

无线光通信传输与接入研究

张景凯

山东省邮电工程有限公司 山东 青岛 266000

摘要: 无线光通信凭借高速率、高带宽等优势,成为通信领域的研究热点。其传输技术涵盖调制、编码及光束控制等核心模块,接入技术包含自由空间光接入、混合光-无线接入与可见光通信接入等多样化形式。通过先进信号处理、智能架构设计、环境自适应及硬件升级等性能优化策略,可显著提升系统可靠性与传输效率。随着技术的不断创新与融合,无线光通信在5G/6G、物联网等场景中展现出广阔的应用前景。

关键词: 无线光通信; 传输; 接入

引言

在通信技术飞速发展的当下,传统通信方式已难以满足日益增长的高带宽、高速率传输需求。无线光通信作为一种新兴通信技术,以激光作为载波,在自由空间或特定介质中实现信息传输,具备抗电磁干扰、部署灵活等特性。本文围绕无线光通信的传输与接入技术展开深入研究,分析关键技术要点,并探讨性能优化策略,旨在为该技术的进一步发展与应用提供理论支持与实践参考。

1 无线光通信概述

无线光通信,作为一种前沿的通信技术,正逐渐展现出其独特的优势与广阔的应用前景。它融合了光纤通信与无线通信的精髓,以光波作为信息载体,在大气、水或外层空间等自由空间中进行信号传输。这种技术不仅继承了光纤通信的高带宽、低损耗特性,还具备了无线通信的灵活性和便捷性。无线光通信系统的核心构成包括发射系统、信道与接收系统。发射系统负责将电信号调制为光信号,并通过光学望远镜等天线设备将光信号发射到自由空间中。接收系统则负责接收光信号,并将其转换回电信号,以供后续处理。在这个过程中,光信号的传输质量受到多种因素的影响,如大气衰减、天气条件、光束发散等。无线光通信具有诸多显著优势。第一,其传输带宽与光纤通信相当,能够支持高速率、大容量的数据传输。其次,光波在大气中传播时抗干扰能力强,不易受到其他无线设备的干扰。第二,无线光通信还具有良好的保密性,因为光波束具有很强的方向性,不易被窃取或干扰。第三,由于无需铺设光纤或电缆,无线光通信可以大大降低基础设施的建设和维护成本。在应用领域方面,无线光通信已经展现出了广泛的潜力。它可以用于室内通信、无线接入、智能家居、车联网等多个领域,为人们的生活和工作带来便利。特别

是在一些特殊场景下,如复杂地形、灾害救援等,无线光通信能够迅速部署和重新配置,提供高效、稳定的通信解决方案。随着技术的不断进步和成本的降低,无线光通信有望在未来得到更广泛的应用。例如,在智能城市中,它可以用于智能交通系统、智能照明、环境监测等方面,促进城市信息化进程。在航空航天领域,无线光通信也可以用于飞行器之间的高速数据传输和通信,提高通信效率和安全性。

2 无线光通信传输技术

2.1 调制技术

在无线光通信系统中,调制技术通过改变光载波的特性实现信息加载。强度调制直接改变光信号的光强,是最常用的调制方式,利用驱动电流变化控制光源输出功率,在接收端通过光电探测器将光强变化转换为电信号,其结构简单、成本较低且易于实现。相位调制通过改变光载波的相位携带信息,基于电光效应实现,需要高精度的相位控制电路,常用于对频谱效率要求高的场景,可利用同一频率的不同相位状态承载更多数据。频率调制则是改变光载波的频率,通过改变光源的注入电流或工作温度等方式实现,虽然技术难度相对较高,但在抗干扰和频谱利用方面具有一定优势,不同调制技术的选择取决于系统对传输速率、功耗、复杂度等多方面的需求^[1]。

2.2 编码技术

编码技术是提升无线光通信性能的关键手段,旨在增强数据传输的可靠性和有效性。信道编码通过在原始数据中添加冗余信息,构建特定的码字结构,在接收端利用编码规则检测和纠正传输过程中产生的错误,如常用的纠错码能够在一定程度上抵御大气湍流、背景光等因素引起的误码。信源编码则致力于去除数据中的冗余成分,通过对原始数据进行压缩处理,提高数据传输效

率,例如在视频、图像等大数据量传输场景中,高效的信源编码算法能够在保证数据质量的前提下,显著降低传输带宽需求。编码技术的合理应用能够有效提升无线光通信系统在复杂环境下的性能,平衡数据传输的可靠性与效率。

2.3 光束控制技术

光束控制技术保障无线光通信系统中光信号准确传输与稳定接收。光束准直技术通过光学元件将发散的光束进行压缩和整形,降低光束发散角,减少光能量在传输过程中的损耗,提高信号传输距离和覆盖范围。光束跟踪技术针对通信双方相对运动、大气湍流等因素导致的光束偏移问题,利用高精度的传感器实时监测光束位置,通过伺服机构驱动光学天线调整光束方向,确保接收端能够持续准确接收光信号。光束聚焦技术则通过调节光学系统参数,使光束在接收端聚焦,提高接收面的光功率密度,增强接收灵敏度,这些技术协同作用,有效提升了无线光通信系统的稳定性和传输质量。

3 无线光通信接入技术

3.1 自由空间光接入技术

自由空间光接入技术利用大气作为传输介质,实现光信号在空间中的自由传输。该技术以激光作为光源,通过光学天线将光信号定向发射到自由空间,接收端利用相应的光学接收设备捕获光信号并进行处理。其具有部署快速灵活的特点,无需铺设复杂的线缆,可在短时间内建立通信链路,适用于临时通信需求场景。凭借高带宽特性,自由空间光接入技术能够满足大数据量快速传输要求,在点对点高速数据传输领域优势显著。不过,其传输性能易受大气条件影响,如雾霾、降雨等会导致光信号衰减,在实际应用中需采取针对性的补偿措施以保障通信质量。

3.2 混合光-无线接入技术

混合光-无线接入技术结合了光通信和无线通信的优势,构建出更具适应性的通信网络。在该技术方案中,光通信部分负责骨干网络的高速数据传输,提供高带宽、低延迟的传输通道,确保核心数据的高效传输;无线通信部分则作为接入层,为终端设备提供灵活便捷的接入服务,实现移动性和广覆盖。通过合理的融合架构和协议设计,混合光-无线接入技术能够有效克服单一通信方式的局限性,在室内外复杂环境中实现优势互补,提高网络的整体性能和可靠性,满足不同场景下多样化的通信需求,为用户带来更优质的通信体验^[2]。

3.3 可见光通信接入技术

可见光通信接入技术利用可见光频段的光信号进行

信息传输,以LED照明设备作为光源兼信号发射器,通过控制LED的快速闪烁实现光信号调制,将信息加载到可见光中。在接收端,光电探测器将接收到的光信号转换为电信号,进而恢复出原始信息。该技术最大的优势在于与现有照明基础设施相结合,无需额外铺设通信线路,降低了部署成本。可见光频段频谱资源丰富,能够有效缓解传统无线通信频段拥挤的问题。可见光通信还具有良好的保密性和抗干扰性,在室内通信、智能交通等领域展现出巨大的应用潜力,为未来通信发展提供了新的方向。

4 无线光通信传输与接入性能优化策略

4.1 先进信号处理与自适应调制编码优化

(1)在无线光通信中,先进信号处理技术是提升传输性能的核心手段。基于深度学习的信号处理算法,通过构建复杂神经网络模型,能够对大气湍流、背景光噪声等干扰因素导致的畸变光信号进行特征提取与智能修复,有效改善信号质量。例如,卷积神经网络可针对光信号的空间特征进行分析,自动学习信道衰落模式,实现高精度的信号恢复,显著降低误码率。(2)自适应调制编码技术依据信道状态动态调整调制方式与编码速率。当信道条件良好时,系统自动切换至高阶调制格式与高码率编码方案,充分利用信道容量实现高速数据传输;在信道质量下降时,及时转换为低阶调制和低码率编码,增强信号抗干扰能力。这种动态调整机制通过实时监测接收信号强度、信噪比等参数,在保证通信可靠性的前提下最大化传输效率。(3)多维度信号处理与编码协同优化进一步拓展系统性能边界。将偏振复用技术与调制编码相结合,利用光信号不同偏振态承载独立信息,成倍提升频谱利用率;采用级联编码结构,将内码与外码进行有机组合,针对不同类型的信道损伤进行分级纠错,在深空光通信等长距离传输场景中,有效应对信号微弱、干扰复杂的挑战,实现稳定可靠的数据传输^[3]。

4.2 智能传输架构与协同通信优化

(1)智能传输架构通过引入软件定义网络(SDN)理念,实现对无线光通信网络资源的集中管理与灵活调配。控制器实时获取全网拓扑、信道状态等信息,依据业务需求动态分配光链路资源,优化信号路由路径。在城市楼宇间的光通信网络中,SDN架构可根据建筑物遮挡情况、天气变化等因素,快速切换至最优传输路径,保障通信链路的连续性与稳定性。(2)协同通信技术打破传统单节点传输模式,通过多个节点间的协作提升系统性能。中继协同通信利用中间节点对光信号进行转发、放大或处理,有效延伸传输距离,克服视距传输限

制。在山区等地形复杂区域,部署多个中继节点形成接力传输网络,可实现信号的长距离稳定传输。分布式协同编码则将编码任务分散至多个节点,各节点相互协作完成数据编码与传输,增强系统抗毁性与容错能力。

(3) 异构网络融合架构构建多模态智能传输体系。将无线光通信与毫米波通信、太赫兹通信等多种通信技术深度融合,针对不同场景需求动态选择或组合使用。在智能交通系统中,车辆行驶过程中可根据环境变化自动切换至无线光通信实现高速数据传输,进入隧道等光信号受限区域时无缝切换至毫米波通信,保障通信不间断,提升网络整体服务质量与适应性。

4.3 环境自适应与抗干扰优化

(1) 环境自适应技术针对无线光通信受大气环境影响的问题,实现系统与环境的动态匹配。基于气象数据与信道模型的联合预测机制,通过实时采集风速、湿度、温度等气象参数,结合历史信道数据训练预测模型,提前预知大气衰减、湍流强度等变化趋势,为系统参数调整提供依据。在雾霾天气来临前,自动调整光发射功率、光束发散角等参数,降低环境对信号传输的影响。(2) 抗干扰技术通过多种手段提升系统在复杂电磁环境下的稳健性。采用扩频技术将光信号频谱扩展到较宽频带,降低干扰信号对有用信号的影响,提高系统抗窄带干扰能力。空间分集技术利用多个接收天线接收同一光信号的不同副本,通过信号合并处理降低衰落影响,在多径效应明显的室内环境中,有效改善接收信号质量。采用先进的干扰抑制算法,对背景光噪声、相邻光链路干扰等进行实时检测与消除,提升系统信噪比。

(3) 动态补偿机制实现环境变化与干扰因素的实时响应。基于自适应光学技术的波前校正系统,通过变形镜实时调整光波波前形状,补偿大气湍流引起的波前畸变,保证光束质量。在长距离无线光通信中,自动增益控制(AGC)电路根据接收信号强度动态调整放大器增益,使接收信号保持在合适电平,避免信号过强或过弱导致的误码,确保系统在不同环境条件下均能稳定运行。

4.4 硬件性能提升与系统集成优化

(1) 硬件性能提升聚焦于核心器件的技术突破。高性能半导体激光器作为发射端关键器件,通过优化量子

阱结构与外延生长工艺,提高输出功率、降低阈值电流,并实现更窄的线宽与更稳定的波长输出,提升光信号传输效率与稳定性。在接收端,高灵敏度光电探测器采用新型材料与制造工艺,降低噪声水平、提高响应速度,能够捕捉微弱光信号,在深空光通信等场景中有效提升接收灵敏度。(2) 光学天线系统的优化设计增强光信号的发射与接收能力。采用大口径、高分辨率光学望远镜作为发射与接收天线,提高光信号的发射增益与接收面积,降低光束发散损耗。通过精密的机械结构与伺服控制系统,实现光学天线的快速、高精度指向与跟踪,保障通信双方的稳定对准。引入微机电系统(MEMS)技术,实现光学天线的小型化、轻量化与集成化,便于在移动终端、无人机等设备上部署。(3) 系统集成优化致力于实现各硬件模块的高效协同与整体性能提升。通过优化电路设计与封装工艺,减少信号传输损耗及电磁干扰,增强系统集成度与可靠性。运用模块化设计,对发射、接收、信号处理等功能模块标准化,便于灵活配置与扩展。装配时,严格把控光学对准、电气连接及性能测试,保障模块协同,最终实现无线光通信系统多方面性能的综合优化^[4]。

结语

综上所述,无线光通信传输与接入技术在调制编码、光束控制、接入方式及性能优化等方面已取得显著进展。面对复杂环境干扰、长距离传输损耗等挑战,仍需在技术创新与系统集成上持续发力。未来,随着技术的不断突破,无线光通信有望与其他通信技术深度融合,在更多领域发挥重要作用,为构建高效、稳定的通信网络奠定坚实基础。

参考文献

- [1]黎振金.无线光通信的传输与接入研究[J].通讯世界,2024,31(12):37-39.
- [2]杨树军.无线光通信系统的传输与接入问题研究[J].无线互联科技,2022,19(9):1-3.
- [3]盖松.无线光通信系统的传输与接入问题研究[J].通信电源技术,2022,39(22):101-103.
- [4]雷远扬.无线光通信传输与接入分析[J].通信电源技术,2020,37(17):250-251,254.