



装备科技译著出版基金

现代光学工程精品译丛

Mc
Graw
Hill
Education

地面无线光通信

Terrestrial Wireless Optical Communication

[印度]Devi Chadha 著

李洪涛 席峰 刘光祖 顾陈 译



国防工业出版社
National Defense Industry Press

<http://www.mheducation.com>



现代光学工程精品译丛

装备科技译著出版基金

地面无线光通信

Terrestrial Wireless Optical Communication

[印度] Devi Chadha 著

李洪涛 席峰 刘光祖 顾陈 译

国防工业出版社

·北京·

著作权合同登记 图字：军-2015-156 号

Devi Chadha

Terrestrial Wireless Optical Communication

9780071818759

Copyright © 2013 by McGraw-Hill Education.

All Rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including without limitation photocopying, recording, taping, or any database, information or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

This authorized Chinese translation edition is jointly published by McGraw-Hill Education and National Defence Industry Press. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan.

Translation Copyright © 2017 by McGraw-Hill Education and National Defence Industry Press.

版权所有。未经出版人事先书面许可，对本出版物的任何部分不得以任何方式或途径复制或播，包括但不限于复印、录制、录音，或通过任何数据库、信息或可检索的系统。

本授权中文简体字翻译版由麦格劳-希尔（亚洲）教育出版公司和[乙方]合作出版。此版本经授权仅限在中华人民共和国境内（不包括香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾）销售。

版权© 2017 由麦格劳-希尔（亚洲）教育出版公司与国防工业出版社所有。

本书封面贴有 McGraw-Hill Education 公司防伪标签，无标签者不得销售。

图书在版编目（CIP）数据

地面无线光通信/（印）德维·查达（Devi Chadha）著；李洪涛等译. —北京：国防工业出版社，2017.12

书名原文：Terrestrial Wireless Optical Communication

ISBN 978-7-118-11358-7

I. ①地… II. ①德… ②李… III. ①空间光通信 IV. ①TN929.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 272533 号

Translation from the English language Edition:

Terrestrial Wireless Optical Communication by Devi Chadha Copyright © 2013 by The McGraw-Hill Companies, Inc.

All Rights Reserved.

※

国防工业出版社出版发行

（北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048）

三河市众誉天成印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 10½ 字数 200 千字

2017 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 79.00 元

（本书如有印装错误，我社负责调换）

国防书店：（010）88540777

发行邮购：（010）88540776

发行传真：（010）88540755

发行业务：（010）88540717

在过去 10 年中, 由于对带宽和数据以及对其他丰富多媒体应用的无处不在的连接需求, 通信系统的部署和装备也获得了空前增长。无线通信是满足这些需求的最有活力的研究领域之一。下一代异构通信系统预计将拥有来自卫星、光纤、有线电视、射频和无线光通信的所有混合技术。无线光通信或自由空间光学 (Free Space Optial, FSO) 具有多吉比特带宽, 并且具有较低的成本和较好的网络互操作性和可扩展性。FSO 可实现使用现有的固定无线射频技术不可能达到的光传输速度, 并且消除了购买昂贵频谱资源的需要。这也是 FSO 与固定无线技术 (例如 IEEE 802.11、LMDS 和 MMDS) 的区别之处。无线光通信是当今时代最具有活力的研究和开发领域。

本书的目标是全面理解自由空间光通信系统的相关领域, 主要关注基本概念和设计实现等方面。本书从影响光传播的大气现象, 信道建模入手, 涵盖无线光通信理论中的重要问题, 包括分集、编码调制和检测技术等内容。本书还提供了详细的系统设计和分析, 以使设计者能够了解性能参数、链路预算计算和其他相关的设计问题。本书所涉及的信道模型、调制和检测方案覆盖了室内和室外 FSO 系统, 但本书的重点主要是地面链路。虽然预计本书的读者可能具有光纤通信和通信系统工程的背景, 但本书还是尽量尝试从最基本的原理引入概念。FSO 是短距离光学无线网络的新兴领域, 我们希望本书可为光通信工程师、研究人员、经理和顾问提供帮助, 以了解这项即将来临的技术。

译者序

随着信息化社会的到来,通信技术也得到了日新月异的发展。一项崭新的通信技术——无线光通信正在悄然兴起。无线光通信是利用激光作为载体传输数据,提供无线高速点对点或点对多点通信的一种方式。FSO作为一种新型的通信技术,同时具有光纤通信和移动通信的优势,在下一代无线通信技术中具有广阔的应用前景。与传统无线通信技术相比,无线光通信技术具有众多独特的优势,也是我国未来在无线通信领域重点发展的技术之一。本书是一部系统介绍无线光通信及其相关技术的专著,概念清晰,语言通俗,内容全面、翔实,注重理论与应用紧密结合。

原作者 Devi Chadha 是德里印度理工学院教授,从事光通信研究逾 30 年,在该领域具有坚实宽广的理论基础和丰富的研究经验。本书是其第一本正式详细介绍地面无线光通信技术的专著。为了推动无线光通信技术在国内的发展,我们组织翻译了《地面无线光通信》一书。本书以通俗易懂的语言,向读者全面深入地介绍了大气中的光传播、FSO 信道模型、FSO 调制与检测方法、FSO 分集与编码技术及 FSO 系统设计和链路设计等内容。全书逻辑合理,理论简洁,思路清晰,结合无线光通信基本概念、基础理论和应用范例对无线光通信进行了较为详实全面的介绍。本书对从事该领域的工程技术人员、研究人员和相关专业的高校师生具有重要的参考价值。

本书第 1 章介绍了无线光通信系统的基本原理,第 2 章介绍了无线光信道的组成,第 3 章对光信道进行了初步的建模,第 4 章研究了无线光通信中的调制技术,第 5 章介绍了光学衰落信道的分集和检测技术,第 6 章讨论了光通信中的信道容量问题,第 7 章介绍了无线光通信中的链路与系统设计方法,第 8 章介绍了无线光通信信道中的编码问题。

本书第 1、2 章由李洪涛翻译,第 3、4 章由席峰翻译,第 5、6 章由顾陈翻译,第 7、8 章由刘光祖翻译。另外参与翻译工作的还有南京理工大学博士研究生陈诚、曾文浩、马义耕、袁泽世等,硕士研究生胡姗姗、侍宇峰、李康、朱璨、侯云飞,季文韬,王芳,金薇等。南京理工大学电光学院院长领导以及电子工程系

的苏卫民教授、朱晓华教授、顾红教授对本书提出了许多宝贵建议，在此一并表示衷心感谢。

由于译者水平有限，加之技术发展日新月异，对原著的翻译难免有不妥甚至错误之处，希望可以得到各位专家、同行的批评与指正。

译者

2016年10月

目 录

第1章 简介——无线光通信系统

1.1 优点和缺点	2
1.2 分类	3
1.2.1 空间通信	3
1.2.2 自由空间陆地链路	4
1.2.3 室内系统	5
1.3 无线光通信的未来发展	7
1.4 本书结构内容	8
参考文献	8

第2章 无线光通道

2.1 自由空间光学室外通道	10
2.2 地面链路传播	11
2.2.1 光束分叉	11
2.2.2 大气损耗	12
2.2.3 大气湍流	17
2.2.4 环境光	18
2.3 无线光学空间链路	19
2.4 室内传播媒介	19
总结	21
参考文献	21
引申阅读	22

第3章 信道建模

3.1 大尺度与小尺度信号变化	23
3.2 光强无线信道的输入/输出模型	24
3.2.1 光强信道的约束	24

3.2.2	信道的线性时变系统模型	25
3.2.3	光域信道传递函数	26
3.2.4	加性白噪声	28
3.3	FSO 的统计信道模型	28
3.3.1	无线光信道的参数	28
3.3.2	大气湍流模型	30
3.3.3	光信号的空间相干性	31
3.3.4	信道脉冲响应/湍流引起的衰减强度的概率分布	32
3.4	系统光传递函数	35
3.4.1	系统的光传递函数	35
3.5	室内信道建模	37
3.5.1	室内信道的直流增益	37
3.5.2	室内多径扩散信道建模	40
3.6	FSO 中的噪声源建模	42
	总结	42
	参考文献	43

第4章 调制技术

4.1	信道约束	45
4.2	调制方案种类	46
4.3	选择原则	46
4.4	矢量信道模型与最佳检测	47
4.4.1	矢量信道模型	47
4.4.2	最佳检测	48
4.5	最小功率和频谱带宽	49
4.5.1	最小功率要求	49
4.5.2	频谱特征	50
4.6	FSO 系统调制方案	51
4.6.1	On-Off 键控	51
4.6.2	M-脉冲位置调制 (M-PPM)	54
4.6.3	M-级脉冲幅度调制 (M-PAM)	56
4.6.4	光子载波调制	58
4.6.5	差分脉冲位置 (DPPM) 和数字脉冲间隔调制 (DPIM)	63

总结	65
参考文献	66
引申阅读	66

第5章 光学衰落信道的分集和检测技术

5.1 光学衰落信道的检测	68
5.2 检测信号模型	71
5.3 湍流信道单输入单输出检测	73
5.4 分集	74
5.5 空间分集	75
5.5.1 接收分集	76
5.5.2 发射分集	76
5.6 MIMO 信道	78
5.6.1 重复 MIMO 系统	78
5.6.2 空间多路复用的 MIMO 信道	81
总结	87
参考文献	87

第6章 信道容量

6.1 AWGN 信道的信道容量	89
6.2 衰落信道容量	93
6.2.1 慢衰落信道	93
6.3 单输入单输出大气光学信道容量	95
6.3.1 SISO 的遍历信道容量	95
6.3.2 高斯 SISO 信道的中断概率	97
6.4 分集光学衰落信道的容量	98
6.4.1 接收分集	99
6.4.2 发射分集	99
6.4.3 空间多路复用 MIMO 信道容量	101
6.4.4 重复 MIMO 信道容量	104
6.5 光子泊松信道容量	106
6.5.1 泊松 MIMO 信道容量	107
参考文献	109

第7章 FSO 信道中的编码

7.1 基本概念	112
7.2 线性分组码	114
7.3 树码或卷积码	118
7.4 TURBO 码	121
7.5 LDPC 码	126
总结	133
参考文献	133

第8章 FSO 链路和系统设计

8.1 链路设计	135
8.1.1 链路余量	136
8.1.2 光链路可靠性	138
8.1.3 影响 FSO 链路选择的其他因素	139
8.1.4 光束指向和跟踪	140
8.2 元件可靠性	141
8.3 人眼安全考虑	141
8.4 收发器	144
8.4.1 激光发射机	145
8.4.2 接收机	149
8.5 FSO 接收机中的噪声	153
总结	154
参考文献	155

简介——无线光通信系统

根据定义,无线光通信是光束通过大气或在密闭环境中的自由空间进行信息传递的传输方式。这些系统通常工作在与光纤系统相同的红外线辐射范围内。从历史上来说,在19世纪后期,亚历山大·格雷厄姆·贝尔第一次演示了无线光通信或自由空间光通信。实验中,贝尔把声音音效转化为电话信号,然后在两个收发器之间通过自由空间沿着光束传送了约600ft^①的距离。贝尔将他的实验装置称为光影电话,他认为主要的发明是无线光通信而不是电话,因为它不需要用导线就能实现远距离信号传输。尽管贝尔的光影电话没有成为一个商业现实,但它展示了无线光通信的基本原理。

无线光通信系统的基本研制工作大约始于50年前,主要用于国防和空间领域。多年来,无线光学领域的研究活动解决了这一领域的主要工程难题。与光纤通信相似,一个基本的无线光系统包括使用发光二极管或镭射二极管的发射机,但与光纤传输不同,这种被非制导光束调制的模拟信号和数字信号,包含视频图像、无线电信号或数据文件,它们被校准并通过空间而不是通过光纤进行传输。工作在红外波段的这些光束,通过聚焦于一个高灵敏度接收机的镜头进行接收。现有的商用系统可达到100Mb/s~2.5Gb/s的通信能力^[1-3],演示系统的报告数据率则可高达160Gb/s。

与无线电和微波系统不同,自由空间光通信由于不会干扰其他系统,所以不需要频谱许可证。此外,拦截点对点的激光信号十分困难,使得安全通信得以实现。自由空间光通信以相当于光纤通信小部分的成本提供与光纤通信相当的数据率,并且极窄的激光光束宽度可以保证安装在给定空间光学链接的数量没有限制。

若不考虑成本,自由空间光通信的优点则不明显。当光通过光纤传输,传输性能是可以准确评估的,然而,不幸的是当光通过空气传输时,必须面对一个复杂而不总是可以预测的通道——大气层。自由空间光通信的基本限制来自于它的传播环境。虽然自由空间光通信系统受雨雪影响相对较小,但会受到雾和大气湍流及扰动的严重影

① 1ft=0.3048m。

响。这可能导致传输光束的功率密度减少和衰落,降低链接的有效距离和性能。下一章将给出大气对红外传输的影响及其特征的详细描述。

以上是自由空间光通信的简要介绍,在本章 1.1 节中给出了关于光纤和射频系统优缺点的详细描述。1.2 节中,讨论无线光通信系统的三种类型,即空间、地面和室内。1.3 节,介绍陆地通信无线光通信的未来发展。

1.1 优点和缺点

这些系统提供:

- 无须授权的频谱:部署红外光谱的方便、快捷和低成本来自于自由的许可获取和监管。无线光通信或光学无线传输唯一的基本要求是链接两终端间的传输线路。
- 高速率:使用多波束和密集型光波复用系统能将数据率提高到吉比特/秒级别。在错误率可接受范围内的无线光系统可以实现相当于光纤传输的数据率。
- 大带宽:由于光载波的频率更高,光纤可以提供比射频传输更大的带宽。
- 低功率需求:与射频组件相比,无线光通信的功耗更低。
- 无电磁干扰:与无线电和微波系统不同,无线光通信是一种光学技术,因此不受其他系统或设备的干扰。
- 高安全性:更安全,因为拦截到也不能立即检测。频谱分析仪或射频仪表无法用于检测无线光通信中的激光光束。它需要一个与完整的传输准确对齐的相匹配的无线光通信收发器。因此,拦截是非常困难的,并且几乎是不可能的。光束无法穿透墙壁故可防止窃听。
- 低成本部署:与部署大容量光纤电缆相比,安装更简单便宜。光学天线和接收器规模较小,因此相比于屋顶的射频天线,光学天线不需要很多安装空间。在最后一英里环节中,安装这些系统内部构造作为无线光通信收发器,可以透过玻璃窗户传输和接收,减少了对屋顶空间的需求,简化了线路和布线并允许无线光通信设备在一个非常有利的环境下运行。

以上是与射频相比光纤传输的优点,无线光通信其自身的缺点如下:

- 光线通过大气会衰减并且会被人体或者其他物体阻隔。信号的衰落主要是大气湍流及扰动造成的。
- 太阳光或灯光等背景光噪声的频谱在发光二极管或镭射二极管的光学频谱内。
- 卫星链接的链路长度有数千千米,但出于对人眼安全的考虑,地面链接最多仅限于几千米。

1.2 分 类

无线光系统大致可以分为室外和室内系统。室外系统通称为自由空间光学系统。无线光通信是通过大气层发射一束经过调制的可见光或红外线的点对点系统，有空间/激光链接和地面链接。室内系统在一个有限密闭环境的房间内运行，其成本较低，并且可用于连接各种设备和系统，其光波区间为 780~950nm。因此，室内系统也称为红外系统。

基于适用的范围，无线光系统可分为三类。

1.2.1 空间通信

空间通信链路是空对地、空对空的空间链路（图 1.1）^②，是不同的地球轨道间的链路，包括近地轨道和同步轨道等对地链路、其他航天器和深空或其他卫星对地链路。相比于传统的射频空间通信系统，激光通信的优势在于其传输波束较窄，比射频通信具有更大的带宽，设备规模较小，载重较轻，同时窄光束增强了通信安全。例如，在深太空任务时：与 1.5~3m 的射频天线相比，典型的光学通信设备只需要 0.1~0.3m 级直径的终端光学天线；与 70m 的射频碟形天线相比，光学通信设备只需要 10m 的地面光学天线。这些大小差异形成了优势，增加了功率，减轻了重量，同时最终收发器总规模的减少可以被用于增加无线光通信系统的数据率。

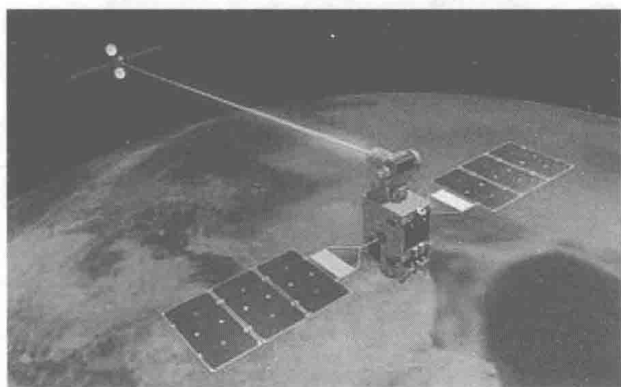


图 1.1 光学空间通信

光通信的优势源自于其相对较窄的波束，但同时也带来了某些挑战。高精度的光波束指向难以实现，而射频波束对指向精度的要求没有光波束这么高；例如，火星上使用 3m 天线的 x 波段雷达的波束，其波束面积是地球投影面积的 10000

^② 本书译者对原书配图进行了处理，会略有差异。

多倍。在光学频率中,能量从一个 30cm 的天线传输,其波束面积是地球投影面积的 1%左右。因此,高精度的光束需要精确对准地球上的接收机。因此需要一个复杂的系统用于采集、跟踪和指向(ATP)目标^[4]。

光通信的另一个挑战是让光束通过云层,并维持通信链路。与深空航天器进行光通信的首选方式是通过一个高于云层的光学卫星接收器进行中继。在文献[5-7]中,有一些激光空间技术提供了可用的相关参考。

1.2.2 自由空间陆地链路

在过去的几年里,全球电信网大规模扩张。首先,远程光纤网和广域网增长迅速,紧随其后的是城域网。局域网和千兆以太网的发展也有类似的增长率。对于对网络通信性能要求较高的用户,电信网络提供商需要向他们提供一个性价比较高的网络访问方式。然而,大多数本地网络带宽不能满足客户需求,其带宽只能达到几兆比特每秒^[8]。因此,在局域网和城域网或广域网之间需要高带宽连接,以满足用户端对于带宽的需求。自由空间光学系统可能是解决市场新兴宽带通信难题和克服最后一英里瓶颈的最有前景的选择之一。同时,对于服务供应商来说,重新部署或安装无线光通信网络是更加便宜且快捷的。只要在两网站间有清晰的传输线路和足够的功率,自由空间光学系统可以在几千米远的距离可靠工作。图 1.2 显示了在大都市、当地地区的访问网络中可能与地面链路连接的不同类型链路。

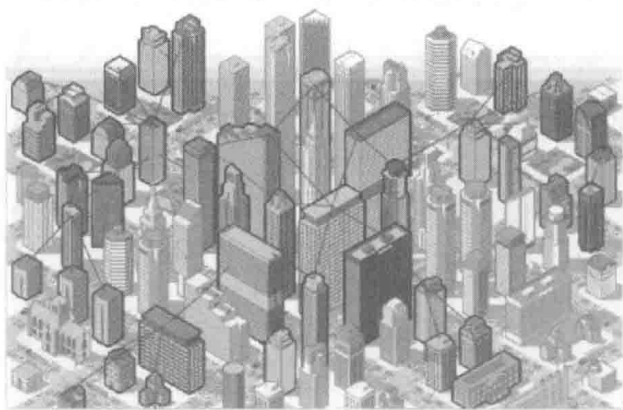


图 1.2 自由空间光学地面链路

目前的访问技术是建立在电线、宽带射频/微波、同轴电缆和 FTTC、FTTB 或 FTH 光纤通信的基础之上的。电话通信仍然使用基于网络基础设施的时分复用系统,其受到 T1 或 E1 及扩展协议的制约。宽带射频/微波系统有频谱短缺的限制,信道拥堵且许可证昂贵。无线电设备则更加昂贵,射频系统可实现的最大数据传输速率很低,通道安全较差并易受到其他系统的干扰。光纤部署和重新部署成本高昂且耗费时间。自由空间光学系统提供一个宽带、低成本且更安全灵活的网络

解决方案。无线光通信系统可解决其他系统大多数的局限性。它能够更轻松快捷地与骨干光纤网络进行通信。许可和监管的自由也使得可在低成本的情况下更加轻松便捷地部署无线光通信系统。

传输线路周围的地面链路所面临的挑战是衰减和消退。在有雾的环境中使用近红外波段的无线光通信系统衰减尤为严重。与别的任何通信系统一样,无线光学系统的高可靠性是至关重要的,因此必须改造链接方式,使系统即便在有雾时,也能接收到大部分有用信号。为了避免通信失效,可以提供备用光学通信路径或以射频/微波通信作为辅助通信方式。使用自适应激光功率的方案,可以根据天气情况动态地调整激光功率,从而提高了无线光通信的可靠性。在晴天可以大大降低传输功率以增加激光发射机寿命,然而在能见度较低时,增加激光功率可以提高光学链路的可靠性。

光学无线系统的性能受扰动及湍流大气的影响,从而直接影响通信误码率。在这种情况下为改善性能,各种多样化的方案被采用,如射频无线。一些光学无线系统利用大孔径接收器,自动增益控制以及具有锁相环的时钟恢复功能,来降低大气扰动及抖动偏移的影响。也可以通过添加有效编码方案来进一步提高性能。此外,由于太阳能干扰,外界光降低了系统的灵敏度。使用长波长光通滤波器可以在 1550nm 通信系统中屏蔽所有 850nm 以下的光学波长进入系统。在本书中,将会详细讨论这些问题。

无线光通信面临的另一个问题是由于建筑摇摆或塔台移动造成的指向不稳定。对于一个适用于大多数部署的稳健定点的无线光通信系统,其配置了一个有效光束发散器与视角匹配接收器的组合。由于成本较低,定点无线光通信系统通常优于信号跟踪系统。

1.2.3 室内系统

现今大量的设备需要在家庭、办公室以及其他场合进行数据交互,如计算机、打印机、个人数字助手等。这些设备还需要与互联网和网站服务等外部世界连接。有线互联网存在空间、扩展性等内在问题。它们通常很昂贵并且要花费更长的时间来设置。为消除这些瓶颈,无线系统是一个有吸引力的选择。在实现这些无线系统时,无线电频率和红外辐射都是可能的选项。红外胜于射频的优势已在之前的小节中详细讨论过。红外室内系统类似于室外链接,780~950nm 的波长是室内无线光系统的最佳选择,因为能发出这个范围内光谱的发光二极管和镭射二极管成本较低。低电容硅光二极管在这个范围内具有峰值响应率,同样可以提高接收机的速度和灵敏度。

红外信号的另一个优点是不会穿透墙壁,从而保证了安全和隐私。例如,在每一个房间内一个蜂窝网将是一个独立的蜂窝,不同房间的蜂窝之间不会有干扰,所

有不同单位的蜂窝可以是一致的，使其更容易生产。在过去的几年里，室内无线光系统已被应用于许多应用案例中，从家庭简单的远程控制到更复杂的无线局域网。如今一些商业产品开始成功应用^[9-12]。由于上述原因，光学无线系统在各种操作环境中变得越来越受欢迎，如家庭、办公室、医疗设备和商业机构。服务商已经开始构思面向未来的一些应用，包括室内环境数据网络以及在基础网络链接下的宽带多媒体业务与移动用户的数据传递。当设计室内红外系统时，需要考虑系统的局限性。落在探测器表面的人工光源引起了背景环境光产生的噪声^[13]。传输的多径效应导致的符号间干扰将涉及眼图安全和功率损耗，从而限制了平均发射功率。

室内系统一般可以有以下拓补结构：

定向光束或传输线路：在定向光束红外系统中（图 1.3（a）），接收机收到的光束没有经过反射。高度定向的发射机和接收机这两个固定的通信终端之间有定向的传输线路链接。这时系统有最小路径损耗、较高的功率效率和传输速率。这种技术的主要缺点是缺乏流动性，易受人体和其他物体的阻塞及窄光束的指向问题。基于保持成本和易于操作的考虑，必须将发射机对准接收单元。记住束宽应选择得足够大^[14]。

扩散的或非传输线路：扩散系统传输速率较低，针对用户移动的大范围及障碍物提升其稳健性^[15]。在扩散红外系统中（图 1.3（b）），发射机以一个宽广的角度发送光信号到天花板并经过一次或几次反射后，信号到达接收机。系统不需要沿固定传输路径传输，设置连接不需要对齐，但系统比定向光束系统有更高的路径损耗，因此需要更高的发射机功率水平和更大的光收集范围的接收器。由于多次反射，搜集不同路径长度光束的接收机会遇到多径分散。这导致在高数据率或当蜂窝系统的房间尺寸较大时的符号间干扰。因此，此设备中，数据率取决于房间的大小和房间内面积表面反射系数。

蜂窝系统：在蜂窝红外系统中（图 1.3（c）），基站通常安装在房间的天花板上。最小重叠的热点是由传输光束产生，它还可以提供有限的流动性。基站有相对广泛的覆盖面，它可分别地传输或接收来自于远程终端的信号功率。

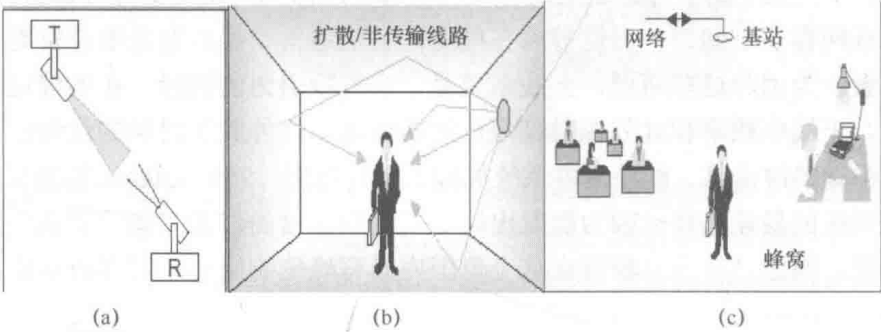


图 1.3 室内红外配置

(a) 传输线路^[15]；(b) 扩散^[17]；(c) 蜂窝系统^[17]。

基于对可实现的高数据率、安全性和成本考虑,无线红外室内局域网是有线和无线射频局域网的一个重要的替代方案^[15,16]。光学红外局域网可以是基于传输线或漫射的。漫射红外局域网有着几乎一致的辐照度,因此,在房间内可以移动而没有阴影效果。同时,发射机和接收机之间不需要准确对齐。对于特殊的局域网配置,不同房间可以有相同的收发器并通过光纤网络与房间的基站通过电线来连接。传输线红外局域网已可商用^[10]。JVC^[12]、IBM 和 Photonics 公司^[17,18]利用调制解调器允许笔记本电脑通过 AD-HOC 协议或点对点进行互联,以提供比漫射局域网更好的双向通信能力。这种方式具有更高的数据率和更好的覆盖范围,但需要终端对齐。

室内红外标准:

红外数据协会(IrDA)在1993年制定了关于近程半双工传输线路系统的标准^[19-22],其传输比特率可达4Mb/s。1997年,惠普公司和IBM公司提出了最佳红外标准(AIr)^[23,24]。此外,1997年,无线局域网IEEE 802.11标准^[25]明确了红外物理层规范。红外线物理层设计为了支持两个数据率的扩漫射系统并包括顺利迁移到更高数据率的规定^[26]。

1.3 无线光通信的未来发展

下一代无线通信系统——4G系统——将不会建立在单一的访问技术上,而是有着许多不同的互补访问方式来满足宽带多媒体的需求。设想未来系统不仅能连接用户和他们的个人设备,还能访问独立的单机设备。最终,人们期望每个人和每件事都可以在任何时间和地点被无线连接。这一场景使得短程通信更加占主导地位并更加普遍,因为核心网络已被建立并且可用。此外,这些链接必须有高数据吞吐量,距离覆盖从几千米到几米范围的无线局域网、无线个域网、无线体域网直至个体无线用户。我们见证了无线光通信在4G时代扮演着一个重要的角色。无线光学通道与射频有互补的特征,在很多情况下无线光通信能提高射频的性能和容量,而不是取代4G无线系统中的射频。如今无线光通信技术已经成熟,在商业上可以用于建立一个光学骨干网络,用于扩展和提高现有网络,并被用于接入端口。目前,它提供了1.5Mb/s~4.0Gb/s的宽带连接,并具有能够在短时间内设置的优点,是重新部署的解决方案。无线和有线运营商都已测试并把该技术应用于它们的网络,即美国电话电报公司。

无线光通信未来可以作为一些应用的可选择的可降低成本的方案,例如,移动网络特别是部署3G和高密度基站的微蜂巢和基站回程。3G服务移动网络的主要瓶颈既不是移动设备与基站之间的微波通信也不是核心网络间的微波通信,而是两者之间的回程或链接。基站通过成千上万个设备传输所有被用于一个流的数