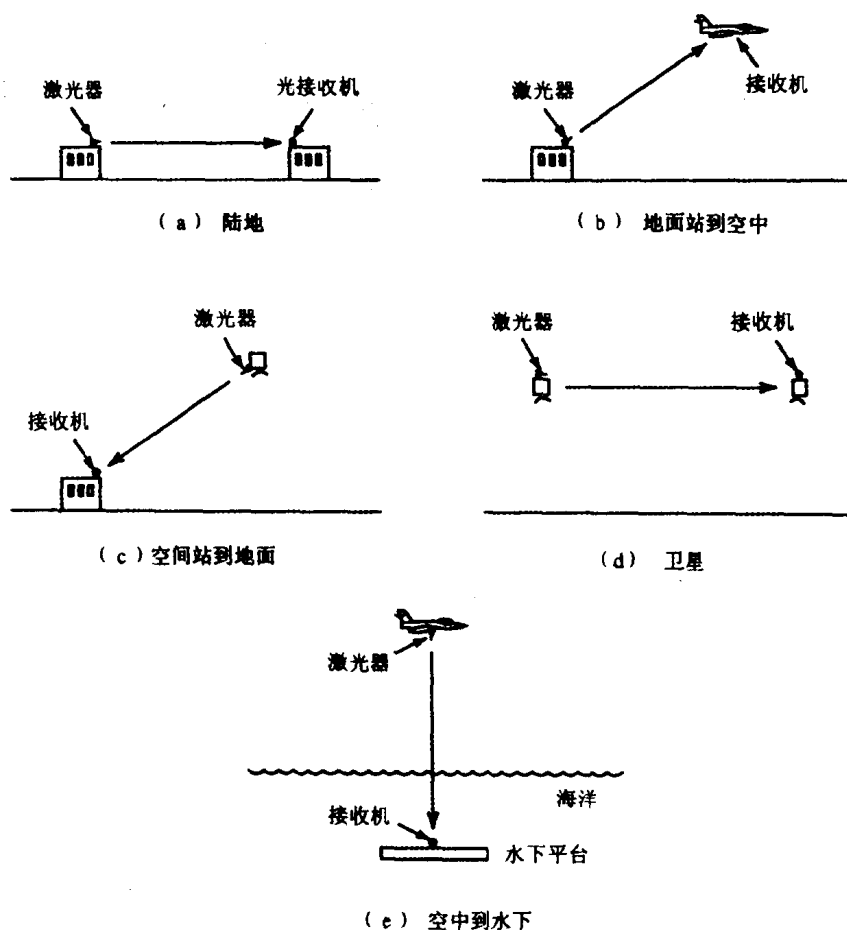


图 1.5 空间光学链路

图 1.6(a)所示的光纤系统可以把传输光场限制在光波导中进行传播,因此光纤系统的工作方式与各种电缆链路相同。由于传输场由光纤引导着,所以传输过程中受到的影响只是来自光纤本身,大气或其它背景噪声光的影响不再是影响系统质量的主要因素。随着光纤传输质量的大大提高,目前已经建立起光纤长途通信链路及光纤分布网络系统,如图 1.6(b)所示。光纤系统正在迅速地取代传统的电缆和其它有线通信系统。

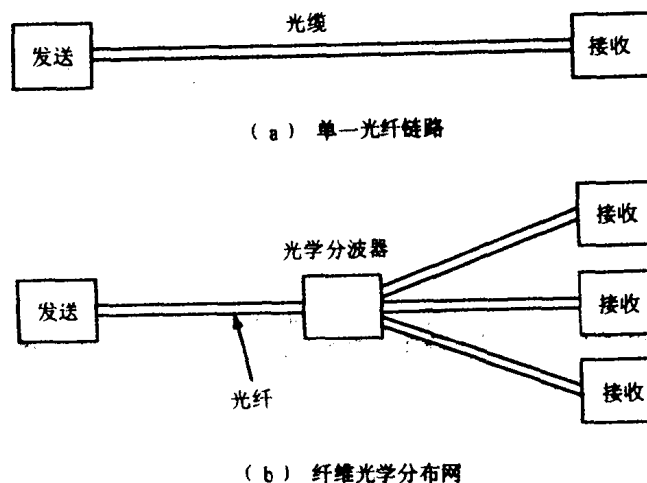


图 1.6 纤维光学链路

1.2 光源、调制器和光束生成系统

在任何光通信系统中,光源是一个关键部件,而且采用的光源要容易调制,同时光源产生的能量要集中在一个很小波长范围之内。现代光通信系统中所采用的光源有发光二极管(LED)、激光器和激光二极管(LD)。对这些器件详细的物理描述超出了本书的范围,但掌握它们的输出特性及工作参数对于保证整个光通信系统的性能是很重要的。

LED的工作原理如图 1.7 所示。LED 的基本结构是一个半导体 PN 结,外部加上电流后就会辐射出光能量,其相互作用过程需要用能级理论详细加以讨论,这里就不再赘述。LED 采用的半导体 PN 结材料决定了辐射光的波长。发光二极管通常使用的材料是砷化镓化合物,产生的波长为 $0.8 \sim 0.9\mu\text{m}$ 范围。LED 的外型尺寸很小(不到 1cm),相对便宜,并且驱动电流也较小,但 LED 的输出功率也有限(到 10mW),而且辐射光发散较大。表 1.1 罗列了这些基本特点。

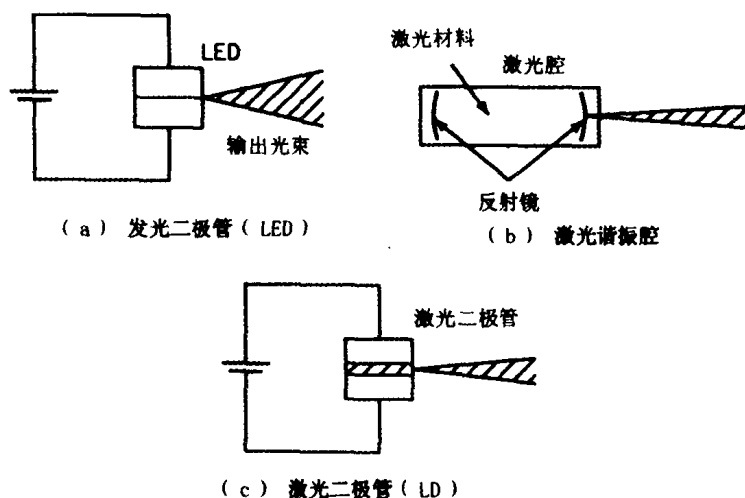


图 1.7 光源

表 1.1 光源

激光物质		波长(μm)
固态		
GaAs		0.87
InGaAs		1.0 - 1.3
InGaAsP		0.9 - 1.7
AlGaAs		0.8 - 0.89
Ruby		0.694
Nd - Yag		1.06
气态		
CO ₂		10.6
HeNe		0.63
激光器种类	输出功率	线宽(nm)
二极管型		
LED	0.1 - 10mW	20 - 100
LD	1 - 40mW	1 - 5
分布反馈 LD	1 - 40mW	0.1
激光管型		
CO ₂	1 - 5W	0.01 - 1.0
HeNe	50 - 100mW	0.01 - 1.0

激光管的结构是一个光的谐振腔,内部填充了具有光放大作用的物质(气体或固体),谐振腔两端为两个反射镜面,如图 1.7(b)所示。如果腔内物质的传播增益可以克服两端镜面的反射损耗,则初始激励的光场将在镜面之间来回反射,并且自我保持强度,此时我们称腔产生了光激励,即在谐振腔内产生了光能量。在某个反射镜端配置一个小的光阑,腔内的能量就会以辐射光的形式发出,这样就产生激光输出。这种激光管输出的功率比较高(0.1 ~ 1W),并且其输出辐射要比 LED 更加集中。

许多种不同物质可以用于腔内以产生光激励(见表 1.1)。不同的物质具有不同的原子结构,并形成特定的波长范围。此外,对谐振腔的长度要有严格的要求,即经过镜面反射两方向传播的内部光场必须是严格的增强叠加(相位一致),这就意味着腔长必须严格是内部光场的半波长的整数倍,即激励波长 λ 与腔长 L 的关系为 $\lambda = 2L/n$, n 为整数。激光材料将维持那些与其传输增益截面相匹配的波长。激光管是一种高功率器件,其体积比二极管光源要大得多。

激光二极管也是一种半导体 PN 结器件,含有刻蚀或解理衬底作为反射面以增强 PN 结上的光场。因此,激光二极管结合了 LED 和腔反射的特点,输出的激光功率比较高(10 ~ 50mW),而且聚光性也比 LED 好。

对于光通信中使用的光源,它的重要特性包括调制带宽(即光源可以承受多高码率的调制)、输入、输出功率曲线即频率谱。如果是具有非常窄的谐振腔的光源,其调制带宽可以达到 1 至 40GHz。与射频通信相比,具有巨大的带宽潜力。射频通信的调制带宽通常只有几百 MHz。

图 1.8(a)为典型的二极管激光源的功率特性,即输出光功率与外部偏置电流的关系曲线。阈值电流决定产生光功率输出的最小偏置电流。线性区段确定了调制的范围,即在线性区段输出光功率与输入电流成正比关系。饱和部分限制了光功率的最大输出。发光二极管具有较小的阈值电流,可以工作在小电流条件,但其峰值功率也较小。激光二极管需要较大的驱

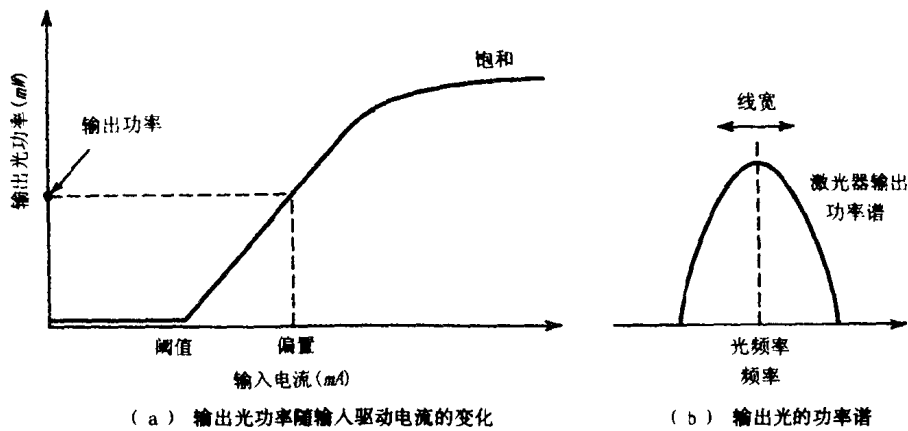


图 1.8 光源的特性

动电流,但输出峰值功率也较大。激光管通常要被泵浦到阈值以上,并且很难稳定在线性区段。因此,高功率激光管通常作为连续波器件使用,利用它的高功率输出能力,而不调制光源。

光源的频谱如图 1.8(b)所示,它表明了光源的谱宽或纯度。在所需要波长的周围存在着频谱的扩展,通常这些是不需要的频率或者不需要的噪声调制,它们附加在输出的激光波长上。频谱的扩展将不利于识别调制在光源上的信息。发光二极管具有相对宽的光谱(数百埃),而激光器的光谱要纯得多。光源谱的展宽对调制特性的影响将在以后的章节中进一步探讨。

调制器把模拟或数字式的信号信息叠加在光源上。光调制器有两种基本类型,即内部调制器和外部调制器(参见图 1.9)。内部调制器是信号对光源本身直接调制,产生调制的光场输出,通过偏置电流的变化,对光源进行幅度或强度调制,如图 1.9(a)所示。而改变激光管的腔长可以实现频率或相位的调制。脉冲调制比较简单,只要使驱动电流的变化大于或小于阈值电流就可实现二极管激光源的脉冲输出。所有这些调制都是在光功率输出的线性区段进行的。

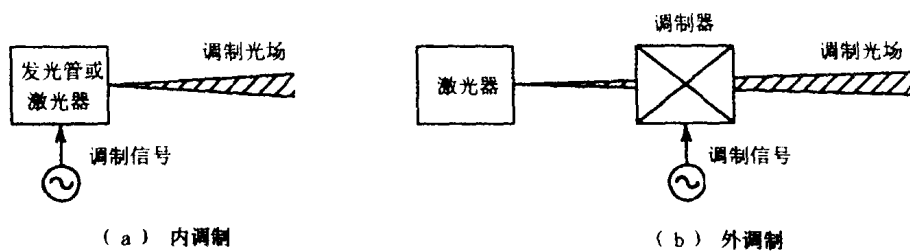


图 1.9 光调制器

外部调制器如图 1.9(b)所示,光源输出首先聚焦,然后通过一个外部器件,调制信号将使光波的传输特性产生变化。这种调制方式的优点是可以利用全部的光源功率输出,通过调制器物质的电光或声光效应来实现对传输光波的调制,比如外部电流可以改变入射光的传输特性。折射率的变化、极化方向的变化、传输方向的变化等,这些效应如果导致时延变化,则为相位调制;导致极化变化则为强度调制。脉冲光输出可以通过阻断或改变光传输路径来实现。不幸的是,外部调制器将引入很大的耦合损耗,调制深度也有所限制,并且对于调制驱动功率也相对要求较高。

不论是光源还是调制器,从辐射面输出的光场的聚焦角度是有变化的,通常称之为发射