

现代雷达干扰技术研究

杨文元 张海民 赵 凯
淮海集团 山西 长治 046012

摘要: 现代雷达干扰技术研究聚焦于提升雷达在复杂电磁环境中的抗干扰能力。本文深入探讨了雷达干扰技术的多种策略,包括频率多址技术、脉内干扰抑制技术、自适应波形设计、天线自指向技术以及信号处理技术。这些技术通过灵活调整雷达工作参数、优化发射波形、智能指向调整以及精细信号处理,有效应对敌方干扰,提高雷达探测精度和稳定性。通过研究不仅为现代雷达的抗干扰能力提升提供了理论支持,也为雷达技术的进一步发展与应用提供了重要参考。

关键词: 现代雷达; 干扰技术; 研究

引言: 现代雷达干扰技术研究是电子战领域的重要课题。随着电子技术的迅猛发展,敌方干扰手段日益多样化和复杂化,对雷达系统的正常工作构成了严重威胁。因此,深入研究现代雷达干扰技术,提升雷达的抗干扰能力,对于保障军事行动的顺利进行具有重要意义。通过本研究,我们期望能够推动现代雷达干扰技术的不断发展,为电子战领域的进步做出贡献。

1 雷达干扰技术概述

雷达干扰技术是一种专门用于扰乱或欺骗敌方雷达设备的电子干扰手段,旨在降低其效能甚至使其丧失功能。第一,雷达干扰技术主要包括主动干扰和被动干扰两种类型。主动干扰是通过发送干扰信号来干扰雷达系统的正常工作,例如发射假目标、频率干扰等。这种干扰方式可以直接影响雷达的探测性能和目标识别能力,造成误判和漏报,从而为干扰方创造有利条件。被动干扰则是利用外部干扰源对雷达系统的接收机进行攻击,例如电子对抗干扰、散射干扰等。这种干扰方式通过破坏雷达的接收信号,使其无法正常工作。第二,雷达干扰技术具有多种干扰手段,如距离欺骗、角度欺骗、速度欺骗和自动增益控制欺骗等。距离欺骗通过发送干扰信号,使雷达产生距离假目标,从而干扰雷达的距离分辨能力。角度欺骗则在单脉冲雷达分辨角内设置多个干扰源,干扰雷达的角跟踪系统。速度欺骗则通过发送不同频移的干扰信号,让雷达难以准确测定目标的移动速度。自动增益控制欺骗则通过连续干扰使雷达接收机工作失常,影响雷达的探测性能。第三,这些干扰技术的应用场景十分广泛。在军事领域,雷达干扰技术可用于降低敌方雷达的探测距离和精度,保护己方目标;在执行反潜作战时,可干扰敌方声呐探测,保护潜艇;在执行巡逻任务时,可隐蔽己方行踪,避免被敌方发现。

2 现代雷达干扰技术的主要方法

2.1 频率对抗技术

频率对抗技术的核心在于精确控制干扰信号的频率,以实现对方雷达的精准打击。这要求干扰方具备高度先进的电子设备和算法,能够实时分析敌方雷达的频率特性和工作模式,从而制定出有效的干扰策略。另外,在实际应用中,频率对抗技术通常采用多种干扰方式。其中,频率捷变干扰是一种常见的方法。它通过快速改变干扰信号的频率,使敌方雷达难以锁定和跟踪目标。这种干扰方式要求干扰方具备高速的频率切换能力,以确保干扰信号始终保持在敌方雷达的接收频段内。除了频率捷变干扰外,还有频带阻塞干扰和扫频干扰等多种方法。频带阻塞干扰通过在敌方雷达的工作频段内发射高强度的干扰信号,阻塞其接收通道,使其无法正常接收和处理目标回波。而扫频干扰则是通过连续扫描多个频段,发射宽带干扰信号,破坏敌方雷达的频率分辨率和测量精度^[1]。频率对抗技术的成功应用不仅取决于干扰设备的性能,还与干扰策略的制定和执行密切相关。干扰方需要根据敌方雷达的具体类型和工作模式,选择合适的干扰方式和参数,以最大化干扰效果。

2.2 极化对抗技术

现代雷达干扰技术中的极化对抗技术是一种重要的干扰手段,通过改变电磁波的极化状态来扰乱或破坏敌方雷达的正常工作。在现代电子战中,极化对抗技术发挥着举足轻重的作用,为干扰方提供了灵活且高效的干扰方式。一方面,极化对抗技术的核心在于利用电磁波的极化特性进行干扰。电磁波在传播过程中,其电场矢量会在空间中呈现出一定的方向性,这种方向性即为电磁波的极化。极化对抗技术通过改变干扰信号的极化状态,使其与敌方雷达的接收极化状态不匹配,从而干扰

雷达对目标的探测和识别。在实际应用中,极化对抗技术通常采用多种干扰方式。首先,干扰方可以通过发射与敌方雷达接收极化正交或斜交的干扰信号,使雷达难以接收到真实目标回波,从而实现对其的干扰。这种干扰方式能够有效地降低雷达的探测性能,使敌方雷达陷入迷茫。另一方面,干扰方还可以利用极化调制技术,使干扰信号的极化状态在多个状态之间快速切换。这种切换可以使敌方雷达难以适应和跟踪干扰信号,从而降低其抗干扰能力,通过精确控制干扰信号的极化方向和角度,干扰方还可以实现对敌方雷达的定向干扰,提高干扰效果。极化对抗技术的成功应用不仅取决于干扰设备的性能,还与干扰策略的制定和执行密切相关。干扰方需要深入了解敌方雷达的极化接收特性,制定出合理的干扰策略,干扰方还需要密切关注敌方雷达的技术进步和抗干扰能力的提升,及时调整干扰策略,确保干扰效果的持续性和有效性。

2.3 空域对抗技术

现代雷达干扰技术中的空域对抗技术是一种针对雷达探测空间范围的有效干扰手段。一是空域对抗技术的核心在于精确控制干扰信号的空间分布。干扰方需要深入了解敌方雷达的探测范围和性能特点,制定出合理的干扰策略。通过调整干扰发射机的天线指向和波束形状,干扰方可以实现对敌方雷达探测区域的精确覆盖。同时,通过控制干扰信号的发射功率和频率,干扰方还可以实现对不同距离和方位的雷达实施差异化干扰。在实际应用中,空域对抗技术通常结合其他干扰方式,如频率对抗和极化对抗等,以达到最佳的干扰效果。例如,通过结合频率捷变干扰和空域干扰,干扰方可以在敌方雷达的工作频段内快速切换干扰信号的频率和方向,使敌方雷达难以适应和跟踪。二是空域对抗技术的成功应用不仅取决于干扰设备的性能和技术水平,还与干扰策略的制定和执行密切相关。干扰方需要根据敌方雷达的部署情况和作战需求,灵活调整干扰策略,确保干扰效果的最大化。同时,干扰方还需要密切关注敌方雷达的技术进步和抗干扰能力的提升,及时更新和完善干扰手段,以应对不断变化的战场环境。

2.4 其他新型干扰技术

一种备受关注的新型干扰技术是数字射频存储(DRFM)干扰技术,DRFM干扰技术通过截获敌方雷达发射的信号,对其进行数字存储和处理,然后再生并转发给敌方雷达,实现对其的欺骗和干扰。这种技术具有高度的实时性和灵活性,可以针对不同类型的雷达实施精准干扰。同时,由于再生信号与原始信号高度相似,

敌方雷达往往难以区分真假,从而陷入误判和混乱。除此之外,另一种新型干扰技术是认知干扰技术。认知干扰技术结合了人工智能和信号处理等先进技术,通过对敌方雷达的工作状态、信号特征和作战意图进行实时分析和学习,制定出针对性的干扰策略。这种技术能够实现对敌方雷达的智能感知和自适应干扰,提高了干扰效果和作战效能。还有一些其他新型干扰技术也在不断发展和完善中,如量子雷达干扰技术、基于大数据的干扰技术等。量子雷达干扰技术利用量子力学的特性,实现对敌方量子雷达的干扰和破坏,具有极高的隐蔽性和抗干扰能力^[2]。基于大数据的干扰技术则通过收集和分析大量雷达信号数据,挖掘出敌方雷达的弱点和规律,为干扰方提供有力的决策支持。这些新型干扰技术的出现,不仅丰富了现代雷达干扰技术的手段和方法,也为干扰方提供了更多的选择和可能性。

3 现代雷达抗干扰技术的应对策略

3.1 频率多址技术

频率多址技术的基本原理是通过使用多个不同的工作频率,使雷达系统能够在受到干扰时迅速切换到其他未受干扰的频率上继续工作。这种技术可以显著增强雷达系统的生存能力和抗干扰能力,确保其在复杂电磁环境中的正常工作。在实际应用中,频率多址技术通常与宽频带技术相结合,实现雷达系统工作频率的灵活调整。宽频带技术使得雷达系统能够在更宽的频率范围内选择工作频率,从而更有效地避开敌方干扰。同时,频率多址技术还可以结合其他抗干扰技术,如极化分集、空间滤波等,形成多层次、全方位的抗干扰体系。频率多址技术的优势在于其灵活性和适应性。通过动态调整工作频率,雷达系统可以实时应对各种干扰威胁,确保信息的准确获取和目标的稳定跟踪。此外,频率多址技术还可以提高雷达系统的隐蔽性和反侦察能力,降低被敌方发现和攻击的风险。

3.2 脉内干扰抑制技术

脉内干扰抑制技术的核心在于对雷达接收到的信号进行精细处理。首先,雷达系统需要对接收到的信号进行高分辨率的时频分析,以准确识别出脉内干扰信号的特征和参数。这包括干扰信号的频率、幅度、相位等关键信息。通过对这些信息的精确掌握,雷达系统可以更加有针对性地制定干扰抑制策略。接下来,雷达系统可以采用多种脉内干扰抑制算法,如自适应滤波、波形设计等,对干扰信号进行抑制。自适应滤波技术可以根据干扰信号的特性,自动调整滤波器的参数,实现对干扰信号的有效滤除。波形设计技术则通过优化雷达发射波

形的形状和参数,降低干扰信号对雷达系统的影响。这些算法的应用,可以有效提高雷达系统对脉内干扰的抑制能力。随后,脉内干扰抑制技术还可以结合其他抗干扰技术手段,如频率捷变、极化分集等,形成综合抗干扰能力。频率捷变技术可以使雷达系统快速切换工作频率,避开敌方干扰;极化分集技术则通过利用不同极化方式的信号,降低干扰信号对雷达系统的影响。这些技术的结合使用,可以进一步提升雷达系统的抗干扰性能。

3.3 自适应波形设计

自适应波形设计的核心在于根据雷达工作环境和干扰特性,灵活调整发射波形的参数和形状,以实现对抗干扰的有效抑制和目标信息的准确提取。具体而言,它可以通过优化波形的频率、带宽、调制方式等,使雷达在受到干扰时仍能保持良好的探测性能。在实际应用中,自适应波形设计通常结合雷达系统的信号处理算法和数据处理能力,实现对干扰信号的自动识别和抑制。通过实时监测和分析雷达接收到的信号,自适应波形设计系统能够准确判断干扰类型、强度和来源,进而调整发射波形的相关参数,以最大限度地降低干扰对雷达性能的影响。此外,自适应波形设计还可以针对不同类型的目标进行优化。例如,对于高速运动目标,可以设计具有更高多普勒容忍度的波形;对于隐身目标,则可以设计具有更低截获概率的波形。通过针对不同目标特性进行波形优化,可以显著提高雷达系统的目标探测和识别能力。

3.4 天线自指向技术

天线自指向技术的核心在于利用先进的信号处理算法和控制系统,实时感知和分析雷达周围环境的变化,包括干扰信号的来源、强度和方向等信息。基于这些信息,天线自指向技术能够自动调整天线的指向,使其始终对准目标,确保雷达系统的正常工作。在实际应用中,天线自指向技术通常与多通道接收、数字波束形成等技术相结合,实现对干扰信号的有效抑制和目标信号的准确提取。多通道接收技术通过同时接收来自不同方向的信号,提高了雷达系统的空间分辨率和抗干扰能力。数字波束形成技术则通过灵活调整波束的形状和指向,实现对目标信号的精确聚焦和干扰信号的有效抑制。再者,天线自指向技术的优势在于其高度的灵活性和自适应性^[1]。无论干扰信号来自哪个方向,天线自指向

技术都能够迅速作出反应,调整天线的指向,确保雷达系统对目标的持续跟踪和探测。此外,该技术还能够根据目标的运动轨迹和速度,实时预测目标的未来位置,并提前调整天线指向,从而实现目标的提前预警和精确打击。

3.5 信号处理技术

信号处理技术能够通过对雷达接收到的信号进行精细分析和处理,有效抑制干扰信号,提取出目标信号,从而提高雷达的抗干扰能力和探测性能。在信号处理技术的应用中,首先需要雷达接收到的信号进行预处理,包括滤波、去噪等步骤,以减少信号中的噪声和干扰成分,为后续的信号处理提供高质量的输入。接着,通过采用先进的信号分析方法,如时频分析、波形识别等,对信号进行深入分析,准确识别出目标信号和干扰信号的特征。在识别出干扰信号后,信号处理技术可以采用多种策略进行干扰抑制。例如,通过自适应滤波算法,根据干扰信号的特性自动调整滤波器的参数,实现对干扰信号的有效滤除。值得注意的是,信号处理技术是一个不断发展的领域,新的算法和技术不断涌现。因此,在实际应用中,需要根据雷达系统的具体需求和性能,选择适合的信号处理技术,并结合其他抗干扰技术手段,形成综合的抗干扰能力。

结束语

现代雷达干扰技术研究是电子战领域持续关注的热点。通过深入研究多种干扰应对策略,我们不断提升雷达在复杂电磁环境中的抗干扰能力。随着科技的快速发展,新的干扰手段和应对技术将不断涌现,这为雷达干扰技术带来了更大的挑战与机遇。未来,我们需进一步加强创新,优化雷达系统设计,提升信号处理算法性能,以应对日益复杂的干扰环境。

参考文献

- [1]朱红亮.双点源干扰对抗雷达旁瓣匿影技术[J].电子信息对抗技术,2020,v.35;No.204(02):55-58.
- [2]张晓阳.现代雷达抗干扰技术及其应用研究[J].电子技术与软件工程,2022(16):150-152.
- [3]李明,王刚.雷达抗干扰技术发展现状与趋势分析[J].雷达科学与技术,2023,21(2):1-8.