

频谱共生系统邻道干扰抑制关键技术

魏秋雪 姜露 董赫

石家庄海山实业发展总公司 河北石家庄 050200

摘要: 本文着重探讨了飞机通信频谱共生系统中的邻道干扰问题, 以及如何通过先进的检测、识别和抑制技术来提升系统的性能和通信质量。随着航空通信技术的快速发展, 频谱资源的高效利用变得至关重要。邻道干扰作为影响系统性能的主要因素之一, 不仅降低通信的可靠性, 还可能导致严重的航空安全风险。本研究深入研究了干扰的来源、特征和影响, 提出了多种针对性的技术方案, 包括自适应滤波、频谱管理策略优化和多天线技术应用, 旨在为飞机通信提供更加稳定和安全的通信环境。

关键词: 频谱共生系统; 邻道干扰; 抑制技术

引言

飞机通信频谱共生系统是现代航空安全和效率的关键组成部分, 它在飞机起飞、飞行和降落过程中提供实时的通信链路, 确保飞行员与地面控制中心、其他飞行机组之间的信息交换。随着航空业的快速发展和空中交通的日益繁忙, 对频谱资源的需求也在不断增长。在这种背景下, 频谱共生成为解决频谱紧张问题的有效途径, 通过在有限的频谱资源中让多个系统共存, 实现频谱效率的最大化。通过详尽的实验和仿真, 验证了所提出的干扰抑制方法的有效性, 这些方法在降低干扰水平、提高信噪比以及保护频谱资源等方面表现出显著优势。我们还探讨了这些技术在实际应用中的挑战和优化措施, 以适应不同飞行条件和环境。本研究的成果不仅对飞机通信系统的设计和优化具有指导意义, 也为未来航空通信频谱管理提供了新的思路和方法。

一、抑制邻道干扰的重要性

抑制邻道干扰对于保证飞机通信系统的正常运行和飞行安全至关重要。优化的邻道干扰抑制技术可以: 提高通信质量: 通过减少噪声和失真, 确保飞行员接收到清晰、准确的指令, 保障飞行安全。保障导航精度: 减少ACI对导航系统的影响, 提高飞行路径的精确性。提升频谱效率: 有效的干扰抑制可以减少重传, 从而释放更多频谱资源供其他系统使用。增强系统可靠性: 减少因干扰导致的通信中断, 增强整体航空通信网络的稳定性。研究和实施邻道干扰抑制技术不仅是提高飞机通信系统性能的关键, 也是确保航空安全、提升空中交通管理效率的必要措施。

二、飞机频谱共生系统架构

(一) 系统总体设计思路

飞机频谱共生系统设计的核心是实现高效、安全的通信, 同时降低对邻近频谱的干扰。这一目标要求系统具备高度的灵活性、适应性和智能化。系统设计时, 采用了模块化和分层的思想, 确保各组件间功能独立且可扩展。通过融合先进的数字信号处理技术, 系统能够动态调整通信参数, 以适应不断变化的环境条件和任务需求。考虑到频谱的动态共享, 系统还引入了先进的频谱感知和管理机制, 以实现频谱资源的最优分配。

(二) 关键组件与功能模块

频谱感知模块: 负责监测频谱使用情况, 检测潜在的干扰源, 通过实时的频谱图分析, 确保在使用频谱时避免与邻道系统冲突。信号处理模块: 采用自适应滤波和数字信号处理算法, 以减少噪声和干扰, 同时提高信号的传输质量和抗干扰能力。通信模块: 包括发射和接收单元, 采用高效的调制解调技术, 以在有限的带宽内传输大量数据, 同时减少对外部频谱的泄漏。智能决策模块: 基于机器学习和人工智能算法, 根据环境变化和系统状态, 动态调整通信策略, 以实现最优的频谱使用。安全与认证模块: 确保通信的安全性, 防止未经授权的访问和数据泄露, 采用加密和身份验证机制, 保护机密信息。电源管理模块: 优化能源使用, 确保系统在有限的电源条件下长时间稳定运行。

(三) 系统工作流程描述

初始化阶段: 系统启动时, 频谱感知模块开始扫描并记录频谱使用情况, 同时智能决策模块设定初始通信参数。运行阶段: 在通信过程中, 系统持续监测频谱环

境，一旦发现潜在的干扰，信号处理模块会调整参数以减少影响。智能决策模块根据实时数据调整通信策略。

干扰应对阶段：当检测到邻道干扰时，系统会触发应急响应，通过调整发射功率、频率或采用其他抗干扰技术，降低对邻道用户的干扰。**通信结束阶段：**通信任务完成后，系统进行资源释放和状态保存，为下一次通信做好准备。整个工作流程中，飞机频谱共生系统始终保持对环境的高敏感度，确保在复杂环境下通信的稳定性和可靠性，同时兼顾频谱资源的高效利用和邻道保护。

三、频谱共生系统邻道干扰检测与识别技术

(一) 干扰信号特征提取

在频谱共生系统中，邻道干扰检测的首要步骤是对干扰信号进行特征提取。这一过程涉及对信号进行预处理，以便捕捉到干扰的细微特征。通过时域和频域分析，可以识别出异常的功率波动、噪声波动或者异常频率成分。常用的特征提取方法包括自适应滤波器、快速傅立叶变换（FFT）和功率谱密度估计。这些技术可以帮助识别出与正常信号不一致的频谱成分，比如非预期的尖峰或噪声带。时间序列分析和统计特征分析，如主成分分析（PCA）和奇异值分解（SVD），也是识别干扰特征的有效工具。

(二) 干扰源定位方法

定位干扰源是有效抑制干扰的关键。这通常涉及信号强度映射和方向性天线阵列的使用。通过多天线接收信号的相位和幅度差异，可以确定干扰信号的方向。基于时间到达差（TDOA）和频率到达差（FDOA）的定位技术也是常用方法，尤其在存在多个接收节点的分布式系统中。机器学习算法，如支持向量机（SVM）和随机森林等，可以用于学习和预测干扰源可能出现的位置。

(三) 干扰类型识别算法

识别干扰类型有助于采取针对性的抑制策略。常见的干扰类型包括连续波干扰、突发干扰、多址干扰、噪声干扰等。通过模式识别算法，可以训练模型来识别这些干扰类型。例如，可以利用小波分析来检测瞬时的和持续的干扰模式，或者利用深度学习网络，如卷积神经网络（CNN）和循环神经网络（RNN），训练模型来区分不同类型的干扰特征。基于模板匹配和信号统计属性的算法也能有效地区分和识别多种干扰类型。这些技术的结合使用，使得频谱共生系统能够对邻道干扰进行精确检测、定位和识别，为后续的干扰抑制策略提供坚实的基础。

四、邻道干扰抑制算法研究

(一) 自适应滤波算法应用

自适应滤波算法在邻道干扰抑制中扮演着重要角色。通过实时调整其滤波器系数，它可以有效地从信号中分离出有用信号和消除干扰成分。以LMS（最小均方误差）算法为例，这种算法可以根据输入信号的实时特性动态调整滤波器权重，从而在不降低信号质量的前提下，有效地抑制或消除邻道干扰。在飞机通信频谱共生系统中，LMS算法可以根据接收到的信号特性快速学习和适应，以抑制不断变化的邻道干扰。

(二) 频谱管理策略优化

频谱管理策略是邻道干扰抑制的另一重要工具。优化频谱使用，例如，通过动态频率分配、时隙分配和功率控制，可以降低不同信号间的相互干扰。在飞机通信系统中，这可能包括在繁忙频段内实施动态功率控制，以确保信号强度适中，避免过强的发射功率导致邻道的干扰。通过智能地规划和调度通信资源，可以有效避免或减少对邻道的干扰，从而提高系统整体性能。

(三) 多天线技术干扰抑制

多天线技术，尤其是MIMO（多输入多输出）系统，为邻道干扰抑制提供了新思路。在飞机通信频谱共生系统中，多天线可以实现空间分集和空间复用，通过不同天线发送和接收信号，利用空间域的差异来区分和消除干扰信号。通过智能天线阵列设计和先进的信号处理技术，可以有效地抑制或消除邻道干扰，同时提高信噪比，进而提升通信质量。在飞机通信的环境下，多天线技术可以显著改善信号的可靠性和抗干扰能力，为复杂电磁环境下的飞机通信提供稳定保障。

五、频谱共生系统邻道干扰抑制关键技术应用优化措施

(一) 预处理与信号增强

在实际应用中，信号质量受到多种因素影响，包括环境噪声、多径效应以及传输损耗等。预处理步骤旨在改善这些影响，提升信号的可检测性和处理性能。采用先进的数字信号处理技术，如均衡器和去噪算法，可以有效地消除信道衰减和噪声，增强信号的信噪比，为后续的干扰抑制提供更为可靠的输入。

(二) 实时干扰检测与跟踪

实时监测频谱环境是抑制邻道干扰的关键。通过采用快速傅立叶变换（FFT）和其他频谱分析方法，系统可以实时检测到频谱中的异常活动，包括突发干扰和持续干扰。结合机器学习算法，如支持向量机（SVM）或

神经网络，可以训练模型以识别不同类型的干扰模式，实现对干扰源的快速跟踪和定位。

（三）动态频谱接入策略

在频谱资源有限的情况下，动态频谱接入（DSA）策略是优化频谱使用的关键。通过智能算法，如遗传算法或深度强化学习，系统可以动态调整通信参数，如频率、功率和编码方式，以避免干扰并最大化频谱效率。通过与其他系统或设备的协调，可以实现共享频谱资源的最优分配。

（四）干扰对消技术

针对检测到的邻道干扰，可以采用干扰对消技术来减少其影响。线性干扰对消器如最小均方误差（MMSE）和最小均方差（MSD）算法，可以在一定程度上消除干扰。对于非线性干扰，非线性预失真技术可以改善发射机的线性度，从而减少邻道泄漏。协作干扰对消也是一种有效策略，通过多用户的协作，可以共同消除共存系统间的干扰。

（五）预编码与多用户分集

在多天线系统中，预编码技术可以改善系统性能，减少干扰。通过预编码矩阵，可以调整不同用户信号的传输，以降低它们在其他频点产生的干扰。多用户分集则利用多个用户的独立衰落特性，通过联合处理多个用户信号，可以进一步提高系统的抗干扰能力。

（六）适应性功率控制与频率规划

根据信道状态和干扰情况，系统应具备动态功率控制能力，以在保证通信质量的同时减少对外部系统的干扰。有效的频率规划可以减少潜在的邻道干扰，如采用正交频分复用（OFDM）系统，通过精心设计子载波分配，可以降低子载波间的互耦效应。

（七）智能学习与自适应优化

结合人工智能和深度学习技术，系统可以学习并适应不断变化的频谱环境，自动调整参数以优化干扰抑制效果。通过在线学习，系统可以不断更新其模型，以适应新的干扰模式和通信需求，实现长期的性能提升。

（八）结合硬件优化

硬件层面的优化同样重要，如采用低噪声放大器和高线性度的射频组件，可以减少信号失真和噪声引入，提高系统的整体抗干扰能力。采用硬件加速器或专用集成电路（ASIC）可以加速处理速度，确保实时干扰抑制。通过上述优化措施的综合应用，频谱共生系统能够在复杂环境下有效地抑制邻道干扰，提高通信质量和频谱效

率，为飞机通信提供更加可靠的服务。

六、频谱共生系统邻道干扰抑制的应用前景

（一）频谱资源高效利用

频谱共生系统邻道干扰抑制技术的提升，不仅改善了通信质量，同时也促进了频谱资源的高效利用。在航空通信中，频谱是一种宝贵的资源，有效抑制邻道干扰意味着可以在有限的频谱资源中容纳更多的通信链路，从而减轻了频谱资源的压力。通过采用智能的频谱管理策略，如动态频谱接入和自适应分配，可以提高频谱效率，使得飞机通信系统能在不增加额外带宽的情况下，承载更多的信息流量，这对于日益增长的空中交通需求至关重要。

（二）航空安全保障意义

邻道干扰抑制技术的提升不仅关乎通信质量和频谱利用，更深层次的意义在于增强了航空安全。在飞行过程中，任何通信障碍都可能对飞行安全构成潜在威胁。例如，如果飞机与地面控制中心的通信中断或模糊，可能会导致对关键信息的延误或误解，从而影响飞行路径的规划和紧急情况的及时处理。通过有效的邻道干扰抑制，可以减少这些风险，确保在飞行关键阶段，如起飞、降落和紧急情况下的通信畅通无阻。这在紧急情况下的疏散指示、导航和搜救行动中具有决定性的影响，为航空安全提供了一道坚实的技术屏障。通过上述三个方面的改善，邻道干扰抑制技术在频谱共生系统中的应用前景显得尤为光明，对飞机通信、频谱效率和航空安全都产生了深远的影响。

结束语

随着科技的不断进步，未来的飞机通信频谱共生系统将能够更有效地应对邻道干扰，从而提升整体的通信质量和安全性。这不仅可以增强航空交通管理的可靠性，还能为飞行安全提供更坚实的保障，为乘客和机组人员的生命安全加上一道重要的保险。

参考文献

- [1]胡林林, 班勃.通信功率干扰下电力邻域信道频谱分配仿真[J].计算机仿真, 2023, 40(7): 77-81.
- [2]陈玉婷.OTFS系统中抑制信号旁瓣的滤波器设计研究[D].华中科技大学, 2023.
- [3]赵清华, 马天鸣, 王星.一种FBMC系统干扰分类预处理方案[J].高技术通讯, 2022(003): 032.