

雷达无源干扰态势监测方案设计与实现

郑守铎¹, 王 铎¹, 范庆辉²

(1. 中国人民解放军 92941 部队 42 分队, 辽宁 葫芦岛 125001;

2. 北京遥感设备研究所, 北京 100854)

摘要: 为了满足复杂电磁环境下反舰导弹无源干扰试验态势分析与评估需求, 论证并设计了基于相参雷达信号处理技术的无源态势环境监测方案; 通过改造雷达导引头信号处理软件, 并利用高速数据采集设备, 实现了无源干扰试验态势的时域、频域、能量域可视化、可量化试验数据的录取, 为态势分析评估提供了数据支撑; 经实际工程应用, 满足了抗干扰试验干扰态势复盘分析需要。

关键词: 无源干扰; 态势监测; 相参雷达; 时域; 频域

Design and Implementation of Passive Situation Monitoring Scheme

Zheng Shouduo¹, Wang Duo¹, Fan Qinghui²

(1. No. 42 Element of Unit 92941, PLA, Huludao 125001, China;

2. Beijing Institute of Remote Sensing Equipment, Beijing 100854, China)

Abstract: In order to meet the needs of the analysis and evaluation of the passive jamming test environment of antiship missile in the complex electromagnetic environment, this paper demonstrates and designs the passive situation of environmental monitoring scheme based on coherent radar signal processing technology. The visualization and quantitative passive jamming test data in time domain, frequency domain and energy domain, is admitted by the improvement of signal processing software radar seeker, And the use of high-speed data acquisition equipment, which provide data support for the analysis and evaluation of the test situation. Through actual engineering application, it meets the need of anti jamming test interference situation.

Keywords: passive jamming; situation monitoring; coherent radar; time domain; frequency domain

0 引言

复杂电磁环境下的武器装备试验考核目的在于, 通过试验数据的获取, 为试验结果评定提供依据, 为被试装备在复杂电磁环境下工作流程正确性、合理性的判定提供支撑, 为其性能改进提供数据支持^[1-3]。特别是在对抗干扰性能指标逐步量化、干扰环境逐步分级要求下, 如何根据试验态势构建的客观情况正确评估试验结果, 是目前试验关注的焦点问题。雷达无源干扰是指箔条、角反射体等利用自身对雷达电磁波的散射特性而构成的干扰, 由于缺乏针对此类干扰的专用监测设备, 给试验结果分析和评定带来了诸多困难。如在某型反舰导弹导引头抗干扰试验过程中, 同一型号导引头对抗同一无源干扰出现明显差异的统计结果, 由于缺乏干扰态势监测数据, 难以判断是由于干扰态势构建效果差异造成的, 还是由于被试装备抗干扰软件存在缺陷造成的。为避免上述问题的发生, 这就需要在试验过程中对构建的无源干扰态势进行监测, 事后进行复盘, 并结合被试装备情况进行具体分析。本文首先研究了无源干扰态势数据录取内容的需求, 然后通过比较了几种监测

方案优、缺点, 提出了基于相参雷达导引头技术设计无源干扰态势监测方案, 最后给出了实际工程使用的监测效果。

1 海上无源态势监测需求分析

海上无源态势监测的主要目的是对构建的干扰环境进行量化评估, 从被试装备角度, 关注的信息主要包括时域、空间域、能量域、频域、极化域等特征信息, 应从被试装备视角对上述信息进行测量, 具体需求如下:

1) 干扰位置信息: 干扰在特定时间出现的特定位置, 决定了干扰是否构成和有效。如冲淡干扰, 理论上只有干扰处于雷达导引头方位和距离搜索范围之内, 且满足雷达导引头目标角度分辨力、或距离分辨力要求才能构成冲淡干扰。因此为了分析评定干扰效果, 需要对无源干扰位置信息进行测量。

2) 干扰强度信息: 无源质心强度直接影响了干扰效果, 理论上只有质心干扰强度大于目标强度, 在干扰和目标分离过程中才可能使导引头跟踪点偏向干扰, 进而掩护目标, 考虑到目标能量起伏特性, 在干扰实施过程中一般要求干扰比目标的强度至少高 2~3 倍^[4-5]。由于箔条受风速、风向影响, 充气角反受海浪、散射角度影响, 及装设备本身个性差异问题, 无源干扰在使用过程中散射强度会有较大起伏变化, 因此需要实时对无源干扰强度进行监测。

3) 变化趋势信息: 由于各类干扰随气象变化, 其干扰

收稿日期:2018-10-21; 修回日期:2018-11-21。

作者简介:郑守铎(1976-),男,河北黄骅人,硕士,高级工程师,主要从事雷达试验技术方向的研究。

强度、位置也会随时间推移而发生变化^[6], 另外由于目标舰艇的运动及摇摆, 干扰与目标相对位置关系、强度对比关系也在实时发生变化, 因此需要对无源干扰的位置变化趋势及强度起伏特性进行监测。

4) 其他监测信息: 由于不同频段、不同工作体制的雷达导引头在进行目标识别过程中, 运用了极化识别、频域识别、径向尺寸识别、能量集中度识别、能量起伏特性识别等技术^[7-8], 因此监测设备还能够在不同工作频段下对箔条、角反射体等干扰进行极化信息、一维距离像信息等实时监测。

5) 监测注意事项: 雷达无源干扰态势监测时要注意监测角度、监测频段及对构建场景的干扰效果的影响。由于箔条、角反的散射强度具有一定方向性, 从不同观测方位、俯仰角度, 其散射特征也有所不同, 为了客观评价构建态势对被试装备的干扰效果, 应从被试雷达导引头搜索和跟踪角度进行监测; 由于无源干扰对不同频段、频点表现出不同特性, 为了准确获取用于评估被试装备工作情况的态势信息, 应以被试装备相近的工作频点进行监测; 另外, 为了客观评价干扰环境对被试装备工作性能的影响, 应避免监测设备在监测过程中影响干扰设备对被试雷达导引头的干扰效果, 如监测设备不能影响舷外有源或舰载有源干扰设备的工作。

2 无源态势监测方案论证

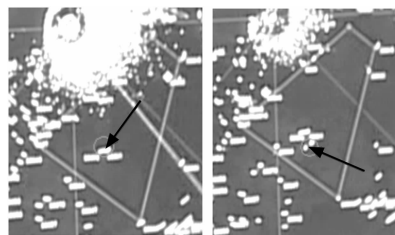
为实现雷达无源干扰态势监测的目的, 可以通过以下几种方式实现: 1) 通过记录干扰发射方向、数量, 并根据气象数据对干扰位置、强度进行实时估计; 2) 利用测控雷达进行雷达无源干扰态势数据录取; 3) 利用非相参雷达导引头进行态势数据录取; 4) 利用相参雷达导引头进行态势数据录取。下面就其优缺点进行分析。

2.1 基于干扰设备指标的态势监测方案

通过干扰设备发射装置, 记录干扰发射时刻、方向、数量, 并根据干扰装设备性能指标(发射距离、雷达散射截面)估算干扰形成的位置、干扰强度, 并根据风速、风向和干扰源随风变化趋势, 进行干扰位置变化的估计。该方法具有操作简单, 实现方便的优点, 但其缺点是干扰强度、位置都是估计值, 可能与实际值存在较大差异, 因此只是理论态势, 不是实际态势, 距离实际试验需求存在较大差距。

2.2 基于测控雷达的态势监测方案

利用具有海面目标监测功能的测控雷达, 同样可以监测箔条或角反等与目标构建的干扰态势, 如图 2 所示, 为某型测控雷达监测效果, 图 1 (a) 箭头处为角反干扰, 图 1 (b) 箭头处为冲淡箔条。由于这些测控设备工作频段单一, 又与雷达导引头工作频段相差较大, 且观测角度也和被试雷达导引头观测角度存在较大差异, 因此监测结果误差较大, 难以满足干扰态势的量化分析需求。



(a) 冲淡角反 (b) 冲淡箔条

图 1 冲淡箔条发射前后测控雷达监测效果

2.3 基于非相参雷达的态势监测方案

利用非相参雷达导引头进行无源干扰态势监测, 可以根据需要设置监测地点和频段, 采用数据处理技术, 实现了 PPI 和 A 显的态势监测效果, 监测效果如图 2 所示, 基本可以达到监测目的, 但由于非相参雷达的分辨率较低且发射机功率较大, 容易被干扰场景中的有源干扰设备侦查并干扰, 破坏干扰态势, 因此存在一定的使用局限性。另外非相参雷达工作体制落后, 数字化程度低, 改造成监测雷达后的升级改造工作繁琐, 且发展空间受限。

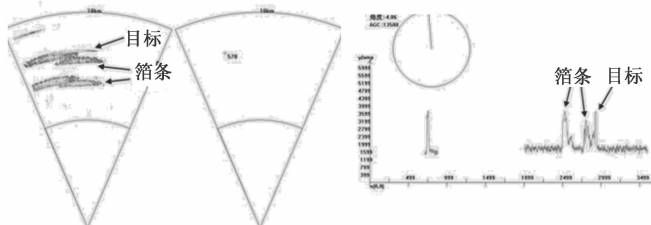


图 2 利用非相参雷达进行态势监测效果图

2.4 基于相参雷达的态势监测方案

由于雷达导引头具备完整的搜索、识别、跟踪等功能, 如果对雷达发射功率、天线增益、自动增益控制 (AGC)、接收信号能量等信号进行校准, 理论上, 每部雷达导引头都可以作为其工作频点上的 RCS 测量雷达。如图 3 所示, 在雷达导引头试验数据中, 就包含了目标回波幅度信息和归一化 RCS 测量信息。如利用雷达导引头的 RCS、距离、方位等信息测量功能, 便可以达到雷达无源干扰态势监测

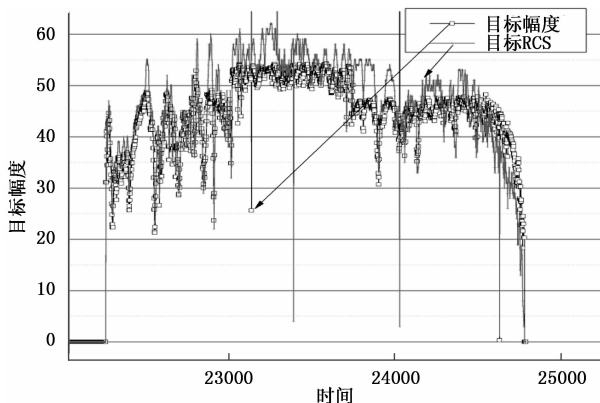


图 3 雷达测量的目标 RCS、目标幅度

目的。当前,相参体制雷达由于采用了脉冲压缩、功率管理等技术,不但雷达分辨率高而且具有低截获特性,适用于复杂电磁干扰场景而不影响有源干扰效果,因此可应用于无源电磁干扰场景监测。另外相参雷达采用固态发射机技术,数字化程度较高,模块化、小型化设计技术也较为成熟,为下一步发展无人机载态势监测设备的建设奠定了基础。

2.5 监测方案选取

通过对比以上四种监测方案,采用相参雷达平台进行态势监测,其监测效果和发展空间明显优于其他监测方案,满足雷达无源干扰态势监测需求,又由于监测设备可以利用现有成熟的相参雷达导引头为平台,进行软件、硬件升级改造,可大大降低研制风险、难度及成本,特别是相参雷达导引头的低截获概率特性,可有效降低在抗干扰试验实施过程中遭受有源干扰设备侦查并干扰,保证监测效果,避免影响干扰场景。另外,雷达导引头相对大型测量雷达而言,具有体积小、重量轻优势,易于转场。

3 无源态势监测实现

3.1 态势监测系统组成及功能

基于相参雷达导引头的态势监测系统主要由相参雷达、雷达工作控制台、数据采集系统、组合卫星定位系统、惯导系统、数据传输系统、数据显控工作站等组成,系统组成如图 4 所示,各部分功能如下:

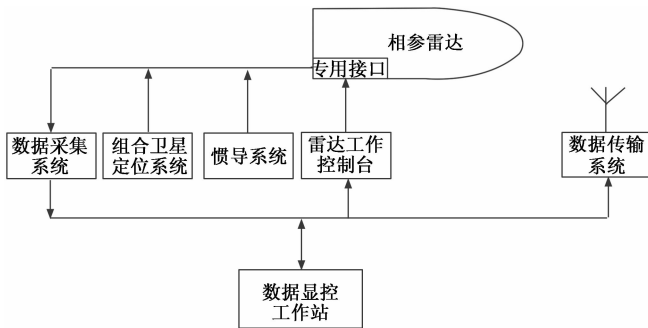


图 4 雷达无源干扰态势监测系统工作框图

1) 相参雷达:相参雷达是整个监测系统的核心部分,用于无源态势数据的测量,主要测量无源电磁干扰源及目标的方位、距离、相对能量对比关系等信息,可根据测量频段需求,可选取不同工作频段相参雷达导引头进行软硬件改造实现。

2) 雷达工作控制台:雷达工作控制台用于相参雷达工作参数装订、工作状态控制,主要包括控制搜索范围,控制抗干扰工作状态,控制发射功率、发射脉宽等工作参数及控制开关机等。

3) 数据采集系统:数据采集系统完成雷达导引头和路、差路高速视频数据和串口低速数据的采集功能,满足雷达中频回波信号和状态信号采集以及存储记录数据量需求,可完成中、低速模拟量和高速数字通讯接口数据采集。

4) 组合卫星定位系统:组合卫星定位系统测量和记录相参雷达所处地理位置,用于将相参雷达测量的无源态势相对位置信息转换为绝对地理坐标数据。

5) 惯导系统:惯导系统测量相参雷达姿态信息,用于数据处理过程中消除载体姿态变化引入的测角误差。

6) 数据传输系统:数据传输系统与地面接收控制站满足在舰载状态和挂飞状态下使用,主要功能是将态势监测数据传输至岸上,用以接入试验网,以供试验指挥使用,可接收地面控制命令,并传输给挂飞状态下的雷达工作控制系统。

7) 数据显控工作站:数据显控工作站在系统软件支持下,完成对雷达采集数据的处理、显示、存储等功能,可在雷达工作控制系统的配合下,完成雷达工作软件的加载,使雷达工作于不同状态。

3.2 态势监测关键技术

由于雷达无源干扰态势监测设备基于相参雷达导引头改装,而雷达导引头使用要求和测控装备的使用要求存在诸多不同,因此需要对相参雷达导引头的进行软硬件改造,关键技术包括:

1) 基于相参雷达的目标时频域特征参数测量技术,主要包括相参雷达导引头发射机功率、天线增益、自动增益控制(AGC)电压、接收信号能量等参数测量和校准技术,和相参雷达导引头目标时域特征参数(距离、方位、目标径向尺寸等)测量技术等。

2) 数据采集、处理、传输技术,主要包括相参雷达导引头低速串口数据和高速和路、差路视频数据实时采集、存储、处理和显示技术等。

3) 导引头测量精度与测量方法改进技术,根据测量雷达实际使用环境要求,研究不同于导引头的搜索控制策略,提高雷达测量精度。

4) 导引头可靠性改进技术,主要研究工作环境温度控制技术、平台减震技术、关键部件采用冗余设计技术等。

5) 无源态势监测系统集成技术,研究无源态势监测系统的集成技术,以便于组装和转场携行。

3.3 态势监测设备架设方案

为了充分利用导引头测距精度高的优点,并减小测角精度差的影响,录取试验构设的无源电磁干扰态势数据的相参雷达监测设备架设地点为两个。第一个架设地点在被试雷达观测方向(如图 5),工作频段和被试雷达工作频段相同。第二个架设地点与被试雷达观测方向垂直。监测雷达架设点应在保障试验安全前提下尽可能靠近监测区域,监测雷达架设点高度与被试雷达架设高度接近,满足雷达视距要求。

3.4 无源态势监测效果分析

利用相参雷达监测箔条构设情况如图 6 所示,从中监测效果看到,箔条与目标在监测场景中同时存在,可以看到二者能量对比关系、距离维、多普勒维等信息,可以方

便于构建的试验态势数据复盘分析。

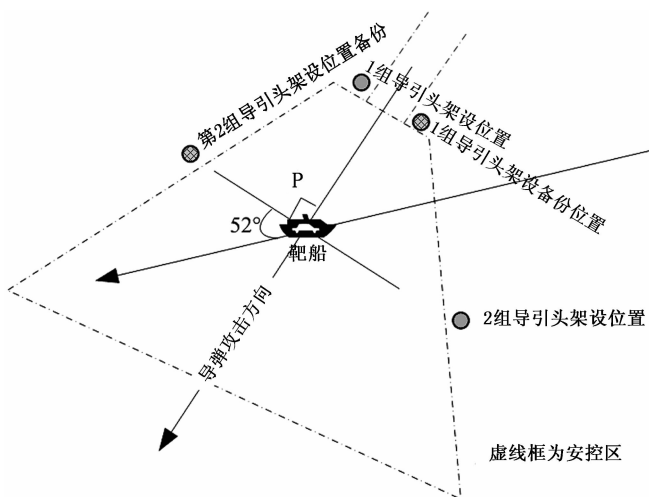


图 5 监视用导引头架设地点

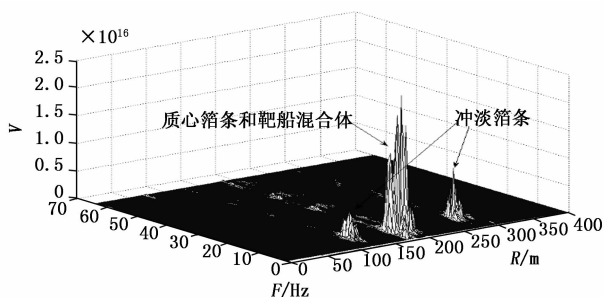


图 6 监测雷达录取数据

4 结束语

为满足抗干扰试验数据复盘需求, 分析了雷达无源干扰数据录取需求, 对比了多种监测方案优缺点, 提出了利用相参雷达导引头技术进行雷达无源干扰态势监测的方案, 通过对相参雷达导引头软硬件的改造, 在高速数据采集等设备配合下, 实现了对雷达无源电磁干扰态势的时域、频域、能量域等特征数据录取, 实现了干扰态势的“可视化、可量化”监测, 为试验结果分析与评定提供了数据支撑。

参考文献:

[1] 池建军, 罗小明, 等. 复杂电磁环境对电子装备试验与鉴定综合能力的影响 [J]. 河北科技大学学报, 2011 (32): 94-95.

[2] 李竟然, 刘小龙, 刘俊. 电子战装备复杂电磁环境下适应性试验研究 [J]. 河北科技大学学报, 2011 (32): 14-17.

[3] 高慧英. 复杂电磁环境雷达对抗系统仿真试验 [J]. 舰船科学技术, 2011 (6): 51-54.

[4] 张锡祥, 肖开其, 等. 新体制雷达对抗导论 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2010.

[5] 熊群力, 陈润生, 等. 综合电子战 (第二版) [M]. 北京: 国防工业出版社, 2010.

[6] 陈静, 等. 雷达箔条干扰原理 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.

[7] 赵国庆. 雷达对抗原理 (第二版) [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2012.

[8] 胡海, 张林, 钟志通. 反舰导弹对抗箔条质心干扰的战术措施研究 [J]. 战术导弹技术, 2013 (4): 17-20.

(上接第 107 页)

果中计算准确率。由于条件限制, 声音库中的样本全部都是在炮控系统正常上电工作情况下录制的, 因此输出结果依次为“设备未启动”“变流机启动”“油泵电机启动”“电磁离合器闭合”“电机扩大机启动”时, 视为准确识别。多、漏、次序不对的识别结果都视为识别失败。经实验验证, 炮控系统各组件启动状态识别的准确率达 92.4%, 其中电磁离合器闭合与设备未启动能够做到全部准确识别, 但油泵电机与电机扩大机之间还存在一定的误识别现象。

5 结论

针对车辆启动噪声影响维修人员听觉判断的问题, 本文提出了一种基于改进谱减法降噪和多类型识别策略的声音识别算法, 实现了对炮控系统中各主要声音部组件的启动状态识别。该算法具有硬件要求低, 实时性好, 识别准确率较高的优点, 为后续可穿戴维修辅助技术的应用提供了一种设计思路。但由于条件受限, 实验仅对于正常启动状态的声音样本进行了识别, 缺少异常启动样本的验证, 同时声音样本来源为单一型号装备, 缺少一定的通用性扩展。下一步需要进一步扩展声音样本库信息, 并协同课题进度将声音识别技术应用于实际装备维修中。

参考文献:

[1] 张雷, 查晨东, 常天庆, 等. 装甲装备保障测试设备的优化配置模型 [J]. 火力与指挥控制, 2018, 43 (6): 86-89.

[2] 颜延, 邹浩, 周林, 等. 可穿戴技术的发展 [J]. 中国生物医学工程学报, 2015, 34 (6): 644-653.

[3] 陈东义, 夏侯士戟, 黄志奇, 等. 面向工业应用的可穿戴计算技术 [J]. 电子科技大学学报, 2009, 38 (5): 678-686.

[4] 曾锐利, 肖云魁, 曹亚娟, 等. 基于穿戴式计算机的数字化维修单兵系统 [J]. 微计算机信息, 2009, 25 (13): 172-174.

[5] 韩纪庆. 声学事件检测技术的发展历程与研究进展 [J]. 数据采集与处理, 2016, 31 (2).

[6] 杨宇. 面向可穿戴计算机音频的环境感知系统的研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014.

[7] 张赛花, 赵兆, 许志勇, 等. 基于 Mel 子带参数化特征的自动鸟鸣识别 [J]. 计算机应用, 2017, 37 (4): 1111-1115.

[8] 易子旭, 谭建平, 刘思思. 基于改进谱减法和 MFCC 的电机异常噪声识别方法 [J]. 微特电机, 2017, 45 (2): 31-38.

[9] 李颀. 基于小波包分析的玻璃破碎声音识别系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2018 (1): 168-172.

[10] 刘波霞, 陈建峰. 基于特征分析的环境声音事件识别算法 [J]. 计算机工程, 2011, 37 (22): 261-263.