

# 卫星通信系统中抗干扰与抗截获技术研究

陈鑫

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:** 卫星通信系统由空间段、地面段和用户段组成, 面临干扰与截获的威胁。抗干扰技术包括扩频技术、自适应调零天线技术和编码与交织技术, 可提高通信系统的抗干扰能力。抗截获技术则采用加密技术、低截获概率信号设计和信号伪装与隐蔽传输技术, 确保通信内容的安全性和保密性。

**关键词:** 卫星通信系统; 抗干扰; 抗截获技术; 研究

引言: 卫星通信系统作为现代通信的关键组成部分, 面临着干扰与截获的严峻挑战。为确保通信信号的质量与安全, 抗干扰与抗截获技术显得尤为重要。本文将深入探讨扩频技术、自适应调零天线技术、编码与交织技术等抗干扰技术, 以及加密技术、低截获概率信号设计、信号伪装与隐蔽传输技术等抗截获技术, 为卫星通信系统的安全防护提供有力支持。

## 1 卫星通信系统概述

卫星通信系统, 作为现代通信技术的重要组成部分, 以其独特的覆盖范围和通信能力, 在全球范围内得到了广泛应用。该系统主要由空间段、地面段和用户段三大部分组成, 各部分相互协作, 共同实现了信息的远距离、高效、稳定传输。(1) 空间段, 即通信卫星, 是卫星通信系统的“天空桥梁”。卫星被发射到地球轨道上, 运行在高度稳定的轨道上, 作为中继站接收和转发信号。卫星上装备有高性能的天线系统、转发器、电源系统等关键设备。天线系统负责接收来自地面段或用户段的上行信号, 并将其准确地发射到目标地面段或用户段; 转发器则对接收到的信号进行放大、变频等处理, 以确保信号的质量; 电源系统为卫星上的所有设备提供稳定的电力支持。(2) 地面段, 通常称为地球站, 是卫星通信系统与地面用户之间的连接纽带。地球站负责将用户的信息进行编码、调制等处理后, 通过天线发射给卫星。同时, 它也接收卫星转发下来的信号, 进行解调、解码等处理后, 传递给用户。地球站还承担着对卫星的测控和管理任务, 确保卫星的正常运行和通信服务的连续性。(3) 用户段则是指使用卫星通信服务的各类用户终端, 如卫星电话、卫星宽带接入设备、移动卫星终端等。用户通过这些终端设备与地球站或卫星进行通信, 实现信息的发送和接收。用户段的设备多样化, 满足了不同用户在不同场景下的通信需求。(4) 卫星通信的工作频段主要包括C频段、Ku频段和Ka频段等。C频段

(4-8GHz) 是卫星通信中最常用的频段之一, 其覆盖范围广, 传输性能稳定, 适用于广播、电视、远程教育等广泛应用场景。Ku频段(12-18GHz) 具有更高的频率和带宽, 能够支持更高的数据传输速率, 适用于高速互联网接入、视频会议等高带宽需求场景。Ku频段的波束较窄, 抗干扰能力强, 适用于密集城市区域的通信。Ka频段(26.5-40GHz) 的频率更高, 带宽更宽, 但受天气和大气层影响较大。它适用于需要极高带宽的通信场景, 如城市间的宽带互联、高清视频传输等。然而, 由于Ka频段信号易受雨衰等天气因素影响, 因此在选择使用时需要充分考虑环境因素<sup>[1]</sup>。

## 2 干扰与截获对卫星通信系统的影响

### 2.1 干扰的影响

干扰是卫星通信系统中一个不可忽视的问题, 它对通信信号的质量产生严重影响。常见的干扰类型包括压制式干扰和欺骗式干扰, 它们以不同的方式破坏通信信号的传输。(1) 压制式干扰是一种通过发射强功率信号来掩盖或压制有用信号的方法。这种干扰信号通常具有较宽的频谱, 能够覆盖卫星通信信号的频段, 使得接收机在接收有用信号时同时接收到大量的干扰信号。这会导致接收机的信噪比(SNR)显著降低, 信号质量恶化。具体表现为信号衰减、误码率增加。信号衰减使得接收端接收到的信号强度减弱, 难以准确解码; 误码率增加则导致数据传输过程中出现大量错误, 严重时甚至可能导致通信中断。在卫星通信中, 通信中断意味着信息无法及时传递, 对于依赖卫星通信进行远程数据传输、应急通信等应用的场景来说, 这将造成极大的不便和损失。(2) 欺骗式干扰则是一种更为隐蔽的干扰方式。它通过模拟有用信号的特征, 如频率、调制方式、编码格式等, 生成与有用信号相似的假信号, 并将其发送给接收端。接收端在无法区分真假信号的情况下, 可能会将假信号当作有用信号处理, 从而导致数据传输错

误。欺骗式干扰的破坏性在于它不仅能够破坏通信的完整性，还能够使接收方在不知情的情况下接收并处理错误的信息，这对依赖于准确数据传输的应用来说是非常危险的。（3）无论是压制式干扰还是欺骗式干扰，它们都会对卫星通信信号的质量产生严重影响，进而导致通信中断、数据传输错误等问题。这些问题不仅影响了通信的效率和可靠性，还可能对依赖卫星通信进行关键业务运营的组织造成重大损失。

## 2.2 截获的影响

截获是另一种对卫星通信系统构成威胁的因素。截获通信信号可能导致通信内容被窃取、信息泄露，从而破坏通信的保密性和完整性。（1）在卫星通信中，通信信号在传输过程中是开放的，这使得非授权方有可能通过技术手段截获通信信号。一旦通信信号被截获，非授权方就可以对通信内容进行解密和分析，从而获取敏感信息或商业机密。对于企业和组织来说，信息泄露可能导致竞争优势丧失、客户信任度下降等严重后果。特别是在商业竞争日益激烈的今天，保护通信内容的保密性和完整性对于维护企业的核心竞争力至关重要。（2）截获通信信号还可能对通信系统的完整性造成破坏。非授权方在截获通信信号后，可能会对信号进行篡改或注入恶意内容，然后再将篡改后的信号发送给接收端。这将导致接收端接收到错误或恶意的信息，对通信系统的正常运行和可靠性构成严重威胁。

## 2.3 干扰与截获的现实威胁分析

结合当前国际形势和通信技术发展，干扰与截获技术在实际应用中的潜在威胁日益凸显。（1）在全球化背景下，卫星通信系统已成为国际间信息交流的重要渠道。然而，随着国际关系的复杂化和多极化趋势的加强，一些国家或组织可能出于政治、经济目的，利用干扰和截获技术对他国的卫星通信系统进行破坏或窃取信息。这种行为不仅违反了国际法和国际准则，也对全球信息流通的稳定性和安全性构成了严重威胁。（2）随着通信技术的不断发展，干扰和截获手段也越来越先进和隐蔽。例如，一些新型的干扰设备能够针对特定的卫星通信频段和调制方式进行精准干扰，使得接收机难以有效抵抗。而截获技术也在不断发展，一些高级的截获设备能够截获并解密加密的通信信号，对通信内容的保密性构成严重威胁。（3）面对干扰与截获的现实威胁，我们必须加强卫星通信系统的安全防护措施。一方面，要提高通信信号的抗干扰能力和保密性，采用先进的加密技术和抗干扰技术来保护通信内容的安全和完整。另一方面，要加强监测和预警机制，及时发现并应对干扰和

截获行为，确保卫星通信系统的稳定运行<sup>[2]</sup>。

## 3 抗干扰技术研究

### 3.1 扩频技术

扩频技术是一种通过扩展信号频谱来提高抗干扰能力的有效手段。其基本原理是将原始信息的频谱扩展到远大于信息本身带宽的频带上进行传输。这样，即使干扰信号的频谱与有用信号的频谱部分重叠，由于有用信号的能量被分散在较宽的频带上，干扰信号对有用信号的影响也会大大降低。（1）直接序列扩频（DSSS）和跳频扩频（FHSS）是扩频技术中的两种典型方式。DSSS通过将原始信息与一个高速率的伪随机序列相乘，实现频谱的扩展。这个伪随机序列具有良好的自相关性和互相关性，能够在接收端准确还原原始信息，同时有效抵抗窄带干扰。而FHSS则是通过不断改变通信频率，使有用信号在多个频率上跳变，从而避免干扰信号的持续影响，特别适用于抵抗频率选择性干扰。（2）在卫星通信系统中，扩频技术得到了广泛应用。例如，在商业卫星通信网络中，采用DSSS技术可以提高系统的抗干扰能力，使系统能够在复杂的电磁环境下稳定工作。同时，扩频技术还具有多址接入的能力，可以实现多个用户同时通信，提高卫星通信系统的通信容量和频谱利用率。此外，扩频技术还可以与加密技术结合使用，进一步提高通信系统的安全性。

### 3.2 自适应调零天线技术

自适应调零天线技术是一种通过调整天线方向图来降低干扰信号影响的技术。其工作原理是，天线系统根据接收到的信号和干扰情况，自适应地调整天线阵列的权值，使得天线方向图的零点对准干扰源方向，从而有效降低干扰信号的接收功率。在复杂电磁环境下，自适应调零天线技术能够实时地跟踪干扰源的变化，动态地调整天线方向图，确保通信信号的正常接收。这种技术特别适用于卫星通信系统，因为卫星通信信号在传输过程中需要经过长距离的空间传播，容易受到各种干扰的影响。通过采用自适应调零天线技术，可以显著提高卫星通信系统的抗干扰能力，提高通信质量和稳定性。

### 3.3 编码与交织技术

在复杂多变的通信环境中，编码与交织技术成为提升通信系统抗干扰能力的有力武器。

先说编码技术，它通过在发送数据里添加冗余信息，实现错误检测与纠正。拿生活中常见的条形码举例，条形码附带的校验码就运用了编码原理，扫描时一旦数据有误，就能被快速识别。在通信领域，里德-所罗门码凭借出色的纠错能力，在数字存储和深空通信等场

景中广泛应用。交织技术，巧妙改变数据传输顺序。以一场马拉松比赛作比，原本队友集中起跑，若途中突发意外，可能造成队伍严重损失。而交织就像是让选手分散起跑，降低意外带来的影响。在通信时，交织把连续的错误分散，结合编码技术，使接收端可以高效恢复数据，从而显著增强系统的抗干扰性能。

#### 4 抗截获技术研究

##### 4.1 加密技术

加密技术是卫星通信抗截获中的核心手段。它通过对通信信号进行加密处理，使得即使信号被截获，敌方也难以破解其内容。加密技术主要分为对称加密算法和非对称加密算法两大类。（1）对称加密算法，如高级加密标准（AES），采用相同的密钥对信号进行加密和解密。这种算法具有加密速度快、效率高的优点，适用于大量数据的实时加密传输。在卫星通信中，AES等对称加密算法被广泛应用于保护通信内容的机密性，确保信号在传输过程中不被窃取或篡改。（2）非对称加密算法，如RSA算法，则使用一对密钥（公钥和私钥）进行加密和解密。公钥用于加密信号，而私钥用于解密信号。这种算法的安全性基于大数分解等数学难题，具有极高的安全性。在卫星通信中，非对称加密算法常用于密钥交换和数字签名等场景，确保通信双方的身份认证和信息安全。（3）加密技术通过复杂的算法和密钥管理，使得通信信号在传输过程中变得难以破解。即使信号被截获，敌方也需要花费大量时间和资源来破解加密算法，从而有效保护了通信内容的安全性。

##### 4.2 低截获概率信号设计

低截获概率信号设计是一种通过改变信号特性来降低其被截获可能性的技术。它主要采用特殊的信号调制方式、波形设计等手段，使得信号在传输过程中难以被敌方检测和识别。例如，通过采用扩频技术中的跳频方式，信号可以在多个频率之间快速跳变，使得敌方难以锁定和截获信号。同时，通过设计具有低峰值功率和宽频谱特性的信号波形，可以降低信号被敌方探测器检测

到的概率。低截获概率信号设计在卫星通信中具有广泛的应用前景。它不仅可以提高通信系统的安全性，还可以降低信号被干扰和截获的风险。随着通信技术的不断发展，低截获概率信号设计将成为卫星通信抗截获领域的重要研究方向。

##### 4.3 信号伪装与隐蔽传输技术

信号伪装与隐蔽传输技术是一种通过隐藏通信信号来降低其被截获可能性的技术。它可以将通信信号隐藏在噪声或其他信号中，或者采用隐蔽的通信协议进行传输。例如，通过将通信信号与噪声信号混合传输，可以使得信号在频谱上难以被区分和识别。同时，采用隐蔽的通信协议和编码方式，可以使得信号在传输过程中具有更高的隐蔽性和安全性。信号伪装与隐蔽传输技术在保障卫星通信安全中发挥着重要作用。它不仅可以提高通信系统的抗截获能力，还可以降低信号被敌方检测和攻击的风险。随着通信技术的不断进步和创新，信号伪装与隐蔽传输技术将在卫星通信抗截获领域发挥更加重要的作用<sup>[4]</sup>。

#### 结束语

卫星通信系统的安全与稳定至关重要，干扰与截获技术对其构成了严峻挑战。通过深入研究抗干扰与抗截获技术，如扩频技术、自适应调零天线技术、编码与交织技术，以及加密技术、低截获概率信号设计、信号伪装与隐蔽传输技术等，我们可以有效提升卫星通信系统的安全性和可靠性，保障信息的高效、稳定、安全传输。

#### 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):179-180.
- [2]刘荣斌.卫星通信抗干扰技术的发展及应用研究[J].电子元器件与信息技术,2020,4(12):141-143
- [3]吴必旗,宋颖.卫星通信系统中功率控制的设计分析[J].无线互联科技,2020,17(19):9-10.
- [4]杨仁庆,杨清森,许陵,陈涛.卫星通信系统中功率控制的设计实现[J].数字通信世界,2019(12):111-112.