

卫星通信系统中的抗干扰与抗衰落技术研究

许冬星

辽宁聚焦工业流体科学研究院 辽宁沈阳

【摘要】 卫星通信在现代通信领域占据重要地位，但其易受干扰与衰落影响。聚焦卫星通信系统，深入探讨抗干扰与抗衰落技术。剖析干扰与衰落的成因及对系统性能的影响，详细阐述扩频通信、自适应天线等抗干扰技术，以及分集接收、信道编码等抗衰落技术的原理与实现方式。通过技术原理的深入分析，展现各类技术提升卫星通信系统稳定性与可靠性的作用机制，为保障卫星通信高效运行提供理论与技术参考。

【关键词】 卫星通信；抗干扰技术；抗衰落技术；扩频通信；分集接收

【收稿日期】 2025 年 5 月 14 日

【出刊日期】 2025 年 6 月 5 日

【DOI】 10.12208/j.jer.20250266

Research on anti-jamming and anti-decay technology in satellite communication system

Dongxing Xu

Liaoning Focus Industrial Fluid Science Research Institute, Shenyang, Liaoning

【Abstract】 Satellite communication holds a significant position in the modern communications domain, yet it is susceptible to interference and fading. Focusing on satellite communication systems, this paper delves into anti-interference and anti-fading technologies. It analyzes the causes of interference and fading and their impact on system performance, detailing spread spectrum communication and adaptive antenna techniques for interference resistance, as well as diversity reception and channel coding methods for fading resistance. Through an in-depth analysis of these technical principles, the paper illustrates how various technologies enhance the stability and reliability of satellite communication systems, providing theoretical and technical references to ensure efficient satellite communication operations.

【Keywords】 Satellite communication; Anti-jamming technology; Anti-decay technology; Spread spectrum communication; Diversity reception

引言

在全球化信息交互需求激增的背景下，卫星通信凭借覆盖范围广、传输距离远等优势，成为现代通信网络的关键组成部分。无论是偏远地区的网络覆盖，还是海上、空中的通信保障，卫星通信都发挥着不可替代的作用。复杂的空间环境与电磁环境，使得卫星通信系统面临着严重的干扰与衰落问题，这些问题直接威胁通信链路的稳定性与信息传输的完整性。如何有效提升卫星通信系统的抗干扰与抗衰落能力，成为亟待解决的关键课题。

1 干扰衰落问题

自然干扰方面，太阳黑子活动堪称宇宙中最具破坏力的“演奏家”。当太阳黑子活动剧烈时，太阳如同一个能量爆棚的熔炉，向外释放大量高能粒子。这些高能粒子长途跋涉，闯入地球电离层，引发电离层的剧烈骚动。电离层作为卫星通信信号传输的重要介质，一旦

受到扰动，就会对卫星通信频段信号产生强烈干扰。想象一下，原本顺畅传输的信号如同在汹涌波涛中颠簸的小船，难以稳定前行。电离层闪烁现象也不容小觑。

人为干扰同样给卫星通信带来诸多困扰。恶意干扰者如同隐藏在暗处的破坏分子，出于各种目的，通过发射大功率干扰信号，试图扰乱正常通信秩序。他们的干扰信号如同突然闯入通信频段的“噪音”，掩盖了正常信号，使通信无法正常进行。而同频干扰则源于频谱资源的稀缺性^[1]。在有限的频谱资源下，多个通信系统如同争夺舞台的表演者，当它们使用相同频段时，相互之间的信号就会产生冲突与干扰，导致通信质量受到影响。

衰落现象同样是卫星通信的“拦路虎”，其背后的影响因素众多，大气环境和多径效应是其中的关键角色。大气中弥漫着各种气体分子，云雾雨滴也时常出现，它们如同信号传输途中的“吞噬者”和“散射

者”。当卫星信号穿过大气时,气体分子会吸收信号的能量,云雾雨滴则会将信号散射到不同方向,导致信号能量不断衰减。多径效应更是让信号传输充满了不确定性。在信号传输过程中,由于地形地貌、建筑物等因素的影响,信号不再是沿着单一路径到达接收端,而是通过多条路径传播^[2]。这些不同路径的信号时延和相位各不相同,当它们在接收端叠加时,就会造成信号幅度和相位的剧烈变化。

2 抗干扰技术

在对抗卫星通信干扰的技术领域中,扩频通信技术犹如一位“隐形高手”,凭借独特的技术原理在通信安全领域发挥着重要作用。其核心在于将信号频谱进行扩展,这种操作就像是将一滴墨水滴入广阔的湖面,使原本集中的信号能量分散开来,降低了信号功率谱密度。具体实现过程是利用高速伪随机码对原始信号进行调制,高速伪随机码如同给原始信号穿上了一件不断变化的“迷彩服”,经过调制后,信号带宽远远大于原始信号带宽。在接收端,通过与发送端相同的伪随机码进行解扩,就像是解开这件“迷彩服”,恢复原始信号。而对于干扰信号来说,由于它们与伪随机码不相关,在解扩过程中会被进一步扩展,原本集中的能量被分散得更加稀薄,功率谱密度大幅降低,从而无法对通信信号造成有效干扰。

自适应天线技术则像是一位“智能卫士”,能够根据干扰环境的变化自动调整自身状态,守护卫星通信系统的稳定运行。该技术通过多个天线单元组成阵列,这些天线单元如同一个个敏锐的“耳朵”,共同感知周围的电磁环境。利用先进的信号处理算法对各天线单元接收的信号进行加权求和,形成特定的天线方向图^[3]。这个过程就像是指挥家根据不同的音乐需求,调整乐队中各个乐器的音量和节奏。

跳频通信技术如同一位“灵动舞者”,在复杂的电磁环境中不断变换步伐,保障通信链路的稳定。在通信过程中,发送端在伪随机码的控制下,就像是按照精心编排的舞蹈动作,不断改变载波频率。接收端则如同默契的舞伴,根据相同的伪随机码同步跳变本地载波频率,从而实现信号的正确解调。跳频序列的随机性和快速变化性,使得干扰者难以预测和跟踪跳频频率^[4]。这就好比舞者在舞台上不断变换舞步,干扰者就像笨拙的模仿者,无法跟上节奏。

3 抗衰落技术

分集接收技术作为抗衰落技术的重要一员,犹如一位“智慧的收集者”,通过收集多个不同路径的信

号,巧妙地降低衰落对信号的影响,提高接收信号的稳定性。其基本思想是在接收端获取多个相互独立或相关性较小的衰落信号副本,这些信号副本就像是不同方向传来的同一条信息的“碎片”。然后,采用合适的合并算法将这些信号合并,如同将碎片拼接成完整的图案,以获得更稳定的接收信号。常见的合并方式各有特点,选择式合并就像是在众多“碎片”中挑选最清晰、最完整的一块作为输出,即选择信噪比最高的一路信号;最大比合并则更注重“权衡”,根据各支路信号的信噪比进行加权合并,信噪比越高的支路在合并中所占的权重越大;等增益合并相对简单直接,对各支路信号进行等权相加。

信道编码技术在卫星通信抗衰落的征程中,如同一位“严谨的校对员”,在发送端对原始数据进行精心编码,增加冗余信息,以便在接收端通过解码恢复原始数据,纠正传输过程中因衰落产生的错误。其原理是在原始数据中按照一定规则添加校验位,形成具有特定结构的码字,这些校验位就像是给数据添加的“纠错标签”。接收端根据编码规则对接收的码字进行校验和纠错处理,如同校对员对照规则检查文本中的错误并进行修正^[5]。常见的信道编码方式各有优势,线性分组码通过对信息位进行线性运算生成校验位,就像是按照固定的数学公式为数据添加保护;卷积码在编码过程中不仅考虑当前的信息位,还与之前的信息位相关联,形成一种前后关联的编码结构,如同编织一条紧密的信息纽带;Turbo码则通过并行级联两个或多个卷积码,结合交织技术,实现接近香农极限的纠错性能,就像是多条坚固的纽带交织在一起,大大增强了数据的抗干扰能力。

自适应调制编码技术如同一位“灵活的指挥家”,能够根据信道条件实时调整调制方式与编码速率,在衰落信道中保持较高的传输效率与可靠性。该技术通过实时监测信道的信噪比、误码率等参数,如同指挥家敏锐地感知乐队演奏的节奏和音调,以此判断信道质量^[6]。当信道条件较好时,就像在宽敞平坦的道路上行驶,自适应调制编码技术会采用高阶调制方式和高速编码速率,以最有效的方式提高数据传输速率,充分利用良好的信道资源;当信道条件恶化时,比如遇到道路崎岖、障碍重重,它会迅速切换到低阶调制方式和低速率编码,保证通信的可靠性,确保信息能够安全送达。

4 技术融合应用

在卫星通信技术的发展进程中,将抗干扰与抗衰落技术进行有机融合,如同将不同乐器的美妙音色融

合成和谐的交响乐,能够发挥技术间的协同优势,更好地应对复杂的通信环境。在实际卫星通信系统中,干扰与衰落问题往往如影随形,单一技术就像孤军奋战的战士,难以满足复杂环境下的通信需求。例如,扩频通信技术在抑制干扰方面表现出色,其宽带特性就像是为信号开辟了一条宽阔的道路,有助于减轻多径衰落的影响,使信号在传输过程中更具稳定性;自适应天线技术在抑制干扰信号时,通过调整天线方向图,就像调整接收信号的“窗口”,也能在一定程度上改善因信号衰落导致的接收性能下降问题,让接收信号更加清晰稳定。

根据不同的应用场景与干扰衰落环境,合理选择和组合各类技术至关重要,这就如同根据不同的演出主题挑选合适的乐器和演奏方式。在军事通信领域,面临强干扰和恶劣信道条件,如同在硝烟弥漫、地形复杂的战场上作战,可将跳频通信技术与分集接收技术相结合。跳频通信技术凭借其灵活变换频率的能力,如同战士在战场上不断变换作战路线,有效规避干扰;分集接收技术则像战士收集不同方向的情报,克服衰落,两者相互配合,保障军事信息的可靠传输,确保军事行动的顺利进行。在卫星互联网的民用场景中,可采用自适应调制编码技术与信道编码技术协同工作^[7]。用户终端与卫星间的信道如同多变的天气,时刻发生着变化,自适应调制编码技术根据信道变化动态调整传输参数,就像根据天气变化调整出行方式;信道编码技术则负责纠正传输错误,如同仔细检查旅途中可能出现的差错,两者共同确保用户获得稳定的网络服务,无论是在线观看高清视频,还是进行实时的网络会议,都能流畅无阻。

技术融合应用并非一帆风顺,还需考虑系统的复杂度和成本。在融合过程中,需要对信号处理算法进行优化,这就像调整交响乐的演奏节奏,平衡性能提升与硬件资源消耗的关系^[8]。随着技术的不断发展,未来将通过更先进的信号处理技术和芯片集成技术,如同引入更精湛的演奏技巧和更优质的乐器,实现抗干扰与抗衰落技术的高效融合,进一步提升卫星通信系统的整体性能,确保通信的稳定与高效。

5 结语

卫星通信系统抗干扰与抗衰落技术研究对保障通信质量意义重大。现有技术已在一定程度上提升系统性能,但随着通信需求增长与电磁环境复杂化,仍面临挑战。未来,抗干扰与抗衰落技术将朝着智能化、融合化方向发展,结合人工智能、机器学习等新技术,实现对干扰与衰落的精准识别与动态应对。通过不断优化技术融合方式,降低系统复杂度与成本,卫星通信系统将在更多领域发挥重要作用,满足日益增长的通信需求,推动通信技术向更高水平迈进。

参考文献

- [1] 秦媛,张杭,朱宏鹏.欠定性时变的卫星 MIMO 通信系统盲分离抗干扰方法[J].南京大学学报(自然科学),2024,60(05): 723-734.
- [2] 攸阳,张琨,伏雨辰.美抗干扰卫星通信系统与技术的演进[J].无线通信技术,2024,33(03):57-62.
- [3] 朱礼勇.卫星移动通信系统抗干扰研究[J].无线互联科技,2023,20(12):134-138.
- [4] 赵毅,乔凯,白鹤峰,等.静止轨道卫星通信系统抗干扰计算分析方法[J].航天器工程,2023,32(01):16-22.
- [5] 尉景辉,柳贤子.卫星接收机干扰抑制关键技术的研究与实现[J].数字传媒研究,2021,38(12):7-9+16.
- [6] 陆斌,高睿劼,许松松.抗干扰卫星通信系统中的问题探讨[J].江苏通信,2021,37(01):44-45.
- [7] 李新科.自适应跳频在卫星通信抗干扰中的应用分析[J].无线互联科技,2019,16(23):1-2.
- [8] 肖龙龙,张学阳,李强.军事卫星通信系统干扰与抗干扰研究[J].通信技术,2019,52(10):2354-2358.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

