

卫星通信抗干扰技术及其发展趋势

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 050000

摘要: 卫星通信抗干扰技术作为保障卫星通信系统稳定性和可靠性的关键技术,近年来得到了广泛关注和研究。本文综述了卫星通信面临的电磁干扰、通信系统干扰及自然环境干扰等主要干扰因素,并详细介绍了天线抗干扰技术、扩展频谱抗干扰技术、卫星载荷抗干扰技术及编码调制抗干扰技术等关键技术。同时,本文还展望了卫星通信抗干扰技术的未来发展趋势,包括高频段卫星通信、联合抗干扰技术、自适应抗干扰技术及智能抗干扰技术等方向。

关键词: 卫星通信; 抗干扰技术; 其发展趋势

引言: 随着卫星通信技术的广泛应用与深入发展,其在全球信息传输中扮演着日益重要的角色。然而,卫星通信系统面临的电磁干扰、自然环境干扰及通信系统内部干扰等问题日益凸显,对通信质量和稳定性构成了严峻挑战。因此,研究并发展卫星通信抗干扰技术,成为保障卫星通信高效、可靠运行的关键。旨在综述当前卫星通信抗干扰技术的现状,并探讨其未来发展趋势,以期为相关领域的研究与应用提供参考。

1 卫星通信的干扰因素

1.1 电磁干扰

电磁干扰是降低卫星通信精度的一种因子。当今社会,由于电子技术和信息的日益发达与创新,电子开始渗入人们社会的各个角落,这些电子设备所产生的电磁信号必然要干扰卫星上通信信号的正常传播,特别是对雷达系统、电视通信以及微波通信,但这些电磁干扰威力巨大,作用也不能忽略。另外,由于工业生产设备的电气噪声、医疗仪器的电磁波和地面站设备质量差等因素产生的杂波,也在一定程度上制约着卫星通信的信号传递效果。

1.2 通信系统干扰

在数字程控交换系统工作过程中,地面站和卫星间的信息传递是借助通信信号处理装置来完成。由于这些技术手段的广泛应用,技术创新不能同时提高,造成目前卫星信号来源缺失。它们中的大多数可以在一个频率上单独工作。另外,因为与地面卫星通信的隔离程度不够,卫星通信之间可能产生耦合作用,从而造成地面通信效率的降低^[1]。

1.3 自然环境干扰

自然环境干扰也难以避免,主要因为卫星仍处在宇宙状态中。无论是太阳噪声、恒星移动、太阳微粒散射、电离层的闪烁、太阳黑子异常活动等,产生的辐射能量或能力都有能力形成传播范围广的高能电磁波束,它会不可避免的干扰卫星通信体系的正常工作,信息传播效率将大

大降低。

2 卫星通信抗干扰的关键技术

2.1 天线抗干扰技术

天线抗干扰技术是卫星通信系统中至关重要的一环,它直接关系到通信信号在复杂电磁环境中的稳定性和可靠性。这项技术通过多种策略来有效抑制或排除干扰信号,确保有用信号能够清晰、准确地传输。第一,天线设计是关键。采用定向性强的天线设计,如抛物面天线或相控阵天线,可以大幅度提高天线对目标信号的增益,同时减少对其他方向干扰信号的接收。此外,多波束天线技术也被广泛运用,通过生成多个独立的波束,分别对准不同的通信目标,进一步增强了天线的抗干扰能力。第二,自适应天线技术是实现高效抗干扰的重要手段。这类天线能够实时感知和分析周围环境中的电磁信号,自动调整其波束形状和方向,以最大程度地减少干扰信号的影响。自适应调零天线就是一个典型的例子,它能够在检测到干扰源后,迅速在其方向上形成一个“零陷”,从而有效抑制干扰。第三,结合先进的信号处理技术,如数字波束合成(DBF)、自适应滤波等,天线抗干扰技术能够进一步提升性能。这些技术可以在数字域内对接收到的信号进行精细处理,去除噪声和干扰成分,提取出纯净的有用信号。

2.2 扩展频谱抗干扰技术

卫星通信的抗干扰技术有多种,典型的是扩展频谱抗干扰技术,实际上包括跳频和直扩。直扩是一种直接编码序列扩频通信技术。卫星通信信号经过解扩和处理后,转换为敏捷信号。同时,对敏捷性影响信号进行去扩展,形成宽带网络信号。宽带网络信号经过窄带滤波器后,滤波可以解决信号动能问题,可以有效降低干扰信号对通信信号质量的危害。DS技术的探索取得了丰硕成果。它在我国各个领域都有丰富的应用经验,技术相

对完善,因此在通信卫星抗干扰中得到了广泛的应用。跳频是无线电广播技术。根据抗干扰规定,它变换各种载波信号,或随意选择载波频段,可以增强通信卫星的抗干扰能力。从具体结果考虑,如果宽带网路相对较大,则FH技术与DS技术相比具有较强的抗干扰能力,应大力开发和应用。

2.3 卫星载荷抗干扰技术

卫星载荷技术水平的小幅提高可以使整个卫星通信系统软件的性能提高一倍。因此,卫星载荷抗干扰技术的应用也很普遍。这是提高所有卫星系统软件抗干扰水平最直观、最有效的方法。卫星载荷抗干扰技术不仅可以防止信号危害发射机的正常工作,还可以防止无线信道阻塞。根据接收信号是否不同,卫星载荷发射机可分为两种类型,即卫星透明发射机和卫星解决方案发射机。卫星透明发射机的抗干扰解决方案通常采用SmartAGC技术,可以替代智能包络。该技术可以自动检测链路是否受影响信号的影响,并根据测试结果智能做出包络解决方案决策,在卫星发射机前使用SmartAGC技术可以进一步降低功率上升对发射机功率放大器功率的影响,从而大大提高了卫星通信的整体抗干扰水平。车载发射机的抗干扰性能优于车载透明发射机。车载发射机可以识别上升的冲击,然后智能解决,从而减少或消除冲击信号的影响。

2.4 编码调制抗干扰技术

数字分配抗干扰技术在卫星通信系统软件抗干扰应用中的关键作用是纠错,主要用于纠正信号传输过程中出现的测量误差。特别是,卫星通信系统软件由于外部影响,在信号数据库中容易出现错误和遗漏,因此可以使用数字分配抗干扰技术来校准错误和遗漏。因为形成的卷积码需要破解,为了确保编号的工作效果明显,数字分配抗干扰技术是现阶段智能卫星通信系统软件中应用的关键技术,在智能卫星通信软件中具有更多的优势^[2]。

2.5 信号处理抗干扰技术

在卫星通信领域,信号处理抗干扰技术扮演着至关重要的角色。其中,扩频(Spread Spectrum)与跳频(Frequency Hopping)技术是两项核心手段。扩频技术通过引入一个具有特定长度的直接序列(Direct Sequence),对卫星信号进行调制,使其频谱展宽,从而将原本集中的信号能量分散到更宽的通信频段上。这一过程不仅降低了信号的功率谱密度,还使得干扰信号难以在特定频段上形成有效干扰,从而增强了卫星通信系统的抗干扰能力。另一方面,跳频技术则通过使载波频率按照预定的伪随机序列进行快速跳变,来避免干扰信

号对卫星通信的持续影响。在跳频过程中,载波频率会不断改变,使得干扰信号难以跟踪和锁定,从而保证了通信的连续性和稳定性。在接收端,信号处理系统通过采用扩频和跳频技术的相应解调算法,能够有效地识别并去除干扰信号,恢复出原始的卫星通信信号。这一过程不仅提高了信号的质量,还显著增强了卫星通信系统的抗干扰效能,确保了信息传输的准确性和可靠性。

3 卫星通信抗干扰技术的发展趋势

3.1 加强新技术与新理论的引入

加强新技术与新理论的引入,是推动卫星通信抗干扰技术持续进步与革新的关键驱动力。在快速变化的技术环境中,不断吸纳前沿科技成果,并将其融合到卫星通信抗干扰技术的研发与应用中,对于提升系统性能、增强抗干扰能力具有深远意义。第一,新技术如人工智能、量子通信、太赫兹通信等的引入,为卫星通信抗干扰技术带来了革命性的变革。人工智能技术通过深度学习、强化学习等算法,能够实现对复杂干扰环境的智能感知与自适应处理,显著提升系统的抗干扰智能化水平。量子通信技术则以其极高的安全性和抗干扰性,为卫星通信提供了全新的安全解决方案。而太赫兹通信技术作为高频段通信的代表,不仅拥有巨大的带宽资源,还具备较好的抗干扰能力,是未来卫星通信发展的重要方向。第二,新理论的引入也为卫星通信抗干扰技术的研究开辟了新的思路。例如,信息论、控制论、优化理论等交叉学科的最新研究成果,为设计更高效、更稳定的抗干扰算法提供了坚实的理论基础。通过借鉴这些新理论,研究人员能够更深入地理解干扰信号的本质和传播规律,从而开发出更具针对性的抗干扰技术。第三,加强新技术与新理论的引入,需要科研机构、高校和企业等各方力量的紧密合作与协同创新。通过建立开放合作的技术交流平台,促进科技成果的共享与转化,加速新技术与新理论在卫星通信抗干扰技术领域的应用与推广^[3]。

3.2 高频段卫星通信技术的发展

随着全球信息化进程的加速和数据流量的爆炸式增长,传统频段的卫星通信系统已难以满足日益增长的需求,高频段卫星通信技术因此应运而生,并展现出巨大的发展潜力。高频段,如Ka波段、V波段甚至更高频段,具有更宽的可用带宽、更高的数据传输速率和更强的抗干扰能力。这些优势使得高频段卫星通信在高速互联网接入、高清视频传输、远程医疗、应急通信等领域具有广泛应用前景。通过高频段卫星,用户可以享受到更加流畅、稳定且高速的通信体验,无论身处何地都能轻松接入全球信息网络。然而,高频段卫星通信技术的

发展也面临着诸多挑战。例如，高频段信号在传输过程中容易受到大气衰减、雨衰等环境因素的影响，导致信号质量下降。此外，高频段卫星通信系统的建设和运营成本也相对较高，需要投入大量的资金和技术力量。为了克服这些挑战，科研人员正不断探索和创新。他们通过优化天线设计、提高信号处理技术、开发新型编码调制算法等手段，努力提升高频段卫星通信系统的性能和稳定性。

3.3 自适应抗干扰技术的应用

自适应抗干扰技术作为卫星通信领域的一项重要创新，正逐步成为提升通信链路稳定性和可靠性的关键手段。这项技术通过实时监测和分析通信环境中的干扰情况，自动调整通信系统的参数和策略，以有效抑制或规避干扰信号，确保通信信号的高质量传输。第一，自适应抗干扰技术的核心在于其“智能”特性。它利用先进的信号处理算法和自适应控制理论，对接收到的信号进行快速分析和处理，识别出干扰信号的特征和来源。一旦检测到干扰，系统便能迅速响应，通过调整通信频率、调制方式、编码速率等参数，或者采用扩频、跳频等抗干扰技术，来降低干扰对通信质量的影响。第二，自适应抗干扰技术还具备高度的灵活性和可扩展性。它能够根据通信环境的变化和干扰类型的不同，自动选择合适的抗干扰策略，并随着干扰情况的变化进行动态调整。这种能力使得自适应抗干扰技术能够应对复杂多变的通信环境，确保通信系统的持续稳定运行。第三，在卫星通信领域，自适应抗干扰技术的应用尤为重要。由于卫星通信链路长、信号衰减大、易受干扰等特点，传统的固定参数通信方式往往难以满足高质量通信的需求。而自适应抗干扰技术则能够根据卫星通信的实际情况，自动优化通信参数和策略，提高通信系统的抗干扰能力和传输效率。

3.4 新型抗干扰技术的研发

新型抗干扰技术的研发，是应对日益复杂的电磁环境和提升通信系统性能的关键所在。随着科技的飞速发展，传统的抗干扰手段已难以满足现代通信系统的需

求，因此，研发新型抗干扰技术成为了科研领域的热点之一。第一，新型抗干扰技术的研发，首先依赖于对干扰信号特性的深入理解和分析。科研人员通过运用先进的信号处理技术和数据分析方法，对干扰信号的波形、频率、功率等特征进行精确捕捉和识别，为新型抗干扰技术的设计提供科学依据。第二，在此基础上，科研人员不断探索新的抗干扰原理和算法。例如，利用人工智能和机器学习技术，通过训练模型来预测和识别干扰信号，并自动调整通信系统的参数以抑制干扰；或者采用量子通信技术，利用其独特的物理特性实现高度保密和抗干扰的通信传输。第三，新型抗干扰技术的研发还注重与其他技术的融合创新。例如，将扩频技术、跳频技术、多输入多输出（MIMO）技术等传统抗干扰手段与新型技术相结合，形成更加综合和高效的抗干扰方案。此外，通过引入先进的编码调制算法和信号处理技术，可以进一步提升通信系统的抗干扰能力和传输效率^[4]。

结束语

综上所述，卫星通信抗干扰技术作为保障通信质量和系统稳定性的关键，正随着科技的进步而不断演进。面对日益复杂的电磁环境和多样化的干扰源，我们需持续探索和创新，融合新技术、新理论，以应对未来挑战。展望未来，高频段通信、自适应技术以及新型抗干扰策略的应用，将为卫星通信领域带来革命性变革，推动其向更高效、更可靠、更智能的方向发展。我们期待这一领域的持续繁荣，为人类社会的信息交流贡献更强大的力量。

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):79-80.
- [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):17+19.
- [3]周锦标.卫星通信网抗干扰反侦收技术综述和建设思考[J].移动通信, 2019,43(07):67-71.
- [4]王倩莹.甚高频语音通信系统抗干扰技术及其发展趋势[J].控制与信息技术, 2019(02):7-12.