

微波数字通信抗干扰技术及其在复杂环境中的应用

王忠涛

锡林郭勒盟微波总站 内蒙古 锡林郭勒盟 026000

摘 要: 微波数字通信凭借微波频段特性,经数字通信原理处理,由发信机等组件协同工作。本文探讨了微波数字通信抗干扰技术在复杂环境中的应用,介绍了微波数字通信的基本原理和抗干扰技术的核心方法,包括扩频技术、纠错编码技术和自适应技术。文章分析了复杂通信环境下的挑战,并针对性地提出了技术方案,这些技术有效提升了通信系统的抗干扰能力和稳定性,确保了在不同环境下的通信质量。

关键词: 微波数字通信;抗干扰技术;复杂环境;应用

引言

微波数字通信作为现代通信的重要组成部分,面临着复杂多变的通信环境带来的挑战。城市密集区、山区和海上等环境下的建筑物、地形和海洋波动等因素,对通信信道造成了严重影响。为确保通信的稳定性和可靠性,必须采用先进的抗干扰技术。本文将深入探讨微波数字通信抗干扰技术的核心原理和应用实践,为复杂环境下的通信提供解决方案。

1 微波数字通信概述

1.1 微波频段特性

微波频段特性是现代通信技术的核心要素,其优势在于对300MHz至300GHz频段的高效利用。该频段覆盖了从1米至1毫米的波长范围,呈现出独特的物理特性和广泛的应用潜力,微波的高频率特性使其能够携带大量信息,成为高速数据传输的理想选择。随着频率的提升,微波频段提供了更宽的带宽资源,支持多种通信业务的并行处理,显著增强了通信系统的灵活性和信息处理能力。微波的短波长特性为通信设备的小型化和集成化提供了可能,小型天线逐渐取代传统大型天线,不仅降低了制造成本,还提升了设备的便携性和部署灵活性。这些特性完美契合了现代通信对移动性、灵活性和高效性的高要求,展现了微波频段在现代通信技术中的不可替代作用。

1.2 数字通信原理

数字通信作为现代通信领域的核心方式,其在微波数字通信系统中展现出了显著的优势和原理,在发送端,原始的模拟信号经历了一个精密的数字化处理流程:(1)通过采样过程,连续信号被转换成时间上离散的信号样值序列;(2)量化步骤用一组有限级别的幅度表示这些采样值,进一步将连续幅度样本转化为离散时间信号;(3)编码阶段将这些离散信号转换为适合

传输的数字码元,常用的编码方式如二进制编码和十进制编码,这一系列处理确保了原始模拟信号被有效地转换为数字信号,为后续的微波传输奠定了坚实基础,微波数字通信系统利用300MHz至300GHz频率范围内的微波信号作为传输介质,这些信号适用于视距传输,能够高速、远距离地传输大量信息,同时展现出优异的穿透力和抗干扰能力,即便在复杂环境中也能保持稳定的传输性能。在接收端,接收到的微波信号首先经过解调处理,通过调整信号的幅度、频率或相位来还原出原始的数字信号;随后,解码过程根据预先约定的编码规则,将这些数字码元转换回原始的模拟信号或数据。

1.3 微波数字通信系统组成

发信机作为起点,通过内部的调制器将未经调制的基带数字信号调制到微波频段的载波上,这一过程可能涉及频率调制、相位调制或幅度调制等方式,便于远距离传输,调制后的微波信号经过功率放大器的放大,确保信号具有足够的强度和抗干扰能力,最终通过天线发射到空中。在接收端,天线捕获来自空中的微弱微波信号,并将其传递给收信机,收信机内部的低噪声放大器首先对信号进行放大,以降低噪声干扰,然后通过解调器根据调制方式将微波载波上的基带数字信号还原出来,解调后的信号还需经过滤波、均衡等信号处理步骤,以进一步改善信号质量,最终恢复出原始的基带数字信号。天线的设计需综合考虑微波信号的频率、波长、极化方式等因素,以确保信号的有效传输和接收,而馈线则作为连接发信机、收信机与天线的桥梁,负责将调制后的微波信号从发信机传输到天线进行发射,同时将接收到的微波信号从天线传输到收信机进行处理,馈线的选择需考虑传输损耗、阻抗匹配等因素,以确保信号的稳定传输。终端设备作为微波数字通信系统与用户之间的接口,负责完成信号的处理和用户接口功能,

可以是计算机、数据终端等处理设备,也可以是电话、传真机等通信设备,通过接口电路与微波数字通信系统相连,实现信号的接收、处理和发送,为用户提供便捷的通信服务^[1]。

2 微波数字通信抗干扰技术

2.1 扩频技术

2.1.1 直接序列扩频(DS)

微波数字通信抗干扰技术中的直接序列扩频(DS)技术,是一种高效且广泛应用的抗干扰策略。其核心在于利用高速伪随机码对载波进行调制,从而将原始信号的频谱从一个相对较窄的带宽扩展到一个远宽于此的频带。这一频谱扩展过程显著增强了信号的抗干扰能力,使其在传输过程中能更好地抵御噪声和干扰的影响。在直接序列扩频系统中,发送端的原始信号首先通过一个调制器,该调制器利用具有高码片速率的二进制序列对原始信号进行调制,生成一个频谱更宽的复合信号。然后这个复合信号被用来调制载波,生成射频信号,并通过发射机和天线发送到信道中进行传输。在接收端,接收到的射频信号首先经过下变频处理,转换为中频信号。这个中频信号往往包含多个发射信号、干扰以及噪声的混合。为了从中恢复出原始信号,接收端使用与发送端相同的伪随机码进行解扩处理。解扩过程通过相关处理,利用本地扩频码对接收到的信号进行解调,将宽带信号还原为窄带信号,当本地扩频码与接收信号中的伪随机码高度相关时,能够产生最大的相关峰值,从而有效地提取出原始信号。

2.1.2 跳频扩频(FH)

跳频扩频(FH)作为一种高效的微波数字通信抗干扰技术,其精髓在于使载波的中心频率能够在预设的频带内,依据伪随机序列实现灵活跳变。在发送端,信号经过调制后,其载波频率不再维持恒定,而是根据伪随机码的控制,在多个可选的频率点之间快速且有序地切换,形成一个预设的伪随机跳变序列。在接收端,为了准确接收信号,本地载波频率需与发送端保持严格同步,即按照相同的伪随机序列进行跳变,确保当两者频率相匹配时,能够顺利解调信号并还原出原始信息。在实际部署中,跳频扩频技术通常会设定包含N个不同频率点的频带,并按照特定规则或顺序在这些频率点上实现跳变。由于跳变顺序具有伪随机性,该技术能有效抵御针对固定频率的干扰和截获,显著提升通信的抗干扰能力和安全性^[2]。

2.2 纠错编码技术

2.2.1 分组编码

分组编码是纠错编码技术中的一项基础且核心的方法,其核心在于将原始信息序列按照特定长度分割成多个独立的信息组或块,并为每个组或块添加精心设计的冗余码元,以构造出完整的码字。这些冗余码元的添加遵循特定的编码规则,旨在提升信息在传输过程中的抗干扰和纠错能力。在分组编码的过程中,每个信息组被视为一个基本的编码单元,而冗余码元的数量和位置则根据所需的纠错能力和编码效率进行精确设计。虽然冗余码元本身不携带原始信息,但它们在信息传输中扮演着至关重要的角色,使得接收端能够利用这些冗余码元来检测和纠正传输过程中可能出现的错误。分组编码的优势在于其高度的灵活性,能够根据不同通信环境和需求进行调整,通过优化信息组长度和冗余码元数量,在保证纠错能力的同时提高编码效率,从而优化通信系统的整体性能,分组编码还具备良好的兼容性和扩展性,可以与其他纠错技术相结合,进一步提升通信系统的可靠性和稳定性。

2.2.2 卷积编码

卷积编码是一种独特的纠错编码技术,它区别于分组编码,在于其连续处理输入信息序列的方式。在这一过程中,每个输出的码元不仅依赖于当前输入的信息位,还与之前若干个连续输入的信息位相关联,这种关联程度由“约束长度”K来定义,意味着每个输出码元由当前输入及其前K-1个连续输入信息位共同决定,这种编码方式充分利用了信息序列的时间相关性,生成了具有更强纠错能力的码字。卷积编码因此具备独特的优势:由于输出码元与多个输入信息位相关联,它能更有效地检测和纠正传输错误,同时保持较低的冗余度,从而在确保纠错性能的同时,尽可能提高编码效率,但是卷积编码的解码过程相对复杂,需要采用如维特比算法等高效解码算法,这些算法通过比较不同路径的累积度量值,能够找到最可能的输入信息序列,实现准确解码。

2.3 自适应技术

自适应技术是微波数字通信中提升系统性能的关键手段之一。自适应滤波技术通过实时监测输入信号与期望信号之间的误差,动态调整滤波器的参数,确保滤波器输出尽可能逼近期望信号,从而有效抑制干扰信号。这一过程中,最小均方误差(LMS)算法等自适应滤波算法发挥着重要作用,它们通过不断迭代调整滤波器系数,最小化输出与期望信号间的均方误差。另一方面,自适应调制技术则根据信道状态信息,如信噪比和衰落状况,灵活调整调制方式和编码速率。在信道条件良好时,采用高阶调制和高速编码以提升数据传输速率;

而在信道条件不佳时,则选择低阶调制和低速率编码,确保通信的可靠性。此外,智能天线技术利用多天阵列,结合信号到达方向估计和自适应算法,智能调整各天线阵元的加权系数,使天线辐射方向图自适应地聚焦于有用信号方向,同时削弱干扰信号方向的增益。通过形成多个波束,智能天线技术能够在空间上实现信号的有效分离和干扰抑制,提升通信系统的性能^[3]。

3 微波数字通信抗干扰技术在复杂环境中的应用

3.1 城市密集区域通信

在城市密集区域,通信环境极为复杂,受建筑物、车辆和密集人群等多重障碍物的严重影响,导致通信信道多变且干扰信号多样。为了应对这些挑战,确保通信的稳定性和可靠性,我们可采用一系列先进的抗干扰技术。其中,智能天线技术通过动态调整天线波束方向,将信号能量精确聚焦于目标用户,同时有效抑制其他方向的干扰信号,显著提升通信质量。多径分集接收技术则在接收端配置多个天线,同时接收并处理来自不同传播路径的信号,利用信号的多样性和互补性,通过合并处理提高信号接收质量,进一步增强抗干扰能力,自适应调制编码技术根据实时信道条件动态调整调制方式和编码速率,以适应信道的复杂多变,从而在保障通信质量的同时,最大化利用信道资源,提高通信效率。

3.2 山区通信

在山区通信领域,复杂多变的地形条件和众多的自然遮挡物构成了确保通信信道稳定性和可靠性的重大挑战。为了有效应对这些难题,一系列先进的抗干扰技术应运而生,其中高方向性天线的应用显得尤为重要。这类天线通过精确配置,能将信号能量高度集中于特定的传输方向,有效减少信号在传输过程中的散射和衰减,并有效抑制来自其他方向的干扰信号,显著提升通信链路的抗干扰能力。同时扩频通信技术的引入也为山区通信带来了福音,该技术通过将信号功率扩散在较宽的频带内,大大降低了干扰信号对通信链路的影响,确保了在复杂山区环境中信号的清晰传输,提高了通信的可靠性和稳定性。中继传输技术在山区通信中也发挥着不可替代的作用,通过在山区中合理设置中继站,不仅能有效延长通信距离,还能显著改善通信质量,中继站不仅

能对接收到的信号进行放大处理,还能对信号进行再生,进一步抑制干扰信号的影响,这种技术在山区地形复杂、信号难以直接传输的情况下显得尤为重要。

3.3 海上通信

在海上通信领域,面对海洋环境的复杂性和不确定性所带来的通信信道挑战,一系列先进的抗干扰技术被广泛应用以确保通信的稳定性和可靠性。卫星通信技术作为海上通信的关键一环,通过卫星作为中继站实现了远距离的通信覆盖和服务,不仅具备强大的抗干扰能力,能在恶劣的海洋环境中保持通信链路的稳定,而且覆盖范围广泛,几乎覆盖全球所有海域,为海上航行提供了极大便利。扩频通信技术同样不可或缺,它通过将信号功率扩散在较宽的频带内,有效降低了海洋环境中干扰信号对通信链路的影响,即便在波涛汹涌、信号易受干扰的海域也能确保通信信号的清晰传输,提升通信的可靠性和稳定性。自适应调制编码技术也发挥着重要作用,该技术能根据海洋环境的变化动态调整调制方式和编码速率,信道条件恶化时自动降低调制阶数和编码速率以减少误码率,信道条件改善时则提高调制阶数和编码速率以充分利用信道资源,提高通信效率^[4]。

结语

综上所述,微波数字通信抗干扰技术在复杂环境中的应用具有重要意义,通过采用扩频技术、纠错编码技术和自适应技术等手段,我们能够有效应对城市密集区、山区和海上等复杂环境下的通信挑战。这些技术的不断发展和完善,将为未来的通信系统提供更加稳定和可靠的通信保障,推动通信技术的持续进步。

参考文献

- [1]邓文林.复杂电磁环境下的雷达抗干扰技术[J].电子技术与软件工程,2020,(05):70-71.
- [2]王莹璇.浅谈卫星通信抗干扰技术[J].中国新通信,2020,22(7):29.
- [3]左玉琦.数字微波通信的优点及其应用研究[J].通信电源技术,2022,39(10):127-129.
- [4]庄礼贤.数字微波通信技术在海上钻井平台的应用研究[J].中国新通信,2024,26(16):1-3.