

复杂杂波环境下雷达假目标矩阵干扰模拟技术应用

费香邦¹ 李少鹏²

上海航天电子技术研究所

DOI: 10.32629/jpm.v7i1.8686

[摘要] 对于复杂杂波环境对于雷达的探测性能的干扰挑战, 假目标矩阵干扰模拟技术是提升电子对抗能力的主要方式, 合理应用对于保障最终效果有非常重要的作用。文章从这一技术的应用方向入手, 阐述了假目标矩阵干扰模拟技术主要构成, 并从复杂杂波环境建模适配、多个维度的假目标矩阵创建与干扰实施、动态干扰场景之下的模拟技术调控、干扰效果评估和优化等关键应用环节, 分析了这一技术的应用流程、实施方法和核心参数设置。

[关键词] 复杂杂波; 雷达; 假目标矩阵; 干扰模拟技术

Application of simulation technology for radar false target matrix interference in complex clutter environment

Fei Xiangbang¹ Li Shaopeng²

Shanghai Institute of Aerospace Electronics Technology

[Abstract] For the interference challenge of complex clutter environment on radar detection performance, false target matrix interference simulation technology is the main way to improve electronic countermeasures capability. Reasonable application plays a very important role in ensuring the final effect. Starting from the application direction of this technology, the article elaborates on the main components of false target matrix interference simulation technology, and analyzes the application process, implementation methods, and core parameter settings of this technology from key application links such as modeling and adaptation of complex clutter environments, creation and implementation of false target matrices from multiple dimensions, simulation technology regulation under dynamic interference scenarios, interference effect evaluation and optimization.

[Key words] complex clutter; Radar; False target matrix; Interference simulation technology

雷达能够感知周围态势, 其工作环境愈加复杂, 地面物体的杂波、海杂波、气象杂波等多样化杂波的叠加, 都从不同程度上增加了雷达目标探测和识别的难度。假目标矩阵干扰模拟技术借助创建多个批次、多个参数且逼真程度高的假目标信号矩阵, 能在复杂的杂波环境中对于类型形成干扰, 破坏其对于真实目标的探测和跟踪。和传统的单假目标干扰技术相比较, 假目标矩阵干扰模拟技术有着干扰的范围较广、干扰的强度较大且迷惑性较强等的优势。

一、假目标矩阵干扰模拟技术核心构成

假目标矩阵干扰模拟技术的主要目标就是要在复杂的杂波环境中, 生成能够符合雷达目标特点的假目标信号矩阵, 从而实现对于雷达的精准干扰。其主要的构成包含: 杂波环境建模模块、假目标信号生成模块、信号矩阵调度模块、干扰效果评估模块。不同的模块一起协同工作, 形成一个完整的干扰模拟链路。杂波环境建模模块主要负责采集并分析一些复杂的杂波

环境的基本特点和参数, 创建贴合实际场景的相关杂波模型, 给后续假目标信号生成和融合提供环境的基础; 假目标信号生成模块按照雷达目标的散射特点和运动特点等的参数, 会生成具有高逼真度的单假目标信号; 信号矩阵调度模块会把生成的单假目标信号按照预设的对策开展组合机调度, 从而形成多个维度且多个批次的假目标矩阵, 进而实现杂波信号的融合与输出; 干扰效果评估模块主要采集雷达所探测到的数据, 评估假目标矩阵干扰的实际有效性, 给技术参数的优化提供更多依据^[1]。不同的模块之间的高效协同是保证假目标矩阵干扰模拟技术能够有效应用的基础, 其核心的参数适配性会直接地影响到干扰的效果。

二、复杂杂波环境下假目标矩阵干扰模拟技术应用关键环节

(一) 复杂杂波环境建模与适配应用

复杂杂波环境的精准建模是假目标矩阵干扰模拟技术在

应用方面的前提，只有保证杂波模型和实际的环境能够高度契合，才可以保证假目标信号和杂波信号的高效融合，从而提升干扰的逼真程度。这一环节的应用流程主要包含：杂波的数据采集、杂波的特征分析、杂波的模型创建和模型的适配优化这四个步骤。

在杂波的数据采集阶段中，要按照实际的应用场景选择相对应的采集设备，采集不同的时间段和不同的气象条件之下的杂波的数据。在采集的过程中要重点的关注杂波在功率谱的密度、幅度分布和相关性等的关键性参数，以此保证采集数据的完整性和代表性。如在海洋杂波环境数据的采集中，需要记录海况不同的等级、风速和风向等参数，给后续的杂波特征分析提供更多支撑。在杂波特征的分析阶段中，使用统计分析和时频分析相结合的方式，对所采集的杂波数据开展深入分析。借助统计分析所获取的杂波均值、方差和概率密度函数等的统计参数，明确杂波在幅度分布上的特点；借助时频分析来分析杂波在时频变化上的规律，从而掌握杂波的一些动态特点。针对复杂杂波环境中多个类型的杂波相叠加的特点，还需要使用盲源分类的技术对不同类型的杂波开展分离，以此明确不同类型杂波的特点和参数。

在杂波模型创建阶段会按照特征分析的结果，选择适合的建模方式来创建杂波模型。比较常用的杂波建模方式为：统计建模法、物理建模法和混合建模法。其中，统计建模法，是基于杂波的统计特点所创建的模型，比较适用于杂波特点相对稳定的场景中；物理建模法是基于杂波的产生机理来创建的模型，借助分析杂波和环境之间的相互作用的过程，精准的描述杂波的实际生成规律，比较适用于一些复杂复变的杂波环境中；而混合建模法则融合了以上两种方式的优点，兼顾了模型的精度和实时性，是复杂杂波环境建模的常用方式。

模型适配优化阶段主要是把创建的杂波模型和实际测量的杂波数据开展比较和分析，从而计算出模型的误差指标，按照误差的情况对模型的相关参数开展迭代和优化。与此同时，因为实际的杂波环境会有动态化的变化特点，需要设计自适应的调整机制，以保证能够实时地更新杂波模型的参数，保证模型能够始终适当前环境。

(二) 多维度假目标矩阵构建与干扰实施应用

多维度的假目标矩阵在创建和干扰实施上是假目标矩阵干扰模拟技术经验的核心环节，其主要的目标就是要生成具备逼真度高且多个维度分布的假目标信号矩阵，并将其精准地作用在雷达系统中，进而实现对雷达探测和跟踪功能的干扰。这一环节的应用流程主要为：假目标参数设计、单假目标信号生成、假目标矩阵创建、杂波-假目标信号融合和干扰信号发射这五个步骤。

假目标参数设计阶段要按照雷达的实际工作参数和目标探测的特点，来设计假目标的一些关键参数。为了提升假目标

的迷惑性，要保证假目标的参数和真实目标的参数有部分相似，并借助多参数的差异化设计，实现假目标矩阵的多个维度的部分设计^[2]。除此之外，也要按照复杂杂波环境中的特点和参数，设计假目标信号的实际功率和参数，以此保证假目标信号能够在杂波环境中被雷达探测到，避免一些功率过高被雷达识别成为干扰信号。

单假目标信号生成阶段会按照所设计的假目标参数，使用信号生成算法来生成单假目标的信号。一些常用的假目标信号生成算法为：直接数字合成 (DDS) 算法、正交调制算法等。其中 DDS 算法有着频率分辨率较高、相位连续且切换的速度比较快等的优势，适合用在一些生成高精度假目标信号操作中；而正交调制算法则借助对于基带信号的正交调制，实现假目标信号在幅度、频率和相位等参数方面的灵活调控。在实际的应用中，要按照假目标参数在精度上的要求和实时性上的要求，选择适合的信号生成算法。如，在一些精度较高的假目标信号生成场景中，使用 DDS 算法，借助优化相位累加器的位数和频率控制的精度，提升假目标信号的频率分辨率和相位的精度；在实时性要求比较高的动态干扰场景中，使用正交调制的算法，借助硬件电路的并行处理来提升假目标信号的实际生成速度。

在假目标矩阵的创建阶段，使用多层次调度对策，把生成的单假目标信号按照预设的空间分布、时间序列和功率等级开展组合，形成一个多维度的假目标矩阵。首先，会按照实际的干扰需求来划分假目标矩阵的实际层次结构；其次，会针对不同层次的假目标，设计出对应的调度算法，以此实现假目标信号的有序组合；最后，借助矩阵重组技术，把不同层次的假目标信号整合成为完整的假目标矩阵。

在杂波-假目标信号融合阶段中，使用信号叠加和自适应加权的算法，把穿管的假目标矩阵和复杂杂波模型生成的杂波信号开展融合处理。首先，会对假目标信号和杂波信号开展同步操作，以此保证二者能够在时间、频率和相位上保持一致；其次，按照杂波环境的特点参数和假目标信号的实际功率参数，设计自适应的加权系数，借助加权叠加来实现假目标信号和杂波信号的自然融合；最后，对于融合之后的信号开展滤波操作，消除因为信号叠加所产生的噪声，提升融合信号的质量。

在干扰信号的发射阶段中，会借助发射天线把融合之后的杂波-假目标信号精准地发射到雷达的接收端。在实际的发射中，需要按照雷达的实际位置和工作的状态等基本参数，调整发射天线的方向和增益等参数，以此保证干扰信号能够被雷达高效地接收。

(三) 动态干扰场景下的模拟技术调控应用

在实际的应用中，雷达的实际工作参数和运动的状态与杂波的环境等，都会出现动态的幻化，所以，需要对于假目标矩阵干扰模拟技术开展必要的动态调控，以此保证干扰效果的持续性和有效性。动态的调控在应用方面主要包含：干扰参数自

适应调整、假目标矩阵动态重构和干扰策略优化这三个方面。

干扰参数的自适应调整,主要以雷达所探测的数据和杂波环境所检测到的数据为主要的依据,借助自适应算法来实时调整假目标的幅值、频率、相位和时延等的参数、干扰信号的发射功率和发射时序等的参数。如,在雷达调整到工作频率的时候,会借助频率检测模块实时的捕捉雷达的最新工作频率,并使用自适应频率跟踪算法,调整假目标信号的频率和参数,以此保证假目标信号能够和雷达工作的实际频率相匹配;在杂波的强度增大的时候,会自动提升干扰信号的发生功率,以此保证假目标信号能在杂波中被雷达监测。一些常用的自适应算法为:最小均方误差算法、递归最小二乘算法等,会按照调控的精度和实时性来选择最适合的算法^[3]。

假目标矩阵动态重构会按照雷达跟踪对策的变化,实时地调整假目标矩阵的结构和分布情况。借助分析雷达所跟踪的数据,判断雷达对于假目标的实际跟踪状态,当雷达锁定了一个假目标的时候,会即时地重构假目标矩阵,从而生成全新的假目标批次,并改变假目标的空间分布和运动的特点,进而破坏雷达在跟踪上的连续性。假目标矩阵的动态重构的关键就是要保证重构的实时性,需要使用并行处理技术和快速调度算法,提升矩阵在重构上的效率。

干扰策略优化师基于动态干扰场景的实时变化,实时地调整干扰的模式和干扰的强度。按照雷达的不同类型、不同工作状态和不同所处环境,会预设多样化的干扰对策。借助干扰效果的评估数据来判断当前干扰对策的有效性,当干扰的效果下降的时候,会自动切换到适配的干扰对策

(四) 干扰效果评估与优化应用

干扰效果的评估和优化,是假目标矩阵干扰模拟技术应用的主要保证环节,借助科学的评估指标和优化方式,能够精准地判断出干扰的效果,给技术参数的调整和优化提供更多依据,最终提升技术的实际应用效能。这一环节的应用流程主要包含:评估指标创建、干扰数据采集、干扰效果评估和技术参数优化这四个部分。

评估指标的创建需要结合雷达工作的特点和干扰目标,创建多个维度的评估指标体系。一些常用的评估指标有:雷达目标检测概率、虚警概率、跟踪误差和目标识别的正确率等等。雷达目标检测概率是指雷达在干扰的环境中正确的检测真实目标的概率,干扰的效果越好,检测的概率就越低;虚警概率具体是指雷达把假目标或者杂波误判成为真实目标的概率,干扰的效果越好,虚警的概率就会越高;跟踪误差是指雷达对于目标跟踪在位置上和速度上的误差等,干扰的效果越好,跟踪的误差就越大;目标识别的正确率是指雷达正确识别真实目标的实际概率,干扰的效果越好,是识别的正确率就越低。

干扰数据采集阶段中,会借助相关数据采集设备实时地采集雷达所探测的数据,跟踪数据和干扰系统的工作参数等数

据。所采集的雷达数据包含:目标检测结果、跟踪的轨迹、识别的结果等;采集的干扰系统数据包含:假目标的参数、干扰信号的功率和发射时序等。与此同时,需要采集杂波环境中的实时监测数据,给干扰效果评估提供环境的背景数据。在采集中要保证数据的完整性、准确性和实时性,使用数据同步采集技术,保证雷达的数据和干扰系统的数据在时间上的一致性。

干扰的效果评估阶段,主要使用定量评估和定性评估相融合的方式,按照所穿管的评估指标体系,对所采集的干扰数据开展分析和处理。其中,定量评估借助计算不同评估指标的实际数值来量化干扰的效果;定性评估会结合雷达的实际工作状态和环境因素等,对干扰的效果开展综合的判断。如,在计算了雷达法目标检测的概率从干扰之前的0.9下降到干扰之后的0.3之后,虚警的概率也从干扰之前的0.01上升到干扰之后的0.2,就可以定量的判断干扰的效果较高;结合雷达跟踪轨迹的实际混乱程度和目标识别结果的错误率等,可以定性地判断干扰技术成功破坏了雷达的探测功能和跟踪功能。在实际的评估过程中,要使用数据挖掘技术和统计分析方法,深入地分析干扰效果和实际干扰参数、杂波环境参数之间的关联性和关系,给后续的优化提供更多参考。

技术参数优化阶段是基于干扰效果评估的结果,使用优化算法对假目标矩阵干扰模拟技术的一些关键参数开展迭代和优化。其主要的优化参数包含:假目标的幅值、频率、相位和时延等的信号参数,假目标矩阵的空间分布和时间序列等的结构参数,干扰信号的发生功率、发射时序等的发射参数,也包含杂波模型的适配参数等。如,当评估的结果表示,雷达低于距离向假目标的识别正确率比较高的时候,借助优化算法调整假目标的时延参数和功率的参数,来增加假目标在距离上的差异化,提升干扰的效果;在干扰的效果受到杂波环境的变化有较大的影响的时候,优化杂波模型的自适应调整参数,提升模型的动态适配能力。借助参数优化,能够深入提升假目标矩阵干扰模拟技术在复杂杂波环境之下的干扰效果。

结束语

文章围绕复杂杂波环境之下雷达假目标矩阵干扰模拟技术进行分析,梳理了这一技术在应对雷达探测、提升综合能力的核心作用,分析了杂波干扰特点和假目标矩阵创建的关键技术要点,给雷达的综合功能有话说提供了更多参考。

[参考文献]

- [1]刘昂,李淑华.一种基于雷达正交极化信息的抗有源假目标干扰方法[J].舰船电子工程,2021,41(03):71-75+92.
- [2]李永祯,王雪松,汪连栋,等.有源假目标干扰的极化识别及其应用策略分析[J].系统工程与电子技术,2006,(11):1659-1663.
- [3]李永祯,柏仲干,汪连栋,等.有源多假目标干扰的极化特征及其识别研究[J].航天电子对抗,2006,(04):40-42.