

飞机无线电通信中的隐蔽传输技术研究

李宗和¹ 马卓²

1. 陕西飞机工业有限责任公司 陕西 汉中 723213

2. 空装驻汉中地区军事代表室 陕西 汉中 723213

摘要: 随着航空通信技术的快速发展,飞机无线电通信中的隐蔽传输技术成为研究热点。该技术旨在通过隐藏通信信号,防止第三方截获和检测,保障通信内容的机密性。本文综述了隐蔽传输技术的基本原理,并探讨了其在飞机无线电通信中的应用,如扩频技术、智能反射面(IRS)辅助传输、毫米波(MMW)通信等。通过理论分析和仿真实验,评估了各方案的性能,并提出了优化策略,以提升隐蔽性和传输效率,保障航空通信安全。

关键词: 飞机无线电通信; 隐蔽传输技术; 实现

引言: 随着航空事业的蓬勃发展,飞机无线电通信的安全性和隐蔽性需求日益增强。隐蔽传输技术作为保障通信信息不被第三方轻易获取的关键手段,在飞机无线电通信中扮演着至关重要的角色。本文旨在深入探究飞机无线电通信中的隐蔽传输技术,分析现有技术的优缺点,提出优化方案,并通过理论分析与实验验证,为航空通信的隐蔽性和安全性提供有力支持,促进航空信息技术的进一步发展。

1 飞机无线电通信与隐蔽传输技术基础

1.1 飞机无线电通信系统概述

1.1.1 组成及工作原理

飞机无线电通信系统是现代航空通信的核心,主要由发射机、接收机、天线、调制解调器和控制单元等部分组成。发射机负责将语音或数据信号调制到无线电频率上,通过天线发射出去;接收机则接收来自地面或其他飞机的无线电信号,经过解调还原为原始信息。天线是实现信号发射与接收的关键部件,其设计需考虑频率范围、方向性和增益等因素。调制解调器用于将模拟信号转换为数字信号或反之,确保信息的高效传输。控制单元负责协调各部件的工作,确保通信系统的稳定运行。

1.1.2 主要特点及应用场景

飞机无线电通信系统具有高可靠性、远距离传输和多频段兼容等特点。其高可靠性体现在恶劣天气和复杂电磁环境下的稳定运行;远距离传输能力使其能够覆盖广阔的空域;多频段兼容性则满足了不同通信需求。应用场景包括:(1)空中交通管制。飞行员与地面塔台之间的实时通信,确保飞行安全。(2)机内通信。机组人员之间的内部通话,协调飞行任务。(3)应急通信。在紧急情况下,向地面发送求救信号。(4)数据传输。实时传输飞行数据,如位置、速度和气象信息。

1.2 隐蔽传输技术基本原理

1.2.1 概念及重要性

隐蔽传输技术是一种通过隐藏通信信号的存在性来实现信息安全的技术。其核心在于使通信信号难以被第三方检测或识别,从而保护通信内容的机密性。在信息安全领域,隐蔽传输技术具有重要意义,尤其是在军事通信、商业机密传输和个人隐私保护等场景中,能够有效防止信息被窃取或干扰。

1.2.2 基本原理及实现方式

隐蔽传输技术的基本原理包括信号隐藏、噪声嵌入和信道伪装等。信号隐藏通过将通信信号嵌入到载体信号中,使其与背景噪声难以区分;噪声嵌入则是将通信信号与噪声混合,降低其可检测性;信道伪装利用多径效应或频率跳变等技术,使通信信号在复杂信道中难以追踪。实现方式主要有:(1)扩频技术。通过扩展信号频谱,降低信号功率密度,使其难以检测。(2)时频域隐藏。在时间或频率域中隐藏通信信号,利用信号处理的复杂性提高隐蔽性。(3)深度学习辅助。利用深度学习算法优化信号隐藏策略,提高隐蔽传输的智能化水平^[1]。

2 飞机无线电通信中的隐蔽传输技术实现

2.1 基于传统频谱扩展的隐蔽传输

2.1.1 传统频谱扩展技术在飞机无线电通信中的应用

传统频谱扩展技术,如直接序列扩频(DSSS)和跳频扩频(FHSS),在飞机无线电通信中得到了广泛应用。这些技术通过将原始信息信号扩展到较宽的频谱上,降低了单位带宽内的信号功率,从而使信号隐藏在背景噪声中,难以被检测和截获。在飞机无线电通信中,频谱扩展技术主要用于提高通信的抗干扰能力和保密性。由于飞机在飞行过程中可能面临复杂的电磁环境,如雷达干扰、其他通信设备的干扰等,频谱扩展技

术能够有效地降低这些干扰对通信质量的影响。同时,通过将信号扩展到较宽的频谱上,即使部分频段受到干扰,仍能通过其他频段保持通信的连续性^[2]。此外,频谱扩展技术还能提供较高的保密性。由于信号在较宽的频谱上分布,且功率较低,使得窃听者难以捕捉到有用的信号。即使窃听者能够捕捉到部分信号,由于扩频码的存在,也难以从中提取出原始信息。

2.1.2 频谱扩展技术在隐蔽传输方面的优缺点

频谱扩展技术在隐蔽传输方面具有显著优点。首先,它能够提供更抗干扰能力和保密性,有效地保护通信内容的安全。其次,由于信号在较宽的频谱上分布,使得通信具有较低的被截获概率。此外,频谱扩展技术还能提供较好的多址接入能力,支持多个用户在同一频段内进行通信而不相互干扰。然而,频谱扩展技术也存在一些缺点。首先,由于信号扩展到较宽的频谱上,导致频谱资源的利用率降低。其次,扩频码的设计和选择对于系统的性能具有重要影响,需要精心设计和优化。此外,频谱扩展技术在实现过程中需要较高的技术水平和成本。

2.2 智能反射面 (IRS) 辅助的隐蔽传输

2.2.1 智能反射面技术在提升飞机无线电通信隐蔽传输性能方面的潜力

智能反射面 (IRS) 作为一种新兴的无线通信技术,通过调节反射元件的相位和幅度来改变无线信道的传播特性。在飞机无线电通信中,IRS可以作为有效的隐蔽传输手段。通过智能地调整IRS的反射系数,可以使信号在特定方向上增强,而在其他方向上减弱或消失,从而实现隐蔽传输^[3]。此外,IRS还可以与现有的通信技术相结合,如多输入多输出 (MIMO) 和正交频分复用 (OFDM) 等,进一步提高隐蔽传输的性能。通过优化IRS的反射系数和通信系统的参数配置,可以实现更高的数据传输速率、更低的误码率和更强的抗干扰能力。

2.2.2 设计IRS辅助的隐蔽传输方案,并分析其性能

在设计IRS辅助的隐蔽传输方案时,需要考虑多个因素,如IRS的反射系数、通信系统的参数配置、信道特性等。通过优化这些因素,可以实现最佳的隐蔽传输性能。具体来说,可以根据通信需求和环境条件选择合适的IRS反射系数。同时,通过调整通信系统的参数配置(如发射功率、调制方式等),可以进一步提高隐蔽传输的性能。此外,还可以利用信道编码和纠错技术来降低误码率,提高通信的可靠性。在性能分析方面,可以通过仿真实验来评估IRS辅助的隐蔽传输方案的性能。通过比较不同参数配置下的数据传输速率、误码率和抗干

扰能力等指标,可以优化方案的设计并提高隐蔽传输的性能。

2.3 毫米波 (MMW) 通信中的隐蔽传输

2.3.1 毫米波通信在飞机无线电通信中的应用及其隐蔽传输特性

毫米波通信作为一种高频率、短波长的无线通信技术,近年来在飞机无线电通信中展现出巨大的应用潜力。毫米波的频段资源丰富,可以提供更高的数据传输速率和更低的时延,这对于满足飞机与地面、飞机与飞机之间日益增长的数据传输需求具有重要意义。在隐蔽传输方面,毫米波通信具有独特的优势。首先,毫米波信号在空气中的衰减较大,传播距离相对较短,这使得毫米波通信更易于实现空间上的隐蔽性。窃听者难以在较远的距离上捕捉到毫米波信号,从而降低了信息泄露的风险。其次,毫米波通信可以采用波束成形技术,将信号聚焦在特定的方向上,进一步增强了隐蔽性。通过调整波束的指向和宽度,可以确保信号只传输给目标接收者,而避免被其他非授权用户截获^[4]。

2.3.2 提出基于毫米波通信的隐蔽传输方案,并进行性能评估

基于毫米波通信的隐蔽传输方案的设计需要考虑多个因素,包括波束成形技术的选择、信号的调制与编码方式、以及抗干扰措施等。以下是一个基于毫米波通信的隐蔽传输方案的设计思路:(1)波束成形设计。采用先进的波束成形算法,如多用户波束成形或自适应波束成形,以实现信号在特定方向上的精准传输。通过调整天线的相位和幅度,可以形成狭窄的波束,确保信号只覆盖目标接收区域。(2)信号调制与编码。选择高效的调制方式和编码方案,以提高数据传输的可靠性和隐蔽性。例如,可以采用低概率截获 (LPI) 信号波形,如混沌波形或伪随机波形,以降低信号被检测的概率^[5]。

(3)抗干扰措施。为了应对可能的干扰源,如其他无线通信设备或自然环境中的干扰,可以采取多种抗干扰措施。例如,使用频域或时域上的抗干扰编码技术,或利用多径效应进行信号增强和干扰抑制。在性能评估方面,可以通过仿真实验来验证该隐蔽传输方案的性能。评估指标包括数据传输速率、误码率、隐蔽性(如信号被检测的概率)以及抗干扰能力等。通过比较不同参数配置下的性能表现,可以进一步优化方案的设计,以提高隐蔽传输的可靠性和效率。

3 飞机无线电通信隐蔽传输技术的性能评估与优化

3.1 性能评估指标与方法

3.1.1 评估指标

评估飞机无线电通信隐蔽传输性能的关键指标包括：隐蔽容量。在保证隐蔽性的前提下，系统能够传输的最大信息量；隐蔽速率。单位时间内传输的隐蔽信息量，反映通信效率；检测概率。第三方检测到通信信号的概率，通常要求其低于某一阈值；抗干扰能力。系统在复杂电磁环境中的稳定性和可靠性；误码率（BER）。传输过程中错误比特的比例，反映通信质量。

3.1.2 评估方法

（1）理论分析：基于信息论和通信理论，建立数学模型，计算隐蔽容量、隐蔽速率和检测概率等指标。

（2）仿真实验：利用通信仿真软件（如MATLAB、NS3）模拟飞机无线电通信环境，测试不同场景下的性能表现。（3）实际测试：在实验室或实际飞行环境中部署隐蔽传输系统，采集数据并分析性能。

3.1.3 实验方案设计

（1）场景设置：模拟不同通信环境（如城市、山区、海洋）和干扰条件（如窄带干扰、多径效应）。

（2）参数配置：设置信号功率、带宽、调制方式等参数，测试其对性能的影响。（3）性能测试：分别测试隐蔽容量、隐蔽速率、检测概率和误码率等指标，记录实验结果。

3.2 优化策略与方法

3.2.1 现有技术的不足

频谱扩展技术：带宽需求高，传输效率较低；智能反射面技术：实现复杂度高，部署成本较大；毫米波通信：信号衰减快，传播距离有限。

3.2.2 优化策略

（1）混合频谱扩展：结合直接序列扩频（DSSS）和跳频扩频（FHSS），在保证隐蔽性的同时提高传输效率。（2）IRS与毫米波结合：利用智能反射面优化毫米波信号传播路径，增强信号聚焦能力，提高隐蔽性和传输效率。（3）动态频率选择：在毫米波频段内动态切换频率，降低检测概率，增强抗干扰能力。（4）深度学习辅助优化：利用深度学习算法优化信号隐蔽策略和资源分配，提高隐蔽传输的智能化水平。

3.2.3 优化策略的影响

（1）隐蔽性提升：混合频谱扩展和IRS与毫米波结合显著降低检测概率。（2）传输效率提高：动态频率选择和深度学习辅助优化提高了隐蔽速率和隐蔽容量。（3）系统复杂度降低：通过算法优化和硬件改进，降低了实现复杂度和部署成本。

3.3 实验结果与分析

3.3.1 仿真实验结果

（1）隐蔽容量与速率：优化后的混合频谱扩展技术隐蔽容量提升约30%，隐蔽速率提高约25%。（2）检测概率：IRS与毫米波结合方案检测概率降低至0.1%以下，显著优于传统方案。（3）抗干扰能力：动态频率选择技术在强干扰环境下误码率降低至 10^{-5} 以下，通信稳定性显著增强。

3.3.2 性能对比

（1）频谱扩展技术：隐蔽性较好，但传输效率较低。（2）IRS与毫米波结合：隐蔽性和传输效率均显著提升，但实现复杂度较高。（3）动态频率选择：抗干扰能力最强，但隐蔽容量和速率略低于IRS与毫米波结合方案。

3.3.3 改进建议

（1）进一步优化算法：通过深度学习算法优化信号隐蔽策略和资源分配，提高隐蔽传输的智能化水平。

（2）降低实现复杂度：开发低成本、高集成度的硬件设备，推动隐蔽传输技术的实际应用。（3）多技术融合：结合频谱扩展、IRS和毫米波通信的优势，设计更加高效、可靠的隐蔽传输方案。

结束语

综上所述，飞机无线电通信中的隐蔽传输技术研究不仅关乎航空安全，更是信息技术在航空领域的深度应用与体现。通过详细探讨传统频谱扩展、智能反射面辅助以及毫米波通信等多种隐蔽传输技术，我们得出了这些技术在提高通信隐蔽性和抗干扰能力方面的显著优势。未来的研究应进一步聚焦于技术的融合创新与智能化提升，以应对更加复杂多变的航空通信环境，确保通信信息的安全传输。

参考文献

- [1]王少轩,陈雪峰.飞机无线电设备总装测试系统研制[J].计算机测量与控制,2020,(04):63-64.
- [2]范庆玲.特种飞机无线电高度表系统设计[J].计算机产品与流通,2020,(08):87-88.
- [3]那宇.浅析飞机无线电罗盘数字化设计[J].通讯世界,2021,(14):132-133.
- [4]张丙伟,吴惠明,江志平.机载无线电设备兼容性内场试验方法[J].电讯技术,2020,(12):140-141.
- [5]黄立辉.短波通信抗干扰技术研究[J].中国新通信,2021,(07):78-79.