



柯熙政 著

# 紫外光自组织网络理论



科学出版社

# 紫外光自组织网络理论

柯熙政 著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

无线激光通信融合了光纤通信与微波通信的优点,但是激光的直线传输限制了无线激光通信的应用范围。紫外光非直视传输弥补了无线激光通信的不足,可以采用自组织网络扩大其覆盖范围,因而具有潜在的应用前景。本书详细分析了紫外光自组织网络的信道特性,对紫外光通信覆盖范围进行了分析计算。在分析经典通信协议的基础上,对 MAC 层协议及其公平性、路由协议等进行了讨论,构建了适用于紫外光非直视通信的基本构架。对书中提出的通信协议进行了详细分析,书末给出了计算机仿真的关键程序,以便读者学习和理解。

本书可作为高等院校通信、网络等相关专业的高年级本科生、研究生的教学用书,也可作为研究人员和工程技术人员的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

紫外光自组织网络理论/柯熙政著. —北京:科学出版社,2011  
ISBN 978-7-03-031322-5

I. 紫… II. 柯… III. 激光通信-研究 IV. TN929.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 103331 号

责任编辑:任 静 王志欣 魏英杰 / 责任校对:李 影

责任印制:赵 博 / 封面设计:耕 者

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2011 年 6 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2011 年 6 月第一次印刷 印张:24 1/4

印数:1—3 500 字数:472 000

定价:70.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 前 言

随着无线电频谱资源的日渐匮乏,人们一直在试图开发新的通信体系,以适应当前无所不在的通信需求。无线激光通信融合了微波通信和光纤通信的优点,具有通信保密、通信容量大、部署迅速以及无需频谱许可等优点,受到了人们的广泛重视。激光的直线传播使无线激光通信的应用场合受到了限制。日盲紫外光可以进行非直视传输,但是由于大气环境的影响,其通信距离受到了极大地限制。本书将自组织网络理论和紫外光通信结合起来,既可以实现非直视通信,又可以延伸通信范围。作者对此领域遇到的相关理论问题进行了深入的探索,初步构建了紫外光自组织网络理论基础,是在此领域的有益尝试。

全书共计9章,涉及紫外光通信的基本概念,紫外光信道特性分析,紫外光自组织网络中的媒体接入协议、路由协议等内容。在对经典通信协议分析的基础上,提出了关于紫外光自组织网络的基本框架。

本书是西安理工大学光电工程技术研究中心集体研究的成果,何华、冯艳玲、邓莉君、侯兆敏、吴长丽、梁薇、陈祥、杨培林等参与了本课题的研究,赵太飞副教授在博士后流动站工作期间也参与了研究工作,对本课题的研究亦有贡献。恩师吴振森教授对作者的研究工作一直很关心,提出了许多宝贵的意见,在此表示深切的谢意!

本书的有关工作得到国家高技术发展计划(2008AAJ159)、国家自然科学基金(60977054、61001069)、国防重点实验室基金(9140C3601010701)、陕西省教育厅科技专项(04JK247、07JK332)、陕西省知识产权局基金、广东省交通厅科研计划(2007-26)、中国空间技术研究院 CAST 创新基金(CAST200828)、西安市创新科技计划(CXY1012)、广东省科技部教育部科技特派员行动计划(2009B090600032)、陕西省教育厅产业化培育项目(2010JC17)等项目和基金的资助,在此一并表示感谢。

本书是我们进行紫外光自组织网络研究工作的初步总结,由于水平有限,书中难免存在不妥之处,欢迎读者不吝指正。

作 者

2011年6月

# 目 录

## 前言

<b>1 紫外光自组织网络理论基础</b> .....	1
1.1 无线激光通信与紫外光通信 .....	1
1.1.1 无线激光通信 .....	1
1.1.2 紫外光通信 .....	6
1.1.3 紫外光通信的特点 .....	7
1.1.4 紫外光通信的研究进展 .....	9
1.2 无线自组织网络 .....	12
1.2.1 无线自组织网络的概念 .....	12
1.2.2 无线自组织网络的发展历史 .....	13
1.2.3 无线传感器网络国内外研究现状 .....	15
1.2.4 无线 Mesh 网络的研究现状 .....	16
1.2.5 移动自组织网络及其发展 .....	16
1.3 无线自组织网络的特点与关键技术 .....	20
1.3.1 无线自组织网络的特点 .....	20
1.3.2 无线自组织网络的关键技术 .....	21
1.4 紫外光自组织网络 .....	22
1.4.1 紫外光自组织网络的潜在应用 .....	22
1.4.2 紫外光自组织网络的关键技术 .....	24
1.5 本书的体系结构 .....	25
参考文献 .....	27
<b>2 紫外光通信大气信道</b> .....	31
2.1 紫外光传输特性 .....	31
2.1.1 紫外光大气吸收和散射特性 .....	31
2.1.2 紫外光通信传输特性 .....	32
2.2 紫外光大气信道特性分析 .....	33
2.2.1 日盲紫外光 .....	33
2.2.2 大气的特点 .....	34
2.2.3 大气信道中影响紫外光通信的主要因素 .....	34
2.2.4 大气紫外传输特性仿真与分析 .....	39

2.3	日盲紫外光通信的信道模型	43
2.3.1	日盲紫外光通信链路模型	43
2.3.2	紫外光单次散射模型	47
2.3.3	单次散射模型仿真分析	52
2.4	紫外光通信中 Mie 散射机制	55
2.4.1	Mie 散射理论	56
2.4.2	Mie 散射系数 $a_n, b_n$ 的计算	57
2.4.3	Mie 角散射系数 $\Pi_n$ 与 $T_n$ 的计算	59
2.4.4	仿真与计算	60
2.5	紫外光通信的覆盖范围计算与分析	62
2.5.1	紫外光通信安全	62
2.5.2	有效散射体积 $V$ 的近似分析	63
2.5.3	紫外光通信节点覆盖范围模型	66
2.5.4	含高度信息的紫外光非直视单次散射链路模型及仿真	72
2.6	基于蒙特卡罗方法建立的 NLOS 大气传输模型	75
2.6.1	蒙特卡罗方法	75
2.6.2	蒙特卡罗方法的收敛性与误差	76
2.6.3	蒙特卡罗法的特点	77
2.6.4	NLOS 紫外光传输的蒙特卡罗模拟	78
2.6.5	结果统计与分析	81
	参考文献	86
3	紫外光通信网络的节点定位算法	89
3.1	紫外光通信网络	89
3.1.1	无线通信网络的分类	89
3.1.2	无线 Mesh 网	90
3.1.3	紫外光网状通信网络	94
3.2	无线通信网络定位算法	95
3.2.1	传统的定位算法	96
3.2.2	两种常用的节点定位算法	98
3.3	三边测量法在紫外光 Mesh 通信网络中的应用	100
3.4	仿真实验	101
	参考文献	103
4	紫外光自组织网中的多址检测技术	105
4.1	扩频与多址干扰	105
4.1.1	扩频序列	105

4.1.2	OCDMA 中的多址干扰	107
4.2	地址码的分析与构造	109
4.2.1	素数序列码	110
4.2.2	修正素数码	112
4.2.3	光正交码	112
4.3	多用户检测技术	124
4.3.1	最优多用户检测器	124
4.3.2	线性多用户检测器	124
4.3.3	并行干扰消除检测	127
4.4	紫外 OCDMA 系统中的多用户检测技术	129
4.4.1	紫外大气信道分析	129
4.4.2	解相关检测与最小均方误差检测	130
4.4.3	MMSE_PIC 检测	132
4.5	紫外光 Ad Hoc 网络中的多用户检测技术	136
4.5.1	基于多用户检测的 Ad Hoc 网络吞吐量分析	137
4.5.2	基于 MOE 准则的盲自适应线性检测算法	140
	参考文献	144
<b>5</b>	<b>紫外光自组织网络 MAC 层协议公平性</b>	<b>146</b>
5.1	无线 Ad Hoc 网络的 MAC 协议	146
5.1.1	无线 Ad Hoc 网络的 MAC 协议分类	146
5.1.2	IEEE 802.11 DCF 协议	149
5.2	MAC 协议不公平性分析	152
5.2.1	公平性目标	152
5.2.2	引发公平性问题的原因	153
5.3	MAC 协议公平性改进	155
5.3.1	改进 CW 的更新规则	155
5.3.2	预测或监测网络状态动态调整接入	156
5.4	改进的公平性退避算法	158
5.4.1	HDFB 算法	158
5.4.2	NDCF 算法	160
5.5	BEB 算法及新算法性能分析	161
5.5.1	BEB 算法性能分析	161
5.5.2	改进算法性能分析	166
5.6	改进算法仿真及分析	170
5.6.1	实验环境及参数描述	170

5.6.2	仿真与分析 .....	171
	参考文献 .....	176
<b>6</b>	<b>紫外无线光 Mesh 网接入协议 .....</b>	<b>178</b>
6.1	紫外无线光 Mesh 网络的关键技术 .....	178
6.2	紫外光非直视通信组网 .....	179
6.2.1	紫外光通信信道带宽 .....	179
6.2.2	紫外光非直视通信接收光功率 .....	180
6.2.3	紫外光非直视通信节点转发结构 .....	181
6.3	MAC 协议 .....	182
6.3.1	全向 MAC 协议 .....	182
6.3.2	定向 MAC 协议 .....	186
6.3.3	定向 MAC 协议性能对比 .....	192
6.3.4	定向 MAC 协议带来的问题 .....	193
6.4	紫外光非直视通信网络性能分析 .....	196
6.4.1	紫外光非直视通信网络性能理论分析 .....	196
6.4.2	紫外光非直视通信模型 .....	199
6.4.3	仿真与分析 .....	203
6.5	紫外光定向接入 MAC 协议 .....	209
6.5.1	紫外光非直视通信 MAC 协议分析 .....	209
6.5.2	UVDMAC 协议 .....	210
6.5.3	仿真与分析 .....	212
	参考文献 .....	215
<b>7</b>	<b>基于节点位置和速度信息的紫外光自组织网络路由协议 .....</b>	<b>219</b>
7.1	移动自组织网络的路由技术 .....	219
7.1.1	平面结构式的路由协议 .....	220
7.1.2	分簇结构的路由协议 .....	222
7.1.3	基于地理位置的路由协议 .....	224
7.2	经典路由协议的性能比较分析 .....	226
7.2.1	经典协议的算法机制 .....	226
7.2.2	DSR 与 TORA 性能比较 .....	230
7.3	紫外光自组织网络路由性能分析 .....	239
7.3.1	紫外光通信中的路由协议 .....	239
7.3.2	仿真模型和仿真参数 .....	240
7.3.3	仿真与分析 .....	241
7.4	一种基于节点位置和速度信息的路由协议 .....	243



7.4.1	PVAR 协议的机制	243
7.4.2	仿真模型介绍	248
	参考文献	251
<b>8</b>	<b>基于蚁群算法的紫外光通信网络路由协议</b>	<b>253</b>
8.1	无线 Mesh 网络的路由技术	253
8.1.1	基于 Ad Hoc 的路由协议	254
8.1.2	洪泛控制的路由协议	256
8.1.3	通信感知或基于树的路由协议	258
8.1.4	机会路由协议	258
8.2	基于紫外光的无线 Mesh 网络	259
8.2.1	无线紫外 Mesh 网络中的关键技术	259
8.2.2	无线紫外 Mesh 网络的应用	260
8.2.3	无线紫外 Mesh 网络中路由协议	261
8.3	蚁群算法	262
8.3.1	蚁群算法的起源	262
8.3.2	蚁群算法的国内外研究进展	264
8.3.3	蚁群算法的基本原理和模型	266
8.3.4	蚁群算法的描述	271
8.4	无线网络中基于蚁群算法的 QoS 组播路由算法	272
8.4.1	QoS 组播路由	273
8.4.2	基于蚁群算法的 QoS 组播路由问题	275
8.4.3	仿真与分析	278
8.5	无线紫外 Mesh 网络中基于蚁群算法的单向链路路由算法	282
8.5.1	单向链路的概念及产生原因	282
8.5.2	紫外通信系统中单向链路	283
8.5.3	传统处理单向链路方法	283
8.5.4	基于蚁群算法的单向链路路由算法	285
8.5.5	仿真与分析	287
	参考文献	290
<b>9</b>	<b>紫外光无线传感器网络</b>	<b>293</b>
9.1	无线传感器网络	293
9.1.1	基本概念	293
9.1.2	无线传感器网络中的关键技术	294
9.1.3	紫外光无线传感器网络的关键技术	296
9.2	无线传感器网络路由协议	297

9.2.1	无线传感器网络路由协议分类	297
9.2.2	无线传感器网络路由协议的设计要求	302
9.2.3	无线传感器网络数据业务的传递	303
9.3	紫外光无线传感器网络路由协议	304
9.3.1	紫外光无线传感器网络洪泛路由协议	304
9.3.2	紫外光无线传感器网络定向扩散路由协议	309
9.4	紫外光无线传感器网络节能分析	317
9.4.1	紫外光传感器网络能量消耗分析	317
9.4.2	不同跳数的平均能量消耗仿真分析	319
9.4.3	汇聚节点不同移动速度的平均能量消耗、丢包率和时延分析	320
	参考文献	323
附录 A	NLOS 紫外光传输的蒙特卡罗模拟算法主要代码	326
附录 B-1	写入光正交码程序	329
附录 B-2	产生用户数据	331
附录 B-3	盲自适应 RLS 多用户检测算法	332
附录 C	HDFB 算法和 NDCF 算法主要 C 程序代码	334
附录 D-1	十字型拓扑的仿真脚本	338
附录 D-2	十字型拓扑的吞吐量分析程序	343
附录 E-1	PVAR 路由协议的状态机函数	344
附录 E-2	PVAR 路由协议的 Command( ) 函数	345
附录 E-3	PVAR 路由协议包的转发过程	347
附录 E-4	PVAR 仿真 TCL 脚本	349
附录 E-5	分组到达率仿真脚本	352
附录 E-6	路由开销仿真脚本	353
附录 F-1	基于蚁群算法的 QoS 组播路由算法程序清单	354
附录 F-2	基于蚁群算法的单向链路路由算法程序清单	357
附录 G-1	紫外光底层传输模型仿真程序	360
附录 G-2	三类通信方式性能仿真 TCL 脚本	363
附录 G-3	端到端时延仿真脚本	369
附录 G-4	时延抖动仿真脚本	370
附录 G-5	吞吐量仿真脚本	371
附录 G-6	平均剩余能量仿真脚本	373

# 1 紫外光自组织网络理论基础

## 1.1 无线激光通信与紫外光通信

### 1.1.1 无线激光通信

随着信息技术的发展,人们希望能够在任意时候、任意地点、以任意方式方便地获取所需要的信息。传统的有线通信或无线通信已经不能满足人们日益增长的通信需求,于是人们开始探索新的通信方式。自由空间光(free space optical, FSO)通信是光通信和无线通信相结合的产物,是以光为载体传递信息而不需要任何有线信道为传输媒介的一种通信技术。FSO 通信与其他无线通信相比,具有不需要频率许可证、频带宽、成本低廉、保密性好、误码率低、安装快速、抗电磁干扰、组网灵活方便等优点。FSO 产品目前最高传输速率可以达到 2.5Gb/s,在近距离高速网的建设中大有用武之地,也可以广泛用于展览会、短期租用的建筑、野外的临时工作场所或地震等突发事件的现场等临时通信场合。图 1-1 是无线激光通信系统示意图。



图 1-1 无线激光通信系统示意图

无线激光通信是一种定向点对点的通信方式,主要由激光发射系统、光学天线、激光接收系统三部分组成。如图 1-2 所示,激光经信号调制后,被发射天线聚集成一发散角很小的光束,光束通过自由空间或大气层传输,最后被接收天线接收,并聚光在光检测器上,从而检测出通信信号。激光通信技术由于其单色性好、方向性强、功率集中、难以窃听、成本低、安装快等特点而引起各国的高度重视。但是,无线激光通信利用激光束作为载波传递信息,大气中的雨、雾、云、霾、沙尘等对通信质量和通信码速率都有很大的影响,这影响了信息的最大传输速率,降低了通信的距离。

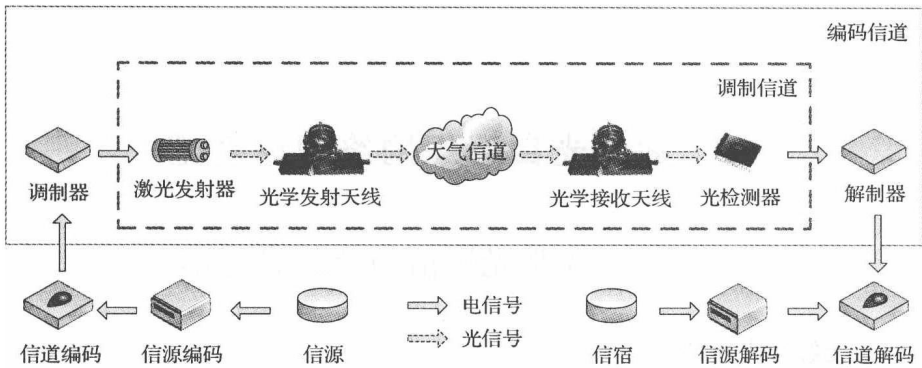


图 1-2 无线激光通信发/接收机概念图

FSO 通信已成为当今信息技术的一大热点,其作用和地位已能和光纤通信、微波通信相提并论,是构筑未来世界范围通信网必不可少的一种技术<sup>[1,2]</sup>。FSO 系统可以实现语音、数据、图像等信息的高速双向传输,各组成部分的功能如表 1-1 所示。FSO 技术主要包括光源及高码率调制技术,高灵敏度抗干扰的光信号接收技术,信道编码技术,天线收发技术,捕获、跟踪和瞄准技术,以及大气信道处理技术等。

表 1-1 FSO 通信系统功能模块

发送/接收模块	功能说明
信源/信宿	信源:产生初始信号(数字或模拟) 信宿:信息到达目的地,信息格式与初始信号相同
信源编码/译码	信源编码:负责把信源信息进行 A/D 变换、数据压缩和匹配调制信道的调制编码 信源译码:由信道译码的输出序列还原出由信源发出的原始信号
信道编码/译码	信道编码:通过加入冗余信息实现在接收端克服信号在大气信道传输时受到的噪声和干扰的影响 信道译码:对应信道编码采用的编码方法以及接收数据所含的冗余信息恢复编码前序列
调制/解调	调制:编码后信号加载到调制器上,激励电流随信号的变化规律而变化,激励电流通过驱动电路对激光器进行光强度调制 解调:接收信号进行预处理包括信号的放大、滤波及脉宽处理后还原调制前格式
半导体激光器/光电检测器	半导体激光器:激光器受激励电流驱动发射激光 光电检测器:将接收到的光脉冲信号转换成电信号
光学发射/接收天线	发射天线:激光光束经过光学天线减小发散角向空间发射 接收天线:从空间接收光束,传递给光检测器

目前主要的通信传输手段有微波、光纤等。微波通信与有线通信相比,可以节省大量有色金属,并易于跨越复杂地形;可以较灵活地组成点、线结合的通信网,使一些海岛、山区、农村的用户较方便地利用干线进行信息交换。相对于光纤通信系统,其频带窄、信道容量小、码率低,尚有许多不足。光纤通信系统的线路容量较大,不易受外界干扰,但必须有安装光缆用的公用通道,当遇到恶劣地形条件时,工程施工难度大、建设周期长、费用高。光无线通信结合了光纤通信与微波通信的优点,既具有通信容量大的优点,又不需要铺设光纤。它以激光作为信息载体,不需要任何有线传输媒介的通信方式,可用于空间及地面间通信,其传输特点是光束以直线传播。

根据 FSO 通信可穿透的介质来看,自由空间的传播介质可分为近地面大气层、远离地面的深空和水三种。除此之外,根据其传输信道特性则又可分为大气激光通信、星际激光通信和 underwater 激光通信,如图 1-3 所示。

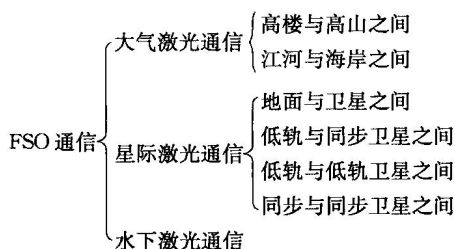


图 1-3 FSO 通信按信道特性分类

FSO 网络可以有多种拓扑,包括点对点、点对多点(星型)、环型和网格型结构,也可以将这些结构组合使用,根据用户需求和实际应用进行选择。其中,FSO 网络中最基本的网络拓扑结构是点对点结构,多用于企业内部各大楼间的连接或宽带接入的专线连接。这种结构的优点是链路独立、结构简单、适用于接入网络;缺点是其链路无冗余保护措施,存在单点故障问题,如图 1-4 所示。

点到多点(星型)结构的优点是可以把业务集中到一点(集线器或中心节点),再接入核心网,这种组网结构效率较高、较经济,但是能提供的带宽较少,每条链路仍无冗余保护,可靠性较差;并且为了在直视内连接尽可能多的大楼,集线器的位置非常关键,集线器的成本也较高。但有一种点到多点结构实际上是点到点传输,

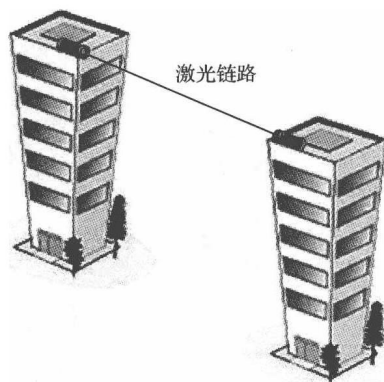


图 1-4 点对点拓扑结构示意图

只不过在中心节点集中放置了多个针对不同方向的终端,因此其好处是有专用的带宽,可进行拓展,能为单个用户提供服务,如图 1-5 所示。

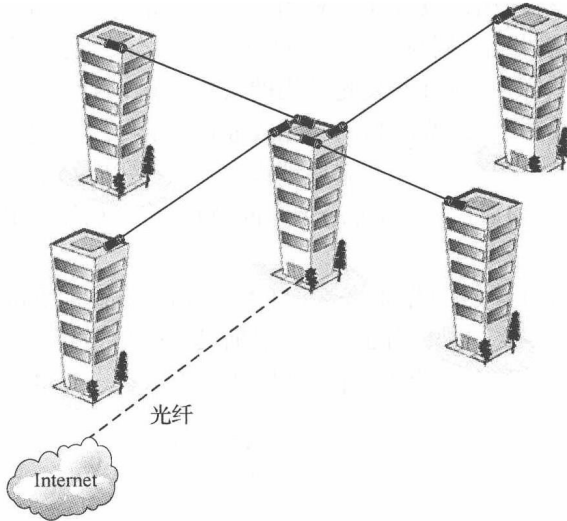


图 1-5 点对多点拓扑结构示意图

环型结构是指所有节点间的光链路首尾相接自成封闭回路的网络结构。这种结构的优点是故障发生后,在不需要人工干预的情况下,网络可在较短的时间内从故障中自动恢复服务,如图 1-6 所示。

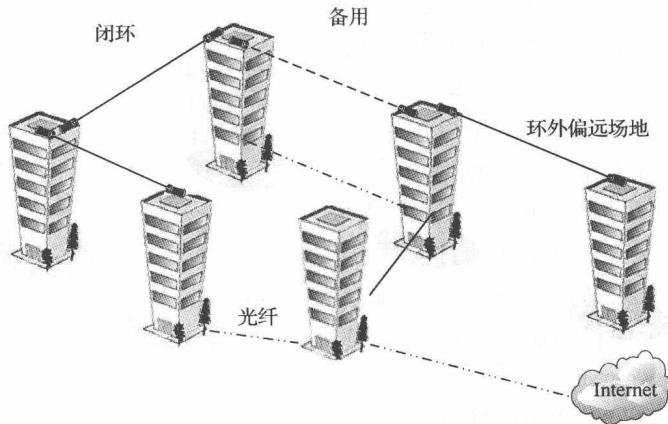


图 1-6 环型拓扑结构示意图

网格型结构的主要优点是通过多个网络节点可以提供实时性很好的迂回路由,使服务得到保护,即具有服务恢复、服务冗余的特点。在这种结构下,FSO 通

信既可作为有线光纤通信的补充备份,也可独立用于提供部分接入,并实现将业务汇聚到选定的接入点,再集中接入光纤网络,适合电信级的使用需求。但这种结构存在传输距离短、成本相对其他结构高、网络规划较复杂的缺点。一种网格型的组网方式是将网络中心节点的集线器设置在中央区域的建筑上,并与光纤环相连,此类集线器与设在附近建筑物上的其他节点通过 FSO 设备进行直视传输(速率 10Mb/s~1Gb/s)。采用此结构,每一个中心节点既可作为用户接入点,也可作为下一网络中心节点的中继节点,如图 1-7 所示。

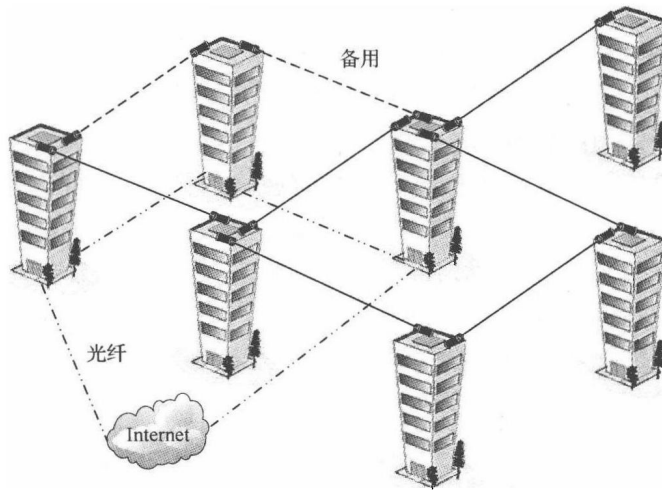


图 1-7 网格型拓扑结构示意图

FSO 系统在点对点连接的应用中已经得到充分证实,例如用作 LAN 的回程链路、应急备用和灾害恢复时的备份等,但用于最后一公里接入至今还没有得到充分证实。近年来,随着半导体激光器和光电探测器技术的不断发展,空间光通信越来越引起人们关注,但 FSO 通信也面临着挑战,主要表现在<sup>[1,2]</sup>:①由于大气对光信号的吸收和散射会产生大气衰减,即使在晴朗天空也会存在衰减;②大气的湍流运动会引起光斑的漂移和闪烁,特别是在强湍流情况下,光信号受到严重干扰甚至脱靶,造成较大的误码率和短时间通信中断,严重影响激光通信的稳定性和可靠性;③在实际使用中,虽然光载波的频率很高,光通信系统的信号带宽可以超过 1THz,但由于光色散或电子器件速度的限制,传输速率常常被限制到 10Gb/s 或者更低;④实现高精度的捕获、跟踪和瞄准(ATP)技术会遇到一定的困难,尤其是窄光束实现高精度的捕获、跟踪和瞄准难度更大;⑤考虑到对人眼安全的影响,发射天线提供的光功率受限;⑥过去光通信系统中大多使用诸如 OOK 和 M 进制脉冲位置调制等调制方式,对于单载波系统,当数据传输的速率较高时,光在大气中传输的时延扩展造成符号间的相互交叠,引起符号间干扰,这就对信道均衡提出了

很高的要求,当系统码速率较高时,信道均衡变得很难实现。

### 1.1.2 紫外光通信

紫外光通信是无线光通信的一种,紫外光通信是利用紫外光在大气中的散射来进行信息传输的一种新型通信模式。光线借助光散射实现非直视通信,避免了无线激光通信中 ATP 技术的难题。紫外光指波长为  $10\sim 400\text{nm}$  的射线,一般把紫外光划分为 A 射线、B 射线和 C 射线(简称 UVA、UVB 和 UVC),波长范围分别为  $315\sim 400\text{nm}$ 、 $280\sim 315\text{nm}$  和  $10\sim 280\text{nm}$ <sup>[3]</sup>。大气臭氧在紫外波段有两个吸收带,一为吸收能力很强的哈特莱(Hartley)吸收带( $200\sim 320\text{nm}$ ),吸收系数的极大值在  $255.3\text{nm}$ ;一为吸收能力较弱的哈根斯(Huggins)吸收带( $320\sim 360\text{nm}$ )。紫外光通信主要采用波长为  $200\sim 280\text{nm}$  的 UVC 波段光波作为传输介质,由于位于这个谱段的太阳辐射被大气平流层的臭氧分子强烈吸收,使得在近地面对流层内太阳背景低于  $10^{-13}\text{W/m}^2$ ,尤其在近地太阳光谱中几乎没有该紫外光波段<sup>[4]</sup>,所以通常称为日盲区。因此,利用日盲紫外光进行通信时的背景噪声小,具有良好的抗干扰能力,并能全天候工作。由于大气中存在大量的粒子,紫外光在传输过程中存在较大的散射现象,这种散射特性使紫外光通信系统能非直视(non-line-of-sight, NLOS)传输信号,从而能适应复杂的地形环境,克服了其他 FSO 通信系统必须以直视(line of sight, LOS)方式工作的不足<sup>[5]</sup>。

紫外光波长较短,在传输过程中受到大气的散射作用很强,日盲紫外光在大气中传播时主要受到 Rayleigh 散射和 Mie 散射的影响,衰减非常快,但散射传播路径可绕过人造和自然障碍物,实现非直视通信<sup>[6]</sup>。太阳光中的 UVC 频段被大气臭氧充分吸收,该频段在近地范围背景干扰很小,在气溶胶颗粒和大气分子的散射作用下实现非直视通信,发射光束发散角和接收视场角决定了通信的有效范围。

紫外光通信是基于大气散射和吸收的无线光通信技术。紫外光通信的基本原理就是把紫外光作为信息传输的载体,把需要传输的信息加载到紫外光上,以实现信息的发送和接收。光在大气中传播时产生电磁场使大气中粒子所带的电荷产生振动,这些受迫振动的分子和粒子将成为新的点光源,向外辐射次级波,这些次级波在均匀介质中是相干的,但是在低空大气中这些子波间的固定相位关系被破坏,使得各个方向均有紫外光的传播,各个方向的光具有原来光的频率,与前一级次波源有固定的相位差。因此,发射的紫外光信号散射在大气中,这些散射信号都能保持原来的信息,只要散射信号能到达光接收装置的视野区,双方即可通信。所以非直视方式通信对于障碍物多、作战环境复杂、作战隐蔽性强的场合,具有重要的战略意义。常用的紫外光通信系统一般有调制/解调器、紫外光源/紫外光探测器、光学天线部分(有些接收端还含有光学滤波器)。原理如图 1-8 所示<sup>[7]</sup>。



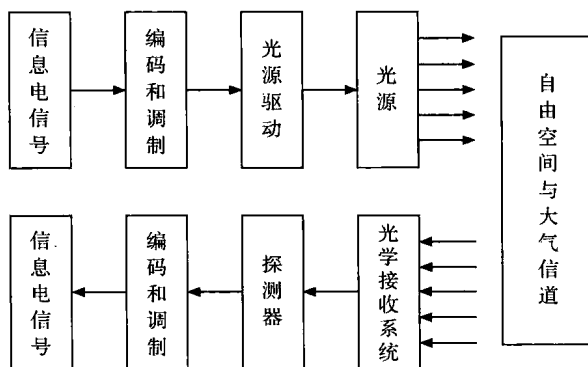


图 1-8 紫外光通信原理框图

### 1.1.3 紫外光通信的特点

人们对通信的基本要求是快速、准确、保密、不间断，紫外光通信系统的特殊性能使它成为较为理想的隐蔽通信手段。系统光源辐射的信号扩散到低空大气层中被大气吸收，信号强度按指数规律衰减。发射端发出的紫外光子与接收端视野相交的公共有效散射大气空间，绝大部分紫外光通过大气层的微小颗粒散射到接收端的视野区，并被接收机的天线接收。随着通信技术的不断发展，人们对通信的传输速率、抗干扰能力、保密性等方面的要求越来越高。为了提高信息的安全性，我们必须综合利用和发展多种通信方式，使通信系统具有较强的防侦察、抗干扰、抗摧毁能力<sup>[8]</sup>。与传统通信方式相比，紫外光通信具有以下优点：

(1) 低窃听率。紫外光在传输过程中由于大气分子、悬浮颗粒的吸收和散射作用，能量衰减的很快，因此是一种有限范围的无线通信。在通信范围以外，即使采用高灵敏度的紫外光探测器也不能窃听。

(2) 低位辨率。由于紫外光为不可见光，所以肉眼很难发现信号源的方位。另一方面由于紫外光主要是以散射的形式向外发射信号，因而很难从这些散射信号中判断出信号源所在的位置。

(3) 抗干扰能力强。一方面，由于紫外光在大气层中被臭氧和氧气的吸收，近地面的紫外光干扰很少；另一方面，由于散射的作用，近地面的紫外光是均匀分布的，在接收端可以用滤波的方式去除背景信号。同时光信号不受无线电波的影响，也很难实施远距离紫外干扰，所以也不便于施行紫外干扰。

(4) 全方位性。大气中存在大量的分子和气溶胶粒子，它们对紫外光具有强烈的散射作用，紫外光经过多次散射，可以弥散到局域空间的各个方向。所以在有效覆盖范围内都可以接收到信息，不会像激光那样具有强烈的方位性。

(5) 非直视通信。由于紫外光具有较强的散射作用，从而可以以非直视的方式传播，自然也就可以绕过障碍物实现非直视通信。