

卫星通信系统中抗干扰与抗截获技术研究

赵柄钧 谷素利

石家庄诺通人力资源有限公司 河北 石家庄 050000

摘要：在当今全球化、信息化的时代，卫星通信系统凭借其覆盖范围广、通信容量大等优势，成为信息传递的重要支柱。文章针对卫星通信系统的抗干扰与抗截获技术展开研究。开篇对相关技术予以概述，接着详细阐述抗干扰技术，如扩频技术里的直接序列扩频、跳频扩频，编码调制技术中的纠错编码、先进调制方式，以及智能天线技术的自适应波束形成和多输入多输出技术等。抗截获技术方面，介绍了低截获概率信号设计、跳频技术在抗截获中的应用及加密技术。最后对技术未来新兴融合、智能化及协同发展的趋势进行分析，为卫星通信安全保障提供参考。

关键词：卫星通信系统；抗干扰；抗截获；技术研究

引言：在信息时代，卫星通信以其独特优势，广泛服务于地区、民用通信等诸多领域。但当下复杂的电磁环境，使卫星通信遭遇严峻挑战。恶意干扰易使通信受阻，信号截获则可能引发严重信息泄露，无论是关乎区域安全的移动通信，还是涉及大众生活的民用通信，都面临巨大风险。为确保卫星通信的稳定、安全运行，深入探究抗干扰与抗截获技术迫在眉睫，对卫星通信的持续发展意义非凡。

1 卫星通信系统中抗干扰与抗截获技术概述

在卫星通信系统中，抗干扰与抗截获技术是确保通信稳定与安全的关键要素。卫星通信凭借其覆盖范围广、通信容量大、传输距离远等优势，在全球信息交互中扮演着核心角色。然而，其工作频段易受多种干扰源影响，如自然界的太阳黑子活动产生的电磁干扰，人为的恶意干扰信号等，这些干扰会导致通信质量下降甚至中断。与此同时，卫星通信信号在空中传播，面临着被截获的风险。一旦信号被敌方截获，敏感信息泄露，可能引发严重后果，尤其在金融等关键领域。抗干扰技术旨在增强卫星通信系统抵御各类干扰的能力，通过改变信号特性、优化通信链路等方式，维持通信的连续性与可靠性。而抗截获技术着重于降低信号被敌方截获的概率，对信号进行特殊设计、加密处理等，使敌方难以获取有效信息。这两类技术相辅相成，共同为卫星通信系统构筑起坚固的安全防线，是保障卫星通信在复杂电磁环境下正常运行的基石^[1]。

2 卫星通信系统中的抗干扰技术

2.1 扩频技术

2.1.1 直接序列扩频（DSSS）

直接序列扩频是一种重要的抗干扰技术。其原理是将待传输的信息数据与高速伪随机码进行模二加，使信

号带宽远大于原始信息带宽。在卫星通信中，DSSS 通过伪随机码的扩频调制，把信号能量均匀分散在较宽频带上。这样一来，窄带干扰只能影响扩频信号的一小部分频谱，对整体通信影响甚微。例如在某区域卫星通信中，面对敌方针对性的窄带干扰，DSSS 技术可确保通信的持续稳定。它具有较强的抗干扰能力、较高的保密性，能有效提升卫星通信的可靠性，即使在复杂电磁环境下，也能保障信息的准确传输。

2.1.2 跳频扩频（FHSS）

跳频扩频技术在卫星通信抗干扰领域同样发挥着关键作用。该技术使载波频率按照特定的跳频图案，在给定的频带内快速跳变。发送端与接收端依据预先设定且同步的跳频序列，在不同时刻使用不同频率进行通信。在卫星通信时，敌方干扰设备难以跟踪快速跳变的频率，从而大幅降低干扰效果。比如在民用卫星通信中，当遇到局部电磁干扰时，FHSS 技术能及时调整通信频率避开干扰频段。它灵活性高，可有效应对多种干扰场景，并且跳频图案的多样性也增加了信号的保密性，为卫星通信提供了可靠的抗干扰保障。

2.2 编码调制技术

2.2.1 纠错编码

纠错编码是卫星通信中保障数据准确性的关键技术。其原理是在发送端对原始信息添加冗余码元，接收端利用这些冗余信息来检测和纠正传输过程中产生的错误。在卫星通信复杂的传输环境下，信号易受噪声、干扰等影响发生误码，纠错编码可显著提升通信可靠性。例如在卫星电视信号传输中，采用纠错编码后，即便信号在传播过程中受到部分干扰，接收端仍能通过解码算法还原出正确图像和声音。常见的纠错编码如卷积码、Turbo 码等，它们依据不同场景和需求，在提升纠错能力

的同时,尽可能减少冗余码元带来的传输效率损耗,有效确保卫星通信数据的完整与准确。

2.2.2 先进调制方式

先进调制方式为卫星通信带来更高频谱效率与抗干扰性能。随着卫星通信业务量的增长,传统调制方式难以满足需求,先进调制方式应运而生。像正交幅度调制(QAM),通过调整载波的幅度和相位携带更多信息,在相同带宽下传输更高数据速率。在卫星宽带通信中,高阶QAM调制可实现高速率数据传输,提升用户体验。同时,多进制相移键控(MPSK)等调制方式在抗干扰方面表现出色,通过改变载波相位来传递信息,能有效降低误码率。这些先进调制方式适应卫星通信对高效、稳定传输的要求,助力卫星通信系统在有限频谱资源下实现更优质的通信服务,满足日益增长的通信需求。

2.3 智能天线技术

2.3.1 自适应波束形成

自适应波束形成是智能天线技术的关键部分,基于阵列信号处理理论运作。它借助天线阵列各单元的空间分布,实时分析接收信号强度与方向,动态调整天线阵列方向。通过计算阵列输出协方差矩阵,获取目标信号方向信息,再依据目标信号特性,像多径效应、噪声水平等,优化波束形成器权值,将高增益主瓣精准对准有用信号方向,同时在干扰信号方向形成零陷,抑制干扰。例如在卫星通信地面站,面对复杂电磁环境,自适应波束形成能自动调整波束,增强卫星信号接收,降低周边干扰,显著提升通信质量与可靠性。

2.3.2 多输入多输出(MIMO)技术

多输入多输出(MIMO)技术在卫星通信领域展现出强大效能。该技术利用卫星和地面终端的多个天线,在相同时间和频率资源上同时传输多个数据流。在发送端,不同天线发射经过编码和调制的独立信号;接收端通过先进的算法分离并解码这些信号。在卫星宽带通信中,MIMO技术可大幅提升信道容量,提高数据传输速率。如偏远地区的卫星互联网接入,借助MIMO技术,用户能享受到更快的网络速度。同时,多个天线间的空间分集特性增强了系统抗衰落能力,即便部分链路受干扰或信号衰减,其他链路仍可维持通信。它有效提升卫星通信的频谱效率和可靠性,是推动卫星通信向高速、稳定方向发展的关键技术之一^[2]。

3 卫星通信系统中的抗截获技术

3.1 低截获概率信号设计

3.1.1 独特波形构造策略

独特波形构造是低截获概率信号设计的关键。以正

弦调频(SFM)波形为例,它利用正弦函数调制载波频率,在卫星通信中,这种波形可将能量分散于较宽频带,使信号频谱呈不规则分布,敌方截获设备难以精准探测。还有双相编码(BPC)波形,通过对二进制码进行相位调制,生成复杂相位序列,信号在时域上特征模糊,即便处于复杂电磁干扰环境,也能降低被截获风险,有效保障卫星通信信号的隐蔽性。

3.1.2 信号参数动态调整手段

信号参数动态调整能显著增强抗截获能力。比如信号脉冲幅度,可依据预设算法在一定范围内随机起伏,传统固定幅度信号易被截获设备锁定,而随机幅度变化让其检测难度大增。信号的相位也能实时调整,在卫星通信链路中,通过快速改变相位,打乱敌方基于固定相位特征的截获计划,使信号在传输过程中始终保持难以被截获的状态,确保卫星通信信息安全传输。

3.2 跳频技术在抗截获中的应用

3.2.1 跳频图案设计

跳频图案设计堪称跳频技术抗截获的核心环节。理想的跳频图案需具备高度的不可预测性,它像是给卫星通信信号规划了一条随机且复杂的“频率之路”。比如利用混沌算法生成的跳频图案,混沌系统的初值哪怕仅有极细微变动,产生的跳频序列也会全然不同。这就使得敌方截获设备面对信号时,如同置身迷宫,难以探寻频率跳变规律。而且,优质跳频图案的良好自相关性助力接收端精准识别信号,互相关性则有效降低不同用户间干扰,全方位提升抗截获能力。

3.2.2 快速跳频

快速跳频是提升卫星通信抗截获能力的有力手段。该技术使卫星通信系统在极短时间内完成载波频率跳变。跳频速度越快,敌方截获设备跟踪信号的难度就越大。比如在面对敌方针对性的跟踪干扰时,快速跳频能迅速切换频率,让干扰设备来不及做出反应。以现代区域卫星通信为例,其跳频速率可达每秒数千次甚至更高,使敌方截获信号的概率大幅降低。同时,快速跳频还能有效躲避突发的窄带干扰,提高通信的可靠性。在民用卫星通信领域,快速跳频可应对复杂电磁环境中的瞬间干扰,保障通信的稳定,提升卫星通信系统在抗截获和抗干扰方面的综合性能。

3.3 加密技术

3.3.1 对称加密算法

对称加密算法在卫星通信加密中占据重要地位。其原理是加密和解密使用同一密钥。发送端用密钥将原始信息打乱加密,接收端凭借相同密钥还原信息。常见的

如高级加密标准 (AES)，它加密速度快、效率高，在处理大量卫星通信数据时优势显著。在卫星电视广播传输中，对称加密算法可保障节目内容不被非法截获和盗用。由于加密和解密过程简单直接，能在有限计算资源的卫星设备上高效运行。但该算法的密钥管理较为复杂，通信双方需提前安全共享密钥，一旦密钥泄露，信息安全将受到严重威胁。不过通过密钥分发中心等机制，可在一定程度上保障密钥安全，为卫星通信的信息加密提供基础支撑。

3.3.2 非对称加密算法

非对称加密算法为卫星通信安全增添有力保障。它拥有公钥和私钥一对密钥，公钥可公开传播，私钥由用户妥善保管。发送端用接收方公钥加密信息，接收方用私钥解密。像 RSA 算法就广泛应用于卫星通信领域。在区域卫星通信中，非对称加密算法用于对机要情报的加密传输，即便公钥被敌方获取，因无法知晓私钥，也难以破解信息。其优势在于密钥分发便捷，无需像对称加密那样提前共享密钥。但非对称加密算法计算复杂度高，加密和解密速度相对较慢^[3]。

4 抗干扰与抗截获技术的发展趋势

4.1 新兴技术的融合

新兴技术融合是卫星通信抗干扰与抗截获技术发展的重要趋势。量子通信、人工智能、区块链等前沿技术正与传统抗干扰、抗截获技术相互渗透。例如，量子密钥分发技术可与加密算法结合，利用量子态的不可克隆性提供绝对安全的密钥，极大增强信息加密强度，使信号难以被截获破解。人工智能技术能够实时分析卫星通信中的干扰信号特征，智能调整抗干扰策略，如优化扩频序列、自适应波束形成参数等。区块链技术则可用于构建分布式、不可篡改的密钥管理系统，保障密钥分发与存储安全。

4.2 智能化发展

随着机器学习、深度学习算法的成熟应用，卫星通信系统能够自主学习不同干扰场景与截获威胁模式。通过对大量历史数据的分析，系统可提前预测干扰与截获

风险，自动调整通信参数。比如智能天线系统借助人工智能算法，能在毫秒级时间内识别干扰源方向，快速形成自适应波束抑制干扰。在抗截获方面，智能化的信号处理技术可实时监测信号特征，动态调整信号波形、功率等，降低被截获概率。这种智能化发展赋予卫星通信系统更强的自主决策和自适应能力，有效应对日益复杂多变的电磁环境，保障通信稳定与安全。

4.3 协同抗干扰与抗截获

在抗干扰方面，多颗卫星可共享干扰信息，联合调整通信策略，如多星同时采用不同扩频序列，对同一干扰源进行协同压制。地面基站也能辅助卫星进行干扰检测与定位，引导卫星优化波束指向。在抗截获上，各通信节点协同加密，通过分布式密钥管理，即使部分节点密钥泄露，整体通信安全仍可保障。这种协同机制整合了各方资源，形成全方位、多层次的防护体系，大幅提升卫星通信系统的抗干扰与抗截获性能，适应未来复杂通信环境的需求^[4]。

结束语

卫星通信系统中的抗干扰与抗截获技术，作为保障通信安全与稳定的基石，在复杂电磁环境下愈发重要。文中探讨的扩频、编码调制、智能天线等抗干扰技术，以及低截获概率信号设计、跳频、加密等抗截获技术，已在不同程度上提升了卫星通信的安全性。如今，新兴技术融合、智能化发展以及协同抗干扰与抗截获成为趋势，为该领域带来新契机。

参考文献

- [1]张任楠,王志涛.卫星通信抗干扰技术及其发展趋势分析[J].数字通信世界.2020(09)
- [2]张旭.卫星广播电视频段抗干扰信号技术的应用[J].卫星电视与宽带多媒体.2020(04)
- [3]张任楠,王志涛.卫星通信抗干扰技术及其发展趋势分析[J].数字通信世界,2020(09):79-80.
- [4]张旭.卫星广播电视频段抗干扰信号技术的应用[J].卫星电视与宽带多媒体,2020(04):17+19.