

超短波通信抗干扰技术探究

杨维周

中华通信系统有限责任公司河北分公司 河北 石家庄 050081

摘要：超短波通信抗干扰技术聚焦于应对复杂电磁环境挑战，关键技术包括跳频通信、滤波与信号处理、发射与接收技术优化及新型抗干扰方法如自适应跳频和混沌跳频。通过综合应用这些技术，可有效提高通信系统的抗干扰能力、保密性和频谱利用效率，保障短距离高速数据传输的稳定性和可靠性。未来，随着无线技术的发展，将不断探索和优化新的抗干扰策略，以适应日益复杂的通信需求。

关键词：超短波通信；干扰问题；抗干扰技术

引言：超短波通信在舰船、航空、军事及移动通信中广泛应用，但其易受电磁干扰影响。本文深入探讨超短波通信抗干扰技术，旨在通过跳频、滤波、信号处理和发射接收优化等策略，提升通信系统的抗干扰能力，确保信号传输的稳定性与可靠性。随着技术的不断进步，探索新型抗干扰技术亦为未来研究重点。

1 超短波通信基本原理

1.1 超短波频段特性

超短波，又称甚高频（VHF），其频段范围大致在30MHz至300MHz之间。这一频段内的电磁波具有独特的传播特性和广泛的应用价值。超短波主要依靠直线传播，其信号在地面的绕射能力较弱，但具备较强的空间传播能力，尤其是在视线范围内（LOS）传输效果尤为显著。此外，超短波信号能够较好地穿透电离层，适用于短距离通信，如舰船间通信、航空导航、移动通信系统以及某些特定场景下的军事通信等。在传播特性上，超短波信号受地面障碍物影响较大，容易因建筑物、山脉等遮挡物形成阴影区，导致信号衰减。同时，由于频率较高，超短波信号的大气衰减也相对较大，尤其是在恶劣天气条件下（如雨、雾、雪等），信号衰减更为显著。然而，超短波信号的带宽较宽，这为高速数据传输提供了可能，使得其在需要大量数据传输的场合具有独特的优势。

1.2 通信系统的基本构成

超短波通信系统主要由发射机、接收机、天线以及传输介质等关键部分构成。发射机负责将低频基带信号通过调制转换为高频信号，并通过天线辐射到空间中。接收机则负责接收空间中的高频信号，经过解调还原成低频基带信号，最终供用户使用。天线作为电磁波辐射和接收的装置，在通信系统中扮演着至关重要的角色，其性能直接影响通信的质量和距离。传输介质在超短波

通信中主要表现为空间波，即通过空气或真空直接传播的电磁波。由于超短波信号主要依赖直线传播，因此传输距离受地球曲率和障碍物影响较大。在实际应用中，常采用中继站或卫星转发等方式来扩展通信距离。

1.3 调制与解调技术

调制与解调是超短波通信中的核心技术之一。调制是将低频基带信号转换为高频信号的过程，以便于信号的传输和接收。解调则是调制的逆过程，即将接收到的高频信号还原为低频基带信号。在超短波通信中，常用的调制方式包括调频（FM）、调幅（AM）和调相（PM）等。调频是超短波通信中最常用的一种调制方式，其通过改变载波信号的频率来传输信息。调频具有抗干扰能力强、信噪比高等优点，尤其适用于噪声环境复杂的通信场合。然而，调频也存在带宽占用较大、设备复杂度较高等缺点。相比之下，调幅和调相在某些特定场合下也具有其独特的应用价值。在解调过程中，接收机需要准确地从接收到的信号中提取出基带信号，这要求解调算法具有较高的精度和稳定性。随着数字信号处理技术的不断发展，现代超短波通信系统普遍采用数字化解调技术，通过数字信号处理芯片（DSP）实现信号的快速解调与恢复，从而进一步提高了通信系统的性能和可靠性。

2 超短波通信中的干扰问题分析

2.1 干扰类型

（1）邻道干扰：邻道干扰是指在相邻信道之间发生的干扰。在频谱资源日益紧张的今天，相邻信道的信号可能会因为频谱泄漏或带宽扩展而相互干扰。这种干扰会导致接收端难以准确分离出目标信号，进而影响通信质量。（2）噪声干扰：噪声干扰是通信系统中最常见的干扰类型之一。它来源于各种自然和人为的噪声源，如宇宙噪声、大气噪声、工业噪声以及通信设备内部的电

子噪声等。噪声干扰会降低信号的信噪比,使得接收端难以从噪声中提取出有效的信号信息。(3)互调干扰:互调干扰是指在多信号环境下,不同频率的信号在传输过程中相互作用,产生新的频率分量,这些新的频率分量可能会干扰到通信系统的正常工作。互调干扰通常发生在非线性器件(如放大器)中,其强度与信号的幅度、频率以及器件的非线性程度有关。(4)阻塞干扰:阻塞干扰是指当强干扰信号进入接收机时,可能导致接收机的前端放大器或混频器等电路饱和或阻塞,从而无法正常接收和处理目标信号。这种干扰不仅会影响通信质量,还可能导致通信中断^[1]。

2.2 干扰成因

(1)电磁环境复杂性:随着无线通信技术的飞速发展,电磁环境变得越来越复杂。各种无线设备、雷达系统、广播电视站等都会产生电磁辐射,形成复杂的电磁场。这些电磁辐射可能会相互干扰,影响超短波通信系统的正常工作。(2)设备性能限制:通信设备本身的性能也是导致干扰的一个重要因素。例如,发射机和接收机的频率稳定性、滤波器的选择性、放大器的线性度等都会影响信号的纯净度和抗干扰能力。设备老化、维护不当或设计缺陷都可能加剧干扰问题。(3)不合理的通信点配置:通信点的选址和布局不合理也是导致干扰的一个原因。如果通信点距离过近或相互之间存在遮挡物,就容易导致信号的相互干扰。此外,不合理的天线方向图和极化方式也可能加剧干扰问题。

2.3 干扰对通信性能的影响

(1)误码率增加:干扰会导致接收端无法准确识别和解码发送端传输的信息,从而增加误码率。误码率的增加会直接影响通信的可靠性和准确性,降低通信质量。(2)通信中断:在严重干扰的情况下,接收机可能无法接收到足够的信号能量来维持通信链路的稳定运行,从而导致通信中断。这对于需要连续稳定通信的场合来说,是不可接受的。(3)保密性降低:干扰还可能对通信系统的保密性产生负面影响。例如,在某些情况下,干扰信号可能会被恶意利用来掩盖或伪装真正的通信内容,从而增加通信被窃听或篡改的风险。此外,一些先进的干扰技术还可能直接针对加密算法进行攻击,降低通信的保密性。

3 超短波通信抗干扰技术研究

3.1 跳频通信技术

(1)跳频通信的基本原理及优点。跳频通信是一种通过伪随机方式快速改变载波频率来躲避干扰的通信技术。在通信过程中,发射机和接收机按照预定的跳频图

案(或称频率表)同步改变载波频率,使得干扰方难以预测和跟踪信号频率,从而达到抗干扰的目的。跳频通信具有抗干扰能力强、频谱利用率高、通信保密性好等优点。它能够有效应对各种类型的干扰,包括连续波干扰、窄带干扰、部分频带干扰等,并能在一定程度上抵抗多径干扰和衰落效应。(2)跳频图案设计与生成算法。跳频图案是跳频通信的核心要素,其设计直接影响到通信系统的抗干扰性能和频谱利用效率。一个好的跳频图案应具备随机性好、周期长、各频点使用概率均衡等特点。常见的跳频图案设计算法包括基于伪随机序列(如m序列、Gold序列)的算法、基于混沌理论的算法以及基于遗传算法、神经网络等智能优化算法的算法。这些算法通过不同的方式生成具有优良特性的跳频图案,以满足不同应用场景的需求。(3)同步技术:同步方案设计、性能评估。跳频通信中的同步问题是决定系统性能的关键因素之一。同步方案的设计需要确保发射机和接收机能够准确、快速地同步到相同的跳频图案上。常见的同步方案包括基于定时信号的同步方案、基于数据辅助的同步方案和基于盲同步的同步方案。在实际应用中,还需要对同步方案的性能进行评估,包括同步时间、同步准确度、同步稳定性等指标。通过优化同步方案的设计和同步算法的性能,可以进一步提高跳频通信系统的抗干扰能力和通信效率^[2]。(4)认知无线电在跳频通信中的应用。认知无线电是一种具有自主学习和决策能力的智能无线通信技术。它能够感知周围电磁环境的变化,并根据环境特征动态调整传输参数(如频率、功率、调制方式等),以实现与环境的最佳匹配。在跳频通信中引入认知无线电技术,可以使得系统能够实时监测干扰信号的特征和变化规律,并据此动态调整跳频图案和传输参数,以避免干扰频点和优化频谱资源利用。认知无线电的应用将大大提升跳频通信系统的适应性和抗干扰能力。

3.2 滤波与信号处理技术

(1)滤波器设计与应用。滤波器是信号处理中的重要组件,用于滤除信号中的干扰成分和噪声。在超短波通信中,常用的滤波器包括螺旋式滤波器、带通滤波器、陷波滤波器等。这些滤波器通过不同的频率响应特性来滤除特定频段的干扰信号或噪声。滤波器的设计需要考虑滤波器的类型、阶数、带宽、阻带衰减等指标,以确保滤波器能够有效地抑制干扰并保留有用信号。此外,随着数字信号处理技术的发展,数字滤波器也逐渐在超短波通信中得到了广泛应用。(2)信号处理技术(如限幅器、鉴频器等)在抗干扰中的应用。除了滤波

器外, 还有各种信号处理技术可以用于提高超短波通信的抗干扰能力。例如, 限幅器可以限制信号幅度的大小以防止过载和失真; 鉴频器则可以准确地提取出信号的频率信息以进行解调处理。这些信号处理技术通过不同的方式改善信号的质量并抑制干扰信号的影响。在实际应用中, 可以根据通信系统的具体需求和电磁环境的特点来选择合适的信号处理技术和方法。

3.3 发射与接收技术优化

(1) 提高发射机功率和接收机选择性。提高发射机的发射功率可以增强信号的传播距离和穿透能力, 从而在一定程度上抵抗路径损耗和干扰信号的影响。然而, 过高的发射功率也会增加电磁辐射和能耗。因此, 在实际应用中需要综合考虑发射功率和电磁兼容性等因素来确定合适的发射功率。同时, 提高接收机的选择性也是提高抗干扰能力的重要手段之一。接收机的选择性越好, 就越能从复杂的电磁环境中分离出有用的信号并抑制干扰信号的影响。这可以通过优化接收机的前端电路设计和采用先进的信号处理技术来实现。(2) 采用大功率放大器和滤波器减少干扰。在发射机端采用大功率放大器可以增强信号的发射功率并改善信号的传输特性。然而, 大功率放大器在工作过程中会产生一定的带外辐射和非线性失真等问题。为了减少这些影响并提高信号的纯净度, 可以在放大器之后添加滤波器来滤除带外辐射和非线性失真成分。同时, 也可以在接收机端采用类似的滤波器来进一步抑制干扰信号的影响。通过合理选择和使用大功率放大器和滤波器等组件可以显著提高超短波通信系统的抗干扰能力^[1]。

3.4 新型抗干扰技术探索

(1) 自适应跳频技术。自适应跳频技术是在传统跳频通信技术基础上的一种升级, 其核心在于实时监测和分析通信环境中的干扰情况, 并据此动态调整跳频图案。该技术利用先进的频谱感知算法和智能决策机制, 能够快速识别出高干扰频点, 并自动选择低干扰的频点进行通信。这样不仅能够有效降低被干扰的风险, 还能提高频谱的利用效率。此外, 自适应跳频技术还能根据

通信需求和网络状况, 灵活地调整跳频速度和跳频图案的复杂度, 以适应不同的应用场景。(2) 混沌跳频技术。混沌跳频技术则是利用混沌系统的非线性和不可预测性来生成跳频图案。混沌系统产生的序列具有极高的复杂度和难以预测性, 使得基于混沌序列的跳频图案几乎无法被敌方破解和预测。这种技术不仅可以显著提高通信的保密性和抗干扰能力, 还能为通信双方提供更大的跳频范围和更多的通信机会。然而, 混沌跳频技术的实现相对复杂, 需要精确的混沌系统建模和高效的混沌序列生成算法支持。(3) 多天线技术(MIMO)在抗干扰中的应用。MIMO技术在抗干扰领域发挥关键作用, 通过空间分集实现信号冗余传输, 确保至少一路信号免受干扰, 增强通信稳健性; 空间复用则在不增加资源消耗前提下, 提升数据传输速率与频谱使用效率, 同时减少流间干扰, 优化整体通信质量。此外, MIMO还擅长于干扰抑制, 其多天线阵列能捕捉并解析空间中的干扰特征, 运用盲源分离或自适应波束赋形等先进技术, 精确识别和压制干扰源, 从而显著提升信号信噪比与接收纯净度, 确保在复杂电磁环境中仍能维持高效、清晰的通信链路, 为现代无线通信提供强有力的抗干扰保障。

结束语

综上所述, 超短波通信抗干扰技术的研究与应用, 是应对现代复杂电磁环境挑战的重要手段。本文通过对多种抗干扰技术的深入剖析, 展示了其在提高通信稳定性和可靠性方面的显著成效。展望未来, 随着科技的不断进步和创新, 我们期待看到更多高效的抗干扰技术涌现, 为超短波通信的广泛应用提供更加坚实的保障, 进一步推动通信领域的繁荣发展。

参考文献

- [1]周芸.关于超短波无线电通信抗干扰技术发展趋势研究[J].数字通信世界,2020(11):131-132.
- [2]王丽英.关于超短波无线电通信抗干扰技术发展趋势研究[J].通讯世界,2020,27(01):66-67.
- [3]刘佳.论超短波无线电通信抗干扰技术发展趋势[J].山东工业技术,2018(02):117-118.