

# 浅谈通信信号对雷达信号干扰的分析

张宏力 魏彤彤 秦三星

陕西长岭电子科技有限责任公司 陕西 宝鸡 721006

**摘要:** 随着现代通信技术的迅速发展,通信信号对雷达信号的干扰问题日益凸显。本文详细分析了通信信号对雷达信号干扰的基本原理、干扰类型、干扰影响,并探讨了雷达信号抗干扰的主要方法和技术。通过本文的分析,旨在为雷达系统的抗干扰设计和优化提供理论依据和技术参考。

**关键词:** 雷达信号;通信信号;干扰分析;抗干扰技术

## 引言

在现代社会中,雷达和通信系统广泛应用于军事、民用、航空、气象等多个领域。然而,随着通信基站分布越来越密,通信信号频率范围的不断扩展和变化,雷达信号受到通信信号的干扰问题愈发严重。本文将从通信信号对雷达信号的干扰原理、干扰类型、干扰影响以及雷达信号抗干扰的主要方法和技术等方面进行深入分析。

### 1 通信信号对雷达信号的干扰原理

通信信号对雷达信号的干扰,其核心原理可归结为频率重叠、功率压制以及调制方式干扰三个方面。首先,若通信信号与雷达信号在频率上高度接近或完全重合,雷达接收机在捕获目标回波的同时,也会不可避免地接收到通信信号。这种频率上的混叠,使得雷达信号中掺杂了通信信号的成分,进而干扰了雷达对目标信息的准确提取。其次,通信信号若具备较高的发射功率,其强大的信号强度可能会掩盖住较弱的雷达回波信号,导致雷达系统难以从混合信号中分辨出目标信息,从而影响了雷达的探测精度和可靠性。最后,通信信号所采用的调幅、调频、调相等复杂调制方式,会在信号中引入丰富的频率和相位变化。这些变化在雷达信号处理过程中可能产生额外的干扰,使得雷达系统难以准确识别和处理目标回波信号,进而降低了雷达系统的整体性能。

### 2 通信信号对雷达信号的干扰类型

#### 2.1 压制性干扰

压制性干扰,顾名思义,是通过发射强大的干扰信号来压制雷达信号,使其难以被雷达系统准确识别。这种干扰方式通常发生在通信信号与雷达信号频率相近或重叠的情况下。由于通信信号的发射功率可能远高于雷达信号,当两者同时被雷达接收机接收时,强大的通信信号会掩盖住较弱的雷达回波信号,导致雷达系统无法从混合信号中有效提取目标信息。压制性干扰的严重程度取决于通信信号的功率大小、频率与雷达信号的接

近程度以及雷达接收机的动态范围等因素。在极端情况下,压制性干扰可能导致雷达系统完全失效,无法对目标进行探测和定位。

#### 2.2 欺骗性干扰

欺骗性干扰是一种更为复杂的干扰方式,它通过发射与雷达信号相似的欺骗性信号,使雷达系统误判目标的位置或属性。这种干扰方式利用了雷达系统对信号处理和识别的特性,通过精心设计的欺骗性信号来迷惑雷达。欺骗性干扰的实现方式多种多样,例如,可以发射与雷达信号相同频率但具有不同延迟或相位的信号,使雷达系统误判目标的距离;或者发射具有与雷达信号相似波形但包含虚假信息信号,使雷达系统误判目标的属性<sup>[1]</sup>。这些欺骗性信号可能来自恶意的干扰源,也可能由于通信系统中的非线性效应或设备故障而产生。欺骗性干扰对雷达系统的影响尤为严重,因为它不仅干扰了雷达对目标的探测和定位,还可能导致雷达系统做出错误的决策。为了应对欺骗性干扰,雷达系统需要采用更为复杂的信号处理和识别算法,以提高对欺骗性信号的识别和抵制能力。

#### 2.3 窄带干扰

窄带干扰是由于通信信号带宽较窄而产生的特定频率范围内的干扰。与雷达信号相比,通信信号通常具有较窄的带宽,这意味着它们只在特定的频率范围内发射能量。当这些窄带通信信号与雷达信号共存时,它们可能在雷达信号的频谱上产生局部的干扰。窄带干扰对雷达系统的影响主要体现在两个方面:一是干扰雷达信号的频谱分析,使得雷达系统难以准确提取目标信息;二是干扰雷达系统的频率校准和稳定度,影响雷达系统的测量精度和稳定性。为了减轻窄带干扰的影响,雷达系统可以采用频谱滤波、频率捷变等技术手段来抑制干扰信号。

### 3 通信信号对雷达信号干扰的影响

### 3.1 探测距离变短

雷达的探测距离是其性能的关键指标之一，它决定了雷达能够覆盖的监测范围。然而，当通信信号与雷达信号在频率上相近或重叠时，它们之间会产生相互干扰。这种干扰可能导致雷达接收机接收到的信号质量下降，信噪比降低，进而使得雷达系统难以从背景噪声中区分出微弱的目标回波信号。因此，雷达的探测距离会因此缩短，其探测能力受到严重限制。在极端情况下，强大的通信信号甚至可能完全掩盖雷达信号，导致雷达系统无法探测到远距离的目标。

### 3.2 虚警率增加

虚警是指雷达系统错误地报告了目标的存在，而实际上并没有目标出现。通信信号的干扰是导致虚警率增加的一个重要原因。当通信信号与雷达信号相似或具有某种特定的调制方式时，它们可能会触发雷达系统的检测算法，使其误判为目标回波信号。这种误判不仅浪费了雷达系统的资源，还可能对后续的决策和行动产生误导。特别是在需要高度准确性的应用场景中，如空中交通管理、导弹防御系统等，虚警率的增加可能会带来严重的后果。

### 3.3 目标识别能力下降

雷达系统不仅需要探测到目标的存在，还需要准确识别目标的属性，如速度、方向、类型等。然而，通信信号的干扰可能会破坏雷达信号的完整性，使其难以准确反映目标的真实属性。例如，通信信号可能会在雷达信号中引入额外的频率成分或相位变化，导致雷达系统无法准确测量目标的速度或方向<sup>[2]</sup>。此外，通信信号中的调制信息也可能与雷达信号产生混淆，使得雷达系统难以区分目标信号和干扰信号，从而降低其目标识别能力。这种识别能力的下降可能会导致雷达系统无法准确判断目标的威胁程度或身份，进而对作战决策产生负面影响。

## 4 雷达信号抗干扰的主要方法和技术

### 4.1 MIMO-STAP技术

MIMO (Multiple Input Multiple Output) 技术，即多输入多输出技术，原本应用于无线通信领域，通过多根发射天线和多根接收天线来提高系统的容量和可靠性。在雷达信号处理中，结合STAP (Space-Time Adaptive Processing) 技术，即空时自适应处理技术，MIMO-STAP技术成为了一种先进的雷达信号处理方法。MIMO-STAP技术的核心在于利用多天阵列提供的空间分集和时间分集，通过空时二维联合处理来抑制杂波和干扰。具体来说，MIMO技术使得雷达系统能够同时发射多个相互独

立的信号，并通过多根接收天线接收回波信号。这些回波信号中不仅包含了目标信息，还包含了杂波、干扰以及噪声等不需要的成分。STAP技术则利用这些回波信号的空间和时间相关性，通过自适应算法调整权值，使得雷达系统能够最大限度地提取目标信息，同时抑制杂波和干扰。MIMO-STAP技术的优势在于其强大的干扰抑制能力和高分辨率的目标检测能力<sup>[3]</sup>。通过多天阵列的空时联合处理，该技术能够有效地抑制来自不同方向的干扰信号，包括通信信号在内的各种干扰源。同时，由于MIMO技术提供了更多的信号维度，使得雷达系统能够在复杂的电磁环境中准确地识别目标，提高目标检测的准确性和可靠性。

### 4.2 频率捷变技术

频率捷变技术是一种通过快速改变雷达发射信号的频率来避开干扰信号频率范围的方法。在雷达系统中，发射信号的频率是一个重要的参数，它决定了雷达系统的探测性能和抗干扰能力。然而，当雷达信号的频率与干扰信号的频率相近或重叠时，干扰信号会对雷达信号产生严重的干扰，影响雷达系统的正常工作。频率捷变技术通过快速切换雷达发射信号的频率，使得雷达信号在干扰信号的频率范围内“跳跃”，从而避开干扰信号的干扰。这种技术的关键在于频率切换的速度和准确性。频率切换速度越快，雷达系统就越能够灵活地应对各种干扰信号；频率切换越准确，雷达系统就越能够确保在避开干扰的同时保持对目标的准确探测。频率捷变技术的优势在于其简单有效且易于实现。通过改变雷达发射信号的频率，该技术能够直接避开干扰信号的频率范围，无需对雷达系统进行复杂的修改或升级。同时，由于频率捷变技术不依赖于干扰信号的具体特性，因此它能够应对各种类型和来源的干扰信号，包括通信信号在内的各种干扰源。

### 4.3 波形捷变技术

波形捷变技术是一种通过改变雷达发射信号的波形来使干扰信号难以识别和压制的方法。在雷达系统中，发射信号的波形决定了雷达信号的特性，包括信号的频率、相位、幅度等。通过改变这些特性，波形捷变技术能够使得雷达信号在干扰信号中“隐身”，从而避免被干扰信号识别和压制。波形捷变技术的实现方式多种多样，包括改变信号的调制方式、脉冲形状、脉冲重复频率等。例如，通过采用复杂的调制方式，如相位编码、频率编码等，波形捷变技术能够使得雷达信号在干扰信号中呈现出不同的特性，从而难以被干扰信号识别和压制。同时，通过改变脉冲形状和脉冲重复频率，波形捷

变技术还能够使得雷达信号在时间上呈现出不同的分布特性,进一步增加了干扰信号识别和压制的难度<sup>[4]</sup>。波形捷变技术的优势在于其灵活性和多样性。通过改变雷达发射信号的波形,该技术能够使得雷达信号在干扰信号中呈现出多种不同的特性,从而增加了干扰信号识别和压制的难度。同时,由于波形捷变技术不依赖于干扰信号的具体特性,因此它能够应对各种类型和来源的干扰信号,包括通信信号在内的各种干扰源。

#### 4.4 自适应波束形成技术

自适应波束形成技术是一种通过调整天线阵列的权值来使得雷达接收机的方向图能够自动避开干扰源,同时增强目标信号的方法。在雷达系统中,天线阵列是接收和发射雷达信号的重要组件。通过调整天线阵列中各个天线的权值(即信号的幅度和相位),自适应波束形成技术能够控制雷达接收机的方向图,使其指向目标方向并抑制干扰方向。自适应波束形成技术的关键在于权值的调整算法。这种算法需要根据雷达系统接收到的信号情况来动态地调整权值,以使得雷达接收机的方向图能够最大限度地抑制干扰信号并增强目标信号。常见的权值调整算法包括最小均方误差算法、递归最小二乘算法等。这些算法通过迭代计算来优化权值,使得雷达接收机的方向图逐渐逼近理想的形状。自适应波束形成技术的优势在于其强大的干扰抑制能力和目标增强能力。通过调整天线阵列的权值,该技术能够使得雷达接收机在复杂的电磁环境中准确地指向目标方向,并抑制来自其他方向的干扰信号。同时,由于自适应波束形成技术能够根据实际的信号情况来动态地调整权值,因此它能够适应各种不同类型的干扰信号和电磁环境。

#### 4.5 认知抗干扰技术

认知抗干扰技术是一种利用认知无线电技术来动态调整通信参数以适应电磁环境变化,从而有效抵御干扰的方法。在雷达系统中,认知抗干扰技术通过感知、学习和决策三个步骤来实现对干扰信号的智能识别和抵制。首先,认知抗干扰技术需要感知雷达系统所处的电磁环境。这包括检测和分析雷达系统接收到的各种信号,包括目标信号、干扰信号以及噪声等。通过感知电

磁环境,认知抗干扰技术能够获取干扰信号的特性,如频率、相位、幅度等,为后续的学习和决策提供依据。其次,认知抗干扰技术需要学习如何有效地抵制干扰信号。这包括研究干扰信号的传播规律、干扰机制以及干扰信号与雷达信号之间的相互作用等。通过学习这些知识,认知抗干扰技术能够开发出有效的抗干扰策略和方法,如调整雷达发射信号参数、优化雷达接收机的处理等。最后,认知抗干扰技术需要根据感知和学习到的信息来做出决策。这包括选择最佳的抗干扰策略和方法、调整雷达系统的参数以及优化雷达系统的性能等。通过决策,认知抗干扰技术能够使得雷达系统在复杂的电磁环境中保持高效的工作状态,并有效地抵御各种干扰信号的干扰。认知抗干扰技术的优势在于其智能性和自适应性。通过感知、学习和决策三个步骤,该技术能够动态地调整雷达系统的参数和处理方法,以适应不断变化的电磁环境。同时,由于认知抗干扰技术不依赖于干扰信号的具体特性,因此它能够应对各种类型和来源的干扰信号,包括通信信号在内的各种干扰源。

#### 结语

通信信号对雷达信号的干扰是一个复杂而重要的问题。本文详细分析了通信信号对雷达信号干扰的基本原理、干扰类型、干扰影响,并探讨了雷达信号抗干扰的主要方法和技术。通过本文的分析,可以看出,雷达系统需要采取多种抗干扰措施,以提高其抗干扰能力,确保在复杂电磁环境中的正常工作。未来,随着通信技术的不断发展和雷达系统的不断升级,通信信号对雷达信号的干扰问题仍将是一个值得深入研究的课题。

#### 参考文献

- [1]刘梅芷.浅谈通信信号对雷达信号干扰的分析[J].数字通信世界,2020,(02):79.
- [2]刘泽菡.双向通信—主被动雷达一体化波束成形研究[D].电子科技大学,2024.
- [3]魏子平.大规模MIMO通信与雷达信号处理技术研究[D].北京邮电大学,2024.
- [4]张汉伟,周秀珍.雷达、通信、干扰信号一体化检测识别技术研究[J].舰船电子对抗,2024,47(01):77-83+120.