

雷达参数级智能化抗干扰研究及应用

王党辉 许保卫*

西安电子工程研究所 陕西 西安 710100

摘要: 在雷达和电子对抗装备智能化水平相同的条件下, 由于电子对抗具有攻击主动和能量优势的特点, 雷达方处于劣势地位。因此, 雷达需采取比电子对抗更高的智能化水平来进行应对。本文主要对雷达参数级智能化抗干扰进行探讨。

关键词: 雷达; 电子对抗装备; 智能化水平; 抗干扰

DOI: <https://doi.org/10.37155/2717-5170-0401-1>

引言

随着干扰技术手段的不断升级, 雷达抗干扰技术也在不断地发展。现代雷达对抗的新技术也越来越集中体现在智能化雷达抗干扰的性能上, 因此, 提高雷达的智能化抗干扰能力是当前雷达所面临的重要课题。

1 智能抗干扰等级划分

以人工智能水平为依据, 从功能、技术特征和应用场景三个方面对雷达智能抗干扰制定了分级标准, 将智能抗干扰分为L0~L4五个层级, 如图1所示。其中, L0~L2为抗干扰辅助功能, L3和L4为智能抗干扰功能。

	L0级别	L1级别	L2级别	L3级别	L4级别
操作人员需要做什么?	即使自动抗干扰策略已开启, 操作人员仍需操控部分反干扰措施, 例如主动的发射波形调整等		操作人员需关注干扰环境变化, 有时需要试探调整抗干扰措施后的探测效果反馈	当自动抗干扰策略已开启, 操作人员不需操控任何反干扰措施	最优解, 无需操作人员接管
	自动抗干扰辅助特点			自动抗干扰特点	
有何技术特征?	基于干扰测频或干扰检测的自适应控制	基于干扰测向的空域自适应处理	基于干扰样式识别的多域联合自适应处理	基于参数化的认知发射和自适应处理	基于评估、推理、博弈的智能决策
典型应用举例?	● 宽带阻塞式干扰	● 远距离支援干扰场景 ● 随队支援干扰场景 ● DRFM干扰	● 远距离支援+随队支援干扰场景 ● DRFM干扰	● 远距离支援+随队支援干扰场景 ● 自卫式干扰场景 ● 已知样式和参数的干扰	● 多个方向的复杂组合干扰场景 ● 新样式或新参数的干扰

图1 雷达智能抗干扰分级图

1.1 L0级智能抗干扰

L0级智能抗干扰提供受干扰提示、自动开关等基本的抗干扰功能, 如自动跳频控制、自动恒虚警检测、自动增益控制等功能。

最常见的L0级智能抗干扰为自适应跳频, 具有环境感知—决策—反馈的基本闭环链路。雷达采用快速侦收测频系统, 通过测量外界电磁环境, 获取最佳工作频点。这种自适应跳频响应速度, 可应对非数字射频存储 (DRFM) 体制的慢变干扰, 例如宽带阻塞式干扰, 寻找干扰发射机的频率缺陷位置。当面对DRFM体制干扰时, 由于干扰机的采样间隔可小到微秒级, 远小于一般预警探测雷达的脉宽, 因而自适应跳频效果甚微^[1]。

1.2 L1级智能抗干扰

L1级提供受干扰强度、方向信息和干扰类型 (压制干扰或欺骗干扰), 除L0功能外, 根据探测方向和干扰方向, 控制自适应波束形成, 实现副瓣对消、副瓣匿影、空时二维自适应处理等功能。

干扰方向和波束指向之间的关系决定了采用的空域抗干扰处理方法: 当干扰位于波束指向的主瓣区时, 不能采取空

*通讯作者: 许保卫, 1983.9.13, 汉, 男, 陕西西安, 西安电子工程研究所, 工程师, 本科, 研究方向: 雷达。

域抗干扰措施；当干扰位于波束指向近主瓣区时，可以消耗一定阵列自由度实现空域滤波，同时需要额外的阵列自由度完成对目标角度的精确估计；当干扰位于波束指向副瓣区域时，只需与干扰数量相匹配的阵列自由度参与波束形成即可。这些均可通过智能化来决策^[2]。

1.3 L2级智能抗干扰

L2级提供受干扰强度、方向信息和干扰样式（压制、欺骗、灵巧噪声等），除L0和L1功能外，根据干扰样式匹配抗干扰规则库，自动调用干扰抑制措施。

干扰样式包括以下两种方式：（1）粗分类。利用雷达对干扰信号匹配滤波处理后遭受的干扰结果进行分类，例如：利用噪底抬高判别压制干扰，利用目标数量和分布判别欺骗干扰。根据粗分类结果可制定相应的自适应对抗规则。

（2）精分类。直接基于干扰信号的时频测量结果，实现L3级的自适应参数对抗。

自适应对抗规则从抗干扰机理出发，将干扰分为副瓣干扰和主瓣干扰，再将干扰分类为压制、欺骗、灵巧等样式，针对不同空间关系和干扰样式制定对抗规则，如表1所示。其中，“●”表示开启，“○”表示可选，“×”表示关闭。

表1 典型抗干扰规则

	副瓣对消	副瓣匿影	盲源分离	反异步	窄脉冲剔除	点迹过滤	聚类	跳频	掩护	杂波图	MTI
副瓣 压制	●	×	×	×	○	○	×	○	○	×	○
副瓣 欺骗	●	●	×	○	○	○	○	○	○	○	○
副瓣 灵巧	●	●	×	○	○	○	○	○	○	○	○
主瓣 压制	×	×	●	×	●	×	×	●	●	×	×
主瓣 欺骗	×	×	●	●	●	●	●	●	●	×	○
主瓣 灵巧	×	×	●	●	●	●	●	●	●	×	×

1.4 L3级智能抗干扰

从L3级开始进入了真正意义上的自动抗干扰。雷达具有独立的干扰侦收通道，除精确测向外还能对干扰信号的时间分布、频谱分布特征参数快速测量，并实时追踪干扰的变化，将其反馈给雷达决策中心。雷达决策中心同时接收雷达对抗干扰效能的评估结果，决策最佳的发射方式和处理方式。

L3级典型技术特点是高维度系统资源调度参数化。雷达具有多个自由度的发射孔径供灵活调度，既可全阵面联合发射，也可分阵面分集发射；信号波形具有一定的灵活性，频率、脉宽、带宽、重频、参差/抖动比、脉冲个数等均可通过参数实时调整，复杂波形可通过在线加载或实时产生方式调整；如设计允许，雷达采用可变极化控制方式。

L3级的决策过程依然基于抗干扰规则库，但相比L2级，规则对于干扰特征和雷达对抗措施的描述维度更高且可量化。规则的更新依赖于历史上抗干扰数据或仿真数据的概率统计。遇到新样式或新参数的干扰时，要求操作员接管抗干扰控制权。

1.5 L4级智能抗干扰

L4级的技术特点是具有评估推理能力和采用博弈论方法进行决策。雷达具有并行处理通道和融合处理能力。L4级的决策过程基于二人有限零和博弈的收益函数，需三个要素：（1）对雷达抗干扰性能的量化评估，通过功率准则、信息准则、概率准则、战术应用准则等设计评估指标实现；（2）雷达方的抗干扰策略以知识库的形式存在；（3）干扰方的干扰策略，已知的干扰策略存储于知识库中，新的干扰策略需通过实时感知干扰机对雷达抗干扰策略的响应变化，通过推理获得。L4级自动抗干扰，可应对各种复杂的组合干扰场景，实时动态给出“最优解”。

2 复杂电磁环境下的雷达抗干扰技术

2.1 极化抗干扰

每一种雷达天线都具有极化选择的功能，当外界信号与雷达天馈系统极化特性相同时，接收的信号能量最大，而当二者极化状态完全不匹配时，接收的信号能量最小，即它能接收相同极化的信号，抑制正交极化的信号，又由于不同材料和形状的物体具有不同的极化反射特性，因此它可以根据目标回波信号的极化特性，来把外界干扰信号和要接收的目标回波信号区分开，采用自适应极化抗干扰技术从而达到匹配接收目标信号和抑制有源干扰信号的目的。雷达自适应极化抗干扰的原理框图如图2所示。

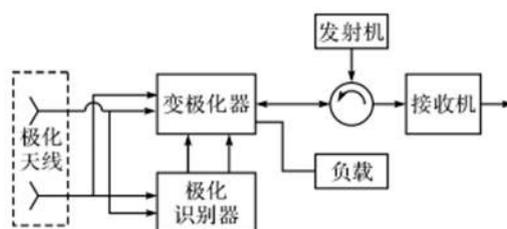


图2 雷达自适应极化抗干扰的原理框图

它由发射机、接收机、双极化天线、极化识别器、变极化器以及收发开关组成，通过极化识别器判断干扰的极化方式，然后控制变极化器产生与外界干扰信号极化方式正交的雷达发射信号，从而抑制干扰信号的接收。

2.2 多功能相控阵技术

相控阵雷达天线通过电控指令改变天线在孔径面上的相位分布，实现对波束指向和波束形成的控制作用，利用其波束的自适应扫描功能和灵活性，相控阵雷达可以根据反干扰的需要来实施“功率管理”。与其它雷达天线相比，多功能相控阵雷达具有波束稳定性好、体积小、反应时间短、灵活快速地波束指向、有效辐射功率高以及抗干扰性能好等诸多优点^[1]。所有的这些优势使得相控阵雷达天线成为电子扫描天线中最引人注目的一种，在现代的雷达对抗中获得了广泛的应用。

2.3 多波束技术

多波束系统是指利用多波束网络或多束透镜在空间形成的多个独立且相互邻接的高增益波束。它的技术优点是：每个波束都包含了天线阵孔径的全部增益；能以很高的角分辨率对空间进行不间断地扫描；能覆盖很宽的频率范围和扇面；每个阵元前面都装有一个独立的低功率微波放大器，因此可以产生很大的有效辐射功率来对抗干扰威胁。

2.4 低截获概率技术

低截获概率信号是指采用频谱扩展和随机调制等措施，降低了雷达辐射载波的功率。使雷达探测到敌方目标的同时，敌方截获到这种雷达信号的可能性概率最小，从而保护雷达不受外界电子干扰信号的干扰，大大地增强了雷达的作战和生存能力。

2.5 综合抗干扰技术

综合抗干扰是指采用多种战术方法和对抗技术进行的抗干扰措施。单一的抗干扰方法只能对付某一种单一的干扰，如副瓣对消只能对付连续波噪声干扰不能对抗分布式干扰；频率捷变技术只能抗有源干扰而不能抗消极干扰；单脉冲测角技术只能抗角度欺骗而不能抗距离欺骗等，因此可以将多种抗干扰技术相结合，综合采用多种抗干扰措施来有效提高雷达的抗干扰能力。此外，采用灵活多变的战术也能发挥积极有效的抗干扰作用。

3 结语

综上所述，干扰和抗干扰是雷达和电子对抗领域永恒的主题，对抗双方都没有一招制胜的“必杀技”，智能化水平的发展在互相的博弈中螺旋式上升。雷达的干扰和抗干扰技术是永远矛盾的两个方面，它们在各自的对抗中发展着自己，只要它们的斗争不完结，那么它们的发展就不会停止。只有拥有更多的电子战资源优势，才能在战场中找到对方的弱点，从而掌握雷达抗干扰技术的主动权。

参考文献：

- [1]王鑫.基于干扰认知的智能化雷达干扰对抗系统[J].电子信息对抗技术,2020,33(6):48-52.
- [2]范伟.雷达有源干扰信号特征分析与识别算法研究[D].成都:电子科技大学,2020.
- [3]赵健.基于复杂电磁环境下的雷达抗干扰技术[J].民营科技,2020,(1):59-61.