

# 雷达信号识别关键技术分析

许任政

四创电子股份有限公司 安徽 合肥 230000

**摘要:** 雷达侦察系统作为现代军事与民用领域的关键探测手段,通过接收并分析雷达信号实现目标识别与参数测定。本文概述了雷达侦察系统的功能、分选技术及信号检测系统,并深入探讨了雷达信号识别的关键技术,包括检测技术、信号处理技术以及雷达数字信号处理技术。这些技术共同构成了雷达信号识别的核心,为提升雷达系统的性能和应用范围提供了有力支持。通过不断优化和创新,雷达信号识别技术将在更多领域发挥重要作用。

**关键词:** 雷达; 信号识别; 关键技术

引言: 雷达侦察系统作为现代电子侦察的重要组成部分,在军事和民用领域均发挥着不可替代的作用。随着技术的不断进步,雷达侦察系统已经发展成为一种高度集成、功能强大的探测工具。本文旨在全面介绍雷达侦察系统的基本构成和功能,并深入探讨雷达信号识别的关键技术。通过对这些技术的分析和研究,我们可以更好地理解雷达侦察系统的工作原理,为未来的技术创新和应用提供有益的参考。

## 1 雷达侦察系统概述

### 1.1 雷达侦察系统的功能

雷达侦察系统作为现代军事与民用领域中极为重要的探测手段,是借助雷达设备针对那些能够对雷达发射的电磁波产生反射效应的目标开展侦察活动的系统。其核心功能在于精准地发现并识别各式各样的目标,这些目标涵盖了飞机、舰船、导弹、卫星等多种类型。而且,该系统不仅能够确定目标的存在与否,更能精确测定目标所处的位置信息,包括其在三维空间中的坐标。对于目标的运动速度以及运动轨迹等关键动态参数,雷达侦察系统也能予以准确测定。

雷达侦察系统的发展历程悠久,从最初相对简单的目标探测功能,逐渐发展到如今集复杂目标识别、高精度参数测定以及应对复杂电磁环境等多种功能于一身的先进系统。其应用范围也不再局限于军事领域的防空、反导等作战场景,而是广泛渗透到民用航空的空中交通管制、天气预报中的气象观测、环境监测中的各类环境参数获取以及众多科学研究领域,如天文观测中对天体的探测、地球科学研究中对地球表面及大气层内现象的观测等。

### 1.2 雷达侦察系统分选技术

雷达信号分选是从侦察接收机前端所接收的极为密集的脉冲流中分离出多个雷达的脉冲序列,并从中挑选

出对后续分析和决策有用信号的复杂过程。这一过程的实现依赖于对雷达信号规律性的深入理解和巧妙运用,通过分析脉冲流中每个脉冲的特征,判断其来源。

在雷达信号分选过程中,存在多个关键的信号分选参数。其中,到达角是一个重要的参数,它表示雷达信号到达侦察接收机的角度方向信息。由于不同位置的雷达其发射信号到达接收机的角度具有明显差异,因此AOA在信号分选中是较为可靠的依据。射频则是雷达信号所对应的电磁波频率,不同类型、不同用途的雷达通常具有特定的射频范围,这使RF成为区分雷达信号的重要特征之一。脉冲重复间隔/脉冲重复频率参数反映了雷达发射脉冲在时间上的规律性,它对判断雷达的类型和工作模式非常重要

信号分选模式主要分为单参数分选和多参数综合分选两种。单参数分选是基于某一个特定的信号参数进行分选的方法,例如仅根据PRI进行分选。这种方法在某些特定情况下可以快速地对信号进行初步筛选,但由于仅依赖单一参数,可能会受到信号噪声、干扰以及部分雷达信号参数相似性的影响,导致分选结果的准确性存在一定局限。多参数综合分选则是同时考虑多个信号参数,通过综合分析这些参数之间的关系来提高分选的准确性和可靠性。例如,结合AOA、RF、PRI和PW等多个参数进行分选,可以更精确地识别不同雷达的信号,减少误判情况的发生<sup>[1]</sup>。

### 1.3 雷达信号检测系统

雷达信号检测系统作为高度集成且复杂的系统,主要由接收设备、信号处理设备、控制设备和分析决策设备这四个核心部分组成。每个部分都承担着独特且不可或缺的功能,共同保障了整个系统对雷达信号的有效检测和处理。

接收设备作为系统的前端,其主要功能是接收来自

外界的雷达信号。它需要具备高灵敏度和宽频带特性,以确保能够捕捉到各种频率和强度的雷达信号。为了适应复杂的电磁环境,接收设备还需要具备良好的抗干扰能力,能够在大量干扰信号存在的情况下准确地接收目标雷达信号。

信号处理设备通过一系列复杂的算法和处理技术,对信号进行滤波、放大、数字化等操作,将原始的模拟信号转换为便于后续分析的数字信号,并从中提取出有用的信息。这些信息包括信号的强度、频率、相位等特征参数,为后续的分析 and 决策提供数据支持。

控制设备根据预设的参数和算法,对接收设备和信号处理设备的工作模式、参数设置等进行动态调整。例如,在不同的电磁环境下,控制设备可以调整接收设备的增益、带宽等参数,以优化信号接收效果;它还可以控制信号处理设备的处理流程和算法选择,确保信号处理的准确性和高效性。

分析决策设备是基于信号处理设备所提取的信号信息,运用先进的分析算法和模型,对雷达信号进行深入分析。其功能包括对雷达信号的监测,通过分析信号的特征参数来检测雷达的运行状况和性能。例如,通过监测雷达信号的频率稳定性、脉冲参数的变化等,可以判断雷达是否正常工作,是否存在故障隐患。该设备还能够对雷达信号的干扰情况进行监测,及时发现和识别干扰源。

## 2 雷达信号识别的关键技术

### 2.1 检测技术

雷达信号检测技术作为雷达信号识别的基石,是整个识别过程的起点和关键环节,它主要包括信号检测理论和最佳检测系统两个重要方面。

信号检测理论主要致力于解决判断信号是否存在的方法及其最佳处理方式这一核心问题。在复杂的电磁环境中,雷达接收端接收到的信号往往是由目标雷达信号、背景噪声以及各种干扰信号混合而成的。如何从这样复杂的混合信号中准确地判断目标雷达信号的存在与否是信号检测理论的核心挑战。这涉及到对信号与噪声的统计特性分析、信号检测的准则制定以及相应的数学模型建立。例如,在基于概率论的信号检测理论中,通过分析信号和噪声的概率分布函数,制定似然比检测准则,以此来判断在给定观测数据下信号存在的可能性。为了优化检测效果,还需要考虑如何在不同的信噪比条件下选择最佳的检测方法,以平衡检测的准确性和虚警概率。

最佳检测系统则是在信号检测理论的指导下构建的

一种优化的信号检测架构,它主要由似然比计算器和门限判决器组成<sup>[2]</sup>。似然比计算器根据接收到的信号数据计算出信号与噪声的似然比,这一比值反映了在当前观测情况下信号存在的相对可能性。门限判决器则根据预先设定的门限,对似然比进行比较和判决。其核心目标是在保持某一规定的虚警概率下使漏检率达到最小或使正确检测率达到最大。虚警概率是指在没有目标信号存在的情况下错误地判断为有信号的概率,漏检概率则是指在有目标信号存在时未能检测到信号的概率。通过合理设置门限和优化似然比计算方法,可以在这两个概率之间找到一个最佳的平衡点,从而提高雷达信号检测的性能,为后续的信号识别提供可靠的基础。

### 2.2 信号处理技术

雷达信号处理涉及多个步骤和多种技术,其目的在于从接收到的原始雷达信号中提取有用的目标信息,并通过优化处理提高雷达系统的性能,以满足不同应用场景下的需求。

预处理技术是雷达信号处理的第一步,它包括滤波、放大、降噪等操作。滤波技术旨在从接收信号中去除不需要的频率成分,例如通过带通滤波器可以选择特定频段的雷达信号,抑制其他频段的干扰信号,提高信号的纯净度。放大操作则是针对接收到的微弱雷达信号进行增益调整,使其强度达到后续处理电路或算法能够有效处理的范围。降噪处理是为了降低背景噪声对雷达信号的影响,提高信号的信噪比。这可以通过多种方法实现,如采用自适应噪声抵消技术,利用信号与噪声的相关性差异,从混合信号中减去估计的噪声成分。

特征提取技术是在预处理后的信号基础上进行的,它是从复杂的雷达信号中挖掘出那些能够代表目标特性的关键特征的过程。这些特征可以包括信号的时域特征、频域特征以及时频域特征。通过对这些特征的提取,可以将原始的雷达信号转换为一组具有代表性的特征向量,为后续的目标分类与识别提供依据。例如,对于一个特定类型的雷达,其发射的信号在脉冲宽度和载波频率上具有特定的取值范围,通过提取这些特征,可以在众多雷达信号中识别出该类型雷达的信号。

模式识别技术是雷达信号处理的最后关键环节,它利用提取的特征向量对目标进行分类与识别。这一技术基于机器学习、统计分析等多种方法。例如,在基于机器学习的模式识别中,可以使用支持向量机、神经网络等算法。通过训练这些算法,使其学习不同类型雷达信号的特征模式,从而在面对新的雷达信号时能够准确地判断其所属的类别。模式识别技术不仅可以识别雷达的

类型,还可以从而分析目标的状态信息,如目标的运动状态、是否存在故障等。在军事应用中,准确的模式识别可以区分敌方和己方雷达信号,判断敌方雷达的工作模式,为军事决策提供有力支持。在民用领域,模式识别技术有助于识别不同功能的雷达信号,保障空中交通管制、气象监测等系统的正常运行。

### 2.3 雷达数字信号处理技术

随着数字技术的蓬勃发展,雷达数字信号处理技术主要涵盖数字滤波、傅里叶变换、小波变换等数字信号处理算法,以及用于实现这些算法的数字信号处理器等硬件设备。这些技术和设备相互配合,为雷达信号识别的准确性和可靠性提升发挥了关键作用。

在数字滤波方面,其核心在于通过精心设计合适的滤波器来抑制噪声和干扰信号,从而提高信号的信噪比。滤波器的设计是一个基于信号频率特性和干扰特性的复杂过程。例如,在存在大量低频噪声干扰的环境下,可以设计高通滤波器,只允许高于特定频率的雷达信号通过,有效地滤除低频噪声,使雷达信号更加清晰。针对不同类型的雷达信号和特定的干扰源,可以采用更具针对性的滤波方法,如自适应滤波。自适应滤波器能够根据输入信号和噪声的实时变化,自动调整滤波器的参数,更好地适应复杂多变的电磁环境,从而提高滤波效果,确保雷达信号的质量,为后续的信号分析和识别奠定良好的基础。

在傅里叶变换方面,它可以将雷达信号从时域转换到频域,从而分析信号的频率特性。通过傅里叶变换,原本在时域中表现复杂的雷达脉冲信号,在频域中呈现出清晰的频谱结构。例如,对于具有特定调制方式的雷达信号,其在频域中的频谱会显示出独特的特征,如频率的离散分布、幅度的变化规律等。这些频域特征可以帮助识别雷达信号的调制类型,进而推断雷达的功能和性能。此外,傅里叶变换还可用于分析雷达信号中的谐波成分,通过对谐波的研究,从而了解雷达信号的产生机制和潜在信息,为雷达信号的识别和分类提供更丰富的依据。

在小波变换方面,它为雷达信号的分析提供了一种多尺度分析的强大工具,可以对雷达信号进行多尺度分析,提取信号的时频特征。与傅里叶变换不同,小波变换在分析信号时具有时间-频率局部化的特性。这意味

着它能够在不同的时间和频率尺度上同时观察信号的变化。对于雷达信号中那些具有瞬态特性或局部频率变化的情况,小波变换能够更敏锐地捕捉到这些特征。例如,当雷达信号在某个短暂的时间区间内出现频率突变时,小波变换可以在相应的尺度和时间位置上清晰地显示这种变化。通过对不同尺度下小波变换结果的分析,可以提取出雷达信号丰富的时频特征,这些特征对于识别复杂调制的雷达信号、区分不同类型的雷达以及分析雷达信号在复杂环境下的变化规律具有重要意义,有助于提高雷达信号识别的准确性和对复杂信号的处理能力<sup>[1]</sup>。

而数字信号处理器作为实现这些数字信号处理算法的硬件核心,具备高速运算能力和专门的指令集,能够高效地执行复杂的数字信号处理任务。DSP可以实时处理大量的雷达数据,满足雷达系统对信号处理速度和精度的要求。它可以快速完成滤波、变换等运算操作,确保雷达信号识别系统能够在短时间内对接收的信号进行处理和分析,及时输出准确的结果。DSP的可编程性使其能够适应不同类型雷达信号处理的需求,通过软件编程实现不同的算法和参数设置,为雷达数字信号处理技术的应用提供了极大的灵活性,推动了雷达信号识别技术在不同领域的广泛应用和不断发展。

### 结束语

综上所述,雷达信号识别技术是现代雷达侦察系统的核心所在。通过不断优化和创新,这些技术已经取得了显著的进步,为雷达系统的性能提升和应用范围扩展提供了有力支持。未来,随着数字技术的不断发展和应用需求的不断变化,雷达信号识别技术将继续面临新的挑战 and 机遇。我们相信,在科研人员的共同努力下,雷达信号识别技术将不断取得新的突破,为更多领域的发展贡献智慧和力量。

### 参考文献

- [1]柴恒,姚群,徐瑞荣.雷达信号知识挖掘方法研究[J].舰船电子工程,2020,40(08):76-79-88.
- [2]张怀国.雷达信号识别关键技术研究[J].电子技术与软件工程,2020(10):85-87.
- [3]葛鹏,张文强,金炜东,郭建,何贤坤.具有可解释性的OFDM雷达信号识别方法[J].太赫兹科学与电子信息学报,2020,18(02):228-234.