



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116299408 A

(43) 申请公布日 2023. 06. 23

(21) 申请号 202310595557.3

(22) 申请日 2023.05.25

(71) 申请人 中国电子科技集团公司信息科学研究所

地址 100041 北京市石景山区实兴大街金府路30号院4号楼

(72) 发明人 武艳伟 谢吴鹏 刘光宏 韩阔业 宋扬 吕文超

(74) 专利代理机构 北京中知法苑知识产权代理有限公司 11226

专利代理师 李明 赵吉阳

(51) Int. Cl.

G01S 13/58 (2006.01)

G01S 7/41 (2006.01)

G01S 7/36 (2006.01)

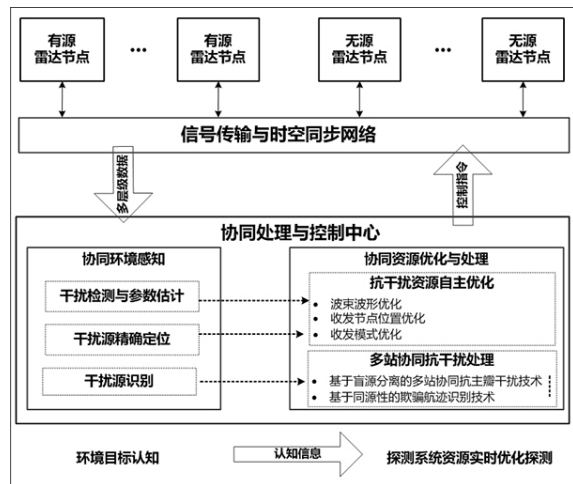
权利要求书2页 说明书9页 附图6页

(54) 发明名称

一种多雷达自主协同探测系统及探测方法

(57) 摘要

本公开实施例涉及雷达探测领域,提供一种多雷达自主协同探测系统及探测方法,系统包括:多部雷达节点,用于获取信号级回波数据将其发送至协同处理与控制中心;协同处理与控制中心,用于接收信号级回波数据基于其得到环境目标认知信息;基于环境目标认知信息对多部雷达节点的拓扑构型及波束波形参数进行优化,得到最优构型和最佳抗干扰波形波束,基于其生成控制指令将该指令发送至多部雷达节点,以使多部雷达节点根据指令调整工作参数;根据多部雷达节点基于工作参数采集的动态原始信号生成目标航迹数据。本公开实施例可在资源有限的情况下将系统的潜力发挥至最大,有效实现干扰样式复杂多变、高动态复杂电磁环境下对威胁目标的持续鲁棒探测。



1. 一种多雷达自主协同探测系统,其特征在于,所述探测系统包括:

多部雷达节点,用于采集环境信号,得到信号级回波数据,将所述信号级回波数据发送至协同处理与控制中心;

所述协同处理与控制中心,用于接收所述信号级回波数据,将所述信号级回波数据输入预设的多雷达协同环境感知模型,得到环境目标认知信息;基于所述环境目标认知信息,利用预设的资源优化模型对所述多部雷达节点的拓扑构型及波束波形参数进行优化,得到对应的最优构型和最佳抗干扰波形波束;基于所述最优系统构型和所述最佳抗干扰波形波束生成控制指令,将所述控制指令发送至所述多部雷达节点,以使所述多部雷达节点根据所述控制指令调整工作参数,实现抗干扰资源自主优化;以及,根据所述多部雷达节点基于所述工作参数采集的动态原始信号,利用预设的多站协同抗干扰模型生成目标点航迹数据。

2. 根据权利要求1所述的探测系统,其特征在于,所述协同处理与控制中心包括:

干扰检测与参数估计模块,用于构建基于多角度的仿真数据集;对所述仿真数据集中的数据进行时频分析和归一化处理,并采用双三次插值方法对归一化后的数据进行增强处理,得到处理后的仿真数据;基于所述处理后的仿真数据的干扰时频图及其对应的标签,将所述处理后的仿真数据划分为训练数据和测试数据;在PyTorch框架下搭建Yolov5网络,利用所述训练数据和所述测试数据对所述Yolov5网络进行训练,生成干扰检测与参数估计网络模型;将所述信号级回波数据输入所述干扰检测与参数估计网络模型进行干扰检测,根据干扰参数与时、频、位置的数学关系对所述干扰参数进行估计,得到干扰参数估计结果。

3. 根据权利要求2所述的探测系统,其特征在于,所述协同处理与控制中心还包括:

干扰识别模块,用于对所述信号级回波数据进行预处理,得到预处理数据;基于所述预处理数据,提取多维度干扰特征,构建特征子集,并将所述特征子集划分为训练集和测试集;其中,所述多维度干扰特征包括时域特征、频域特征、双谱域特征、时频域特征中的至少两者;利用所述训练集及其分类标签训练预设的分类器,得到目标分类模型;将所述测试集中的所述干扰特征输入所述目标分类模型中,得到干扰识别结果。

4. 根据权利要求3所述的探测系统,其特征在于,所述协同处理与控制中心还包括:

干扰源定位模块,用于基于所述信号级回波数据,通过信号参数精确测量、脉冲配对以及采用相关法比较两个信号的相似程度的方式,提取干扰源信号到达作为接收站的各所述雷达节点的时间差;基于所述时间差构建定位方程组,对所述定位方程组进行几何解算和虚假目标剔除,得到干扰源定位结果。

5. 根据权利要求1至4任一项所述的探测系统,其特征在于,所述多部雷达节点还用于:基于其所处的工作模式、当时的作战环境、敌方干扰方式,根据所述控制指令自适应调整其所对应的所述工作参数,并基于所述工作参数采集所述动态原始信号。

6. 一种多雷达自主协同探测方法,其特征在于,所述探测方法包括:

接收多部雷达节点发送的信号级回波数据;

将所述信号级回波数据输入预设的多雷达协同环境感知模型,得到环境目标认知信息;

基于所述环境目标认知信息,利用预设的资源优化模型对所述多部雷达节点的拓扑构型及波束波形参数进行优化,得到对应的最优构型和最佳抗干扰波形波束;

基于所述最优构型和所述最佳抗干扰波形波束生成控制指令,将所述控制指令发送至所述多部雷达节点,使所述多部雷达节点根据所述控制指令调整工作参数,实现抗干扰资源自主优化;

根据所述多部雷达节点基于所述工作参数采集的动态原始信号,利用预设的多站协同干扰抑制方法生成目标点航迹数据。

7. 根据权利要求6所述的探测方法,其特征在于,所述将所述信号级回波数据输入预设的多雷达协同环境感知模型,得到环境目标认知信息,包括:

构建基于多角度的仿真数据集;

对所述仿真数据集中的数据进行时频分析和归一化处理,并采用双三次插值方法对归一化后的数据进行增强处理,得到处理后的仿真数据;

基于所述处理后的仿真数据的干扰时频图及其对应的标签,将所述处理后的仿真数据划分为训练数据和测试数据;

在PyTorch框架下搭建Yolov5网络,利用所述训练数据和所述测试数据对所述Yolov5网络进行训练,生成干扰检测与参数估计网络模型;

将所述信号级回波数据输入所述干扰检测与参数估计网络模型进行干扰检测,根据干扰参数与时、频、位置的数学关系对所述干扰参数进行估计,得到干扰参数估计结果。

8. 根据权利要求7所述的探测方法,其特征在于,所述将所述信号级回波数据输入预设的多雷达协同环境感知模型,得到环境目标认知信息,还包括:

对所述信号级回波数据进行预处理,得到预处理数据;

基于所述预处理数据,提取多维度干扰特征,构建特征子集,并将所述特征子集划分为训练集和测试集;其中,所述多维度干扰特征包括时域特征、频域特征、双谱域特征、时频域特征中的至少两者;

利用所述训练集及其分类标签训练预设的分类器,得到目标分类模型;

将所述测试集中的所述干扰特征输入所述目标分类模型中,得到干扰识别结果。

9. 根据权利要求8所述的探测方法,其特征在于,所述将所述信号级回波数据输入预设的多雷达协同环境感知模型,得到环境目标认知信息,还包括:

基于所述信号级回波数据,通过信号参数精确测量、脉冲配对以及采用相关法比较两个信号的相似程度的方式,提取干扰源信号到达作为接收站的各所述雷达节点的时间差;

基于所述时间差构建定位方程组,对所述定位方程组进行几何解算和虚假目标剔除,得到干扰源定位结果。

10. 根据权利要求6至9任一项所述的探测方法,其特征在于,所述探测方法还包括:

所述多部雷达节点基于其所处的工作模式、当时的作战环境、敌方干扰方式,根据所述控制指令自适应调整其所对应的所述工作参数,并基于所述工作参数采集所述动态原始信号。

一种多雷达自主协同探测系统及探测方法

技术领域

[0001] 本公开涉及雷达探测技术领域,特别涉及一种多雷达自主协同探测系统及探测方法。

背景技术

[0002] 现有的多雷达协同探测系统由多部雷达节点感知节点、信号传输与时空同步网络、协同处理与控制中心组成,如图1所示,雷达感知节点可以包括有源雷达节点和无源雷达节点,各雷达节点通过信号传输与时空同步网络将信号级数据传输至协同处理与控制中心,协同处理与控制中心基于信号级数据进行多站协同抗干扰处理。现有的多雷达协同探测系统中,系统发射端的发射信息是提前设定的,系统接收端的协同处理与控制中心通过信号传输网络实时接收感知节点产生的有源无源电磁干扰数据,这使得多雷达协同探测系统处于“被动感知”状态。在此基础上,多雷达协同探测系统基于先验干扰类型信息,选择相应的被动抗干扰策略实现多雷达协同抗干扰,如图1所示,协同处理与控制中心可以根据基于先验信息确定的干扰类型如主瓣压制干扰、主瓣欺骗干扰等,选择基于盲源分离的多站协同抗主瓣干扰技术、基于同源性的欺骗航迹识别技术等进行抗干扰处理。

[0003] 复杂电磁环境对现有的多雷达协同探测系统提出了严峻挑战。现有的多雷达协同探测系统虽然部分采用了自适应信号处理方法来消除干扰信号,但其只针对接收信号,而并不针对发射信号。并且,由于现有的多雷达协同探测系统其发射信号是提前设定的,且多个探测周期固定不变,因此,系统接收到的环境处理信息或先验知识并不能影响发射端,因此,现有的多雷达协同探测系统缺少与环境的交互感知以及接收-发射间的有效信息反馈,难以利用接收信息来调整发射波形,导致其场景评估能力、适应能力均较差,难以在动态多变电磁环境下获得理想探测效果。

发明内容

[0004] 本公开旨在至少解决现有技术中存在的问题之一,提供一种多雷达自主协同探测系统及探测方法。

[0005] 本公开的一个方面,提供了一种多雷达自主协同探测系统,所述探测系统包括:

多部雷达节点,用于采集环境信号,得到信号级回波数据,将所述信号级回波数据发送至协同处理与控制中心;

所述协同处理与控制中心,用于接收所述信号级回波数据,将所述信号级回波数据输入预设的多雷达协同环境感知模型,得到环境目标认知信息;基于所述环境目标认知信息,利用预设的资源优化模型对所述多部雷达节点的拓扑构型及波束波形参数进行优化,得到对应的最优构型和最佳抗干扰波形波束;基于所述最优系统构型和所述最佳抗干扰波形波束生成控制指令,将所述控制指令发送至所述多部雷达节点,以使所述多部雷达节点根据所述控制指令调整工作参数,实现抗干扰资源自主优化;以及,根据所述多部雷达节点基于所述工作参数采集的动态原始信号,利用预设的多站协同抗干扰模型生成目标点

航迹数据。

[0006] 可选的,所述协同处理与控制中心包括:

干扰检测与参数估计模块,用于构建基于多角度的仿真数据集;对所述仿真数据集中的数据进行时频分析和归一化处理,并采用双三次插值方法对归一化后的数据进行增强处理,得到处理后的仿真数据;基于所述处理后的仿真数据的干扰时频图及其对应的标签,将所述处理后的仿真数据划分为训练数据和测试数据;在PyTorch框架下搭建Yolov5网络,利用所述训练数据和所述测试数据对所述Yolov5网络进行训练,生成干扰检测与参数估计网络模型;将所述信号级回波数据输入所述干扰检测与参数估计网络模型进行干扰检测,根据干扰参数与时、频、位置的数学关系对所述干扰参数进行估计,得到干扰参数估计结果。

[0007] 可选的,所述协同处理与控制中心还包括:

干扰识别模块,用于对所述信号级回波数据进行预处理,得到预处理数据;基于所述预处理数据,提取多维度干扰特征,构建特征子集,并将所述特征子集划分为训练集和测试集;其中,所述多维度干扰特征包括时域特征、频域特征、双谱域特征、时频域特征中的至少两者;利用所述训练集及其分类标签训练预设的分类器,得到目标分类模型;将所述测试集中的所述干扰特征输入所述目标分类模型中,得到干扰识别结果。

[0008] 可选的,所述协同处理与控制中心还包括:

干扰源定位模块,用于基于所述信号级回波数据,通过信号参数精确测量、脉冲配对以及采用相关法比较两个信号的相似程度的方式,提取干扰源信号到达作为接收站的各所述雷达节点的时间差;基于所述时间差构建定位方程组,对所述定位方程组进行几何解算和虚假目标剔除,得到干扰源定位结果。

[0009] 可选的,所述多部雷达节点还用于:基于其所处的工作模式、当时的作战环境、敌方干扰方式,根据所述控制指令自适应调整其所对应的所述工作参数,并基于所述工作参数采集所述动态原始信号。

[0010] 本公开的另一个方面,提供了一种多雷达自主协同探测方法,所述探测方法包括:

接收多部雷达节点发送的信号级回波数据;

将所述信号级回波数据输入预设的多雷达协同环境感知模型,得到环境目标认知信息;

基于所述环境目标认知信息,利用预设的资源优化模型对所述多部雷达节点的拓扑构型及波束波形参数进行优化,得到对应的最优构型和最佳抗干扰波形波束;

基于所述最优构型和所述最佳抗干扰波形波束生成控制指令,将所述控制指令发送至所述多部雷达节点,使所述多部雷达节点根据所述控制指令调整工作参数,实现抗干扰资源自主优化;

根据所述多部雷达节点基于所述工作参数采集的动态原始信号,利用预设的多站协同干扰抑制方法生成目标点航迹数据。

[0011] 可选的,所述将所述信号级回波数据输入预设的多雷达协同环境感知模型,得到环境目标认知信息,包括:

构建基于多角度的仿真数据集;

对所述仿真数据集中的数据进行时频分析和归一化处理,并采用双三次插值方法

对归一化后的数据进行增强处理,得到处理后的仿真数据;

基于所述处理后的仿真数据的干扰时频图及其对应的标签,将所述处理后的仿真数据划分为训练数据和测试数据;

在PyTorch框架下搭建Yolov5网络,利用所述训练数据和所述测试数据对所述Yolov5网络进行训练,生成干扰检测与参数估计网络模型;

将所述信号级回波数据输入所述干扰检测与参数估计网络模型进行干扰检测,根据干扰参数与时、频、位置的数学关系对所述干扰参数进行估计,得到干扰参数估计结果。

[0012] 可选的,所述将所述信号级回波数据输入预设的多雷达协同环境感知模型,得到环境目标认知信息,还包括:

对所述信号级回波数据进行预处理,得到预处理数据;

基于所述预处理数据,提取多维度干扰特征,构建特征子集,并将所述特征子集划分为训练集和测试集;其中,所述多维度干扰特征包括时域特征、频域特征、双谱域特征、时频域特征中的至少两者;

利用所述训练集及其分类标签训练预设的分类器,得到目标分类模型;

将所述测试集中的所述干扰特征输入所述目标分类模型中,得到干扰识别结果。

[0013] 可选的,所述将所述信号级回波数据输入预设的多雷达协同环境感知模型,得到环境目标认知信息,还包括:

基于所述信号级回波数据,通过信号参数精确测量、脉冲配对以及采用相关法比较两个信号的相似程度的方式,提取干扰源信号到达作为接收站的各所述雷达节点的时间差;

基于所述时间差构建定位方程组,对所述定位方程组进行几何解算和虚假目标剔除,得到干扰源定位结果。

[0014] 可选的,所述探测方法还包括:

所述多部雷达节点基于其所处的工作模式、当时的作战环境、敌方干扰方式,根据所述控制指令自适应调整其所对应的所述工作参数,并基于所述工作参数采集所述动态原始信号。

[0015] 本公开实施例相对于现有技术而言,将环境认知信息与抗干扰资源自主优化相结合,可实时动态优化调整信号级、参数级等多层级系统信息,形成闭环控制过程,在资源有限的情况下将系统的潜力发挥至最大,有效实现干扰样式复杂多变、高动态复杂电磁环境下对威胁目标的持续鲁棒探测。

附图说明

[0016] 一个或多个实施方式通过与之对应的附图中的图片进行示例性说明,这些示例性说明并不构成对实施方式的限定,附图中具有相同参考数字标号的元件表示为类似的元件,除非有特别申明,附图中的图不构成比例限制。

[0017] 图1为现有技术中一种多雷达协同探测系统的结构示意图;

图2为本公开一实施方式提供的一种多雷达自主协同探测系统的结构示意图;

图3为本公开另一实施方式提供的基于盲源分离的多站协同抗主瓣干扰技术的流程图;

图4为本公开另一实施方式提供的基于同源性的欺骗航迹识别技术的流程图；

图5为本公开另一实施方式提供的干扰检测与参数估计模块的工作流程图；

图6为本公开另一实施方式提供的干扰识别模块的工作流程图；

图7为本公开另一实施方式提供的干扰源定位模块的工作流程图；

图8为本公开另一实施方式提供的多雷达自主协同探测系统的工作流程图；

图9为本公开另一实施方式提供的多雷达自主协同探测系统的抗干扰资源自主优化与处理流程图；

图10为本公开另一实施方式提供的一种多雷达自主协同探测方法的流程图；

图11为本公开另一实施方式提供的一种多雷达自主协同探测方法的流程图。

具体实施方式

[0018] 长期以来,防空预警雷达系统持续面临着复杂电磁环境、各类主被动干扰及新型干扰作战样式的威胁,各种电磁干扰严重抑制了雷达探测能力的实现。例如,包括强有源干扰、电视信号干扰及恶劣的气象条件、地理环境等在内的干扰因素往往会对雷达的目标检测、跟踪构成较大影响,严重时甚至会使雷达无法获取目标,对防空预警系统构成了严峻挑战。

[0019] 尽管现有技术已经研究出了多种抗电磁干扰措施,但常规的抗干扰方法面对复杂多变战场环境时,难于自适应完成探测任务,故而迫切需要通过多雷达平台协同控制、体系部署、多层次信息处理等措施进行协同抗干扰。随着认知雷达网络、数据链等高速通信、分布式计算等技术的发展,多雷达协同探测已成为未来预警探测系统发展的趋势,复杂多变电磁干扰环境下多雷达协同鲁棒探测技术已成为雷达探测领域的主要研究方向之一。

[0020] 一方面,战场电磁环境日益恶化,亟需加强复杂电磁环境下干扰信息精确感知能力和抗干扰资源自主优化能力,提升预警探测系统认知化和智能化水平。

[0021] 雷达向认知化和智能化发展是一个必然的趋势。随着战场电磁环境的日益恶化,多雷达协同电磁环境感知能力的需求不断提高。电磁干扰包括来自于敌方的有意干扰或者他方的无意干扰,会造成多雷达协同检测性能的严重下降。随着认知无线电、软件无线电、人工智能、雷达通信干扰等技术的发展,新一代干扰设备可充分利用其智能化技术显著提高系统工作性能,在很短的时间内形成有效干扰,使电磁环境变得日益复杂,且干扰类型呈现出多样性和复杂性。因此,复杂电磁环境下干扰信息的精确感知和抗干扰资源自主优化成为本领域亟待解决的问题。

[0022] 为满足多雷达干扰反制的技术需求,可以采取如下措施:第一,由于传统的抗干扰方法已不足以精准感知和理解环境中复杂多变的电磁干扰,特别是在小样本条件下,导致多雷达的抗干扰效能急剧下降,因此,需要加强多雷达对外部干扰环境的认知能力;第二,加强抗干扰资源自主优化及多雷达协同抗干扰方法的自适应程度,充分利用多雷达协同对抗优势,智能化实现抗干扰资源动态按需分配及多维度抗干扰方法智能生成,适应迅速变化的干扰场景和复杂电磁环境。

[0023] 另一方面,高维、动态、多样干扰电磁环境对现有的预警探测效能构成严重威胁,提高装备鲁棒探测能力需求迫切。

[0024] 电磁干扰、反辐射导弹、隐形飞行器和低空作战技术等使传统雷达面临的工作环

境日益复杂,预警探测效能受到越来越多的挑战。因此,及时掌握瞬息变化的战场态势是提升雷达工作效能的核心和重点。未来的敌军作战平台将具有干扰方向多、干扰强度高、分布范围广、彼此间交调严重、干扰样式灵活多变、抑制困难等特点,这使得现有的雷达装备虽然能够通过采用副瓣对消、副瓣匿隐、频率捷变等抗干扰措施进行干扰抑制,但面对来自多维度、可组合、智能化的干扰技术,其探测能力将显著下降。为此,现有的预警探测系统亟待提高复杂电磁环境下的智能抗干扰能力,实现战场态势高效感知、高灵活度调控频谱抗干扰资源。

[0025] 在此背景下,本公开实施方式提出了一种基于接收-发射闭环思路的多雷达自主协同探测系统及探测方法,将高动态电磁环境认知信息与抗干扰波形自主优化相结合,指导多雷达协同感知探测,通过环境感知信息调整多部雷达节点的工作参数,使系统架构和抗干扰波形波束均达到最优,从而提高雷达节点的抗干扰能力,最终实现对目标信息的可靠、稳健获取。

[0026] 为使本公开实施方式的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合附图对本公开的各实施方式进行详细的阐述。然而,本领域的普通技术人员可以理解,在本公开各实施方式中,为了使读者更好地理解本公开而提出了许多技术细节。但是,即使没有这些技术细节和基于以下各实施方式的种种变化和修改,也可以实现本公开所要求保护的技术方案。以下各个实施方式的划分是为了描述方便,不应对本公开的具体实现方式构成任何限定,各个实施方式在不矛盾的前提下可以相互结合相互引用。

[0027] 本公开的一个实施方式涉及一种多雷达自主协同探测系统,如图2所示,包括多部雷达节点和协同处理与控制中心。其中,多部雷达节点包括有源雷达节点和无源雷达节点。多部雷达节点可以通过信号传输与时空同步网络与协同处理与控制中心进行通信,也可以直接与协同处理与控制中心进行通信,本实施方式对此并不限制。

[0028] 多部雷达节点用于采集环境信号,得到信号级回波数据,将信号级回波数据发送至协同处理与控制中心。当多部雷达节点处于复杂电磁环境时,其采集到的可以是具有不确定性、多样性、多干扰源、多种类威胁目标的环境信号。

[0029] 协同处理与控制中心,用于接收信号级回波数据,将信号级回波数据输入预设的多雷达协同环境感知模型,得到环境目标认知信息;基于环境目标认知信息,利用预设的资源优化模型对多部雷达节点的拓扑构型及波束波形参数进行优化,得到对应的最优构型和最佳抗干扰波形波束;基于最优系统构型和最佳抗干扰波形波束生成控制指令,将控制指令发送至多部雷达节点,以使多部雷达节点根据控制指令调整工作参数,实现抗干扰资源自主优化;以及,根据多部雷达节点基于工作参数采集的动态原始信号,利用预设的多站协同抗干扰模型生成目标点航迹数据。

[0030] 示例性的,预设的多站协同抗干扰模型可以根据基于盲源分离的多站协同抗主瓣干扰技术、基于同源性的欺骗航迹识别技术等建立。

[0031] 基于盲源分离的多站协同抗主瓣干扰技术主要是基于多接收站回波数据信号的盲源分离实现协同干扰抑制,图3示出了其基本流程:首先,分别以不同接收站的回波信号为参考,如以节点*i*受干扰通道回波信号 $y_i(t)$ 和节点*j*受干扰通道回波信号 $y_j(t)$ 作为参考进行输入,采用相关法估计各站点干扰信号相对时延,并进行补偿使干扰成分得到校准,完成干扰对齐;然后,针对校准后的对齐信号,采用盲源分离算法如特征矩阵的联合近似对角

化法(Joint Approximative Diagonalization of Eigen matrix, JADE),实现干扰信号和目标回波信号分离;分别对干扰信号和目标回波信号进行匹配滤波处理,利用多站联合判别方法,获取回波中真实目标点位置和虚假目标点位置,在信号域剔除由于干扰时延校准引起的虚假目标定位点;最后,恢复信号幅度,获得抗干扰后的信号级回波,将干扰抑制后脉压输出。其中, JADE盲源分离算法主要包括白化处理、近似联合对角化四阶累积量矩阵、计算分离信号等步骤。

[0032] 基于同源性的欺骗航迹识别技术主要是基于“同源性”定位检验实现欺骗干扰抑制,图4示出了其基本流程:首先,各接收站获取所有目标的距离和量测,得到节点1、节点2、……节点N分别对应的航迹;接着,以任意两个接收站为组合进行时间到达(Time of Arrival, TOA)定位;然后,对定位结果进行最近邻关联,得到关联序列,再对关联序列做“同源性”检验,完成基于同源性的假设检验;最后,融合保留下来的关联序列,完成对检验结果进行融合,将假目标航迹剔除,得到目标的最后定位结果。

[0033] 本公开实施方式提供的多雷达自主协同探测系统,将环境认知信息与抗干扰资源自主优化相结合,可实时动态优化调整信号级、参数级等多层级系统信息,形成闭环控制过程,在资源有限的情况下将系统的潜力发挥至最大,有效实现干扰样式复杂多变、高动态复杂电磁环境下对威胁目标的持续鲁棒探测。

[0034] 示例性的,协同处理与控制中心包括干扰检测与参数估计模块。干扰检测与参数估计模块主要是基于时频图的深度检测网络进行干扰检测,并在此基础上进行干扰参数估计。图5示出了干扰检测与参数估计模块的工作流程。

[0035] 根据不同的实施阶段,如图5所示,干扰检测与参数估计模块的工作流程依次包括数据集构建、数据预处理、网络构建与训练、干扰检测、参数估计。在数据集构建部分,干扰检测与参数估计模块用于构建基于多角度的仿真数据集。在数据预处理部分,干扰检测与参数估计模块首先用于对仿真数据集中的数据进行时频分析和归一化处理,以规避幅度和时频图的特征影响,之后,干扰检测与参数估计模块还用于采用双三次插值方法对归一化后的数据进行增强处理,得到处理后的仿真数据,以提高干扰参数估计精度。在网络构建与训练部分,干扰检测与参数估计模块用于基于处理后的仿真数据的干扰时频图及其对应的标签,将处理后的仿真数据划分为训练数据和测试数据,在PyTorch框架下搭建Yolov5网络,利用训练数据和测试数据对Yolov5网络进行训练,生成干扰检测与参数估计网络模型。在干扰检测部分,干扰检测与参数估计模块用于将信号级回波数据输入干扰检测与参数估计网络模型进行干扰检测。在参数估计部分,根据干扰参数与时、频、位置的数学关系对干扰参数进行估计,得到干扰参数估计结果如干扰的频率、脉宽、重复周期、切片个数等核心参数的估计值,从而为协同处理与控制中心进行抗干扰措施优化选取提供更加准确的先验信息。

[0036] 示例性的,协同处理与控制中心还包括干扰识别模块。干扰识别模块主要基于多维特征进行干扰识别。图6示出了干扰识别模块的工作流程。

[0037] 如图6所示,干扰识别模块的工作流程主要包括干扰数据预处理、多维度干扰特征提取、模型训练、干扰识别。在数据预处理部分,干扰识别模块用于对信号级回波数据进行预处理,得到预处理数据,即分别对雷达1、雷达2、……雷达n的受干扰数据进行预处理,得到对应的预处理数据。在多维度干扰特征提取部分,干扰识别模块用于基于预处理数据,提

取多维度干扰特征,构建特征子集,并将特征子集划分为训练集和测试集;其中,多维度干扰特征包括时域特征、频域特征、双谱域特征、时频域特征中的至少两者。在模型训练部分,干扰识别模块用于利用训练集及其分类标签训练预设的分类器,得到目标分类模型。在干扰识别部分,干扰识别模块用于将测试集中的干扰特征输入目标分类模型中,得到干扰识别结果,即利用目标分类模型对测试集中的数据进行标签预测,从而根据干扰特征值与干扰类型之间的映射关系得到干扰分类结果,完成干扰辨识。

[0038] 示例性的,协同处理与控制中心还包括干扰源定位模块。干扰源定位模块主要是基于多部雷达节点完成基于多站布局的干扰源精确定位。图7示出了干扰源定位模块的工作流程。

[0039] 如图7所示,干扰源定位模块主要通过提取干扰源信号到达各接收站的时间差、基于时差提取的多站干扰源定位来确定干扰源位置。其中,基于时差提取的多站干扰源定位包括构建方程组、解算干扰源位置、虚假目标剔除。

[0040] 具体的,干扰源定位模块用于:基于信号级回波数据,通过信号参数精确测量、脉冲配对以及采用相关法比较两个信号的相似程度的方式,提取干扰源信号到达作为接收站的各雷达节点的时间差;基于时间差构建定位方程组,对定位方程组进行几何解算和虚假目标剔除,得到干扰源定位结果,从而完成干扰源精确定位。

[0041] 示例性的,多部雷达节点还用于:基于其所处的工作模式、当时的作战环境、敌方干扰方式,根据控制指令自适应调整其所对应的工作参数,并基于工作参数采集动态原始信号。

[0042] 需要说明的是,多雷达自主协同探测系统的工作流程是一个动态闭环过程,其根据探测需求、实际作战环境限制和系统资源状态,利用拓扑构型综合优化技术获取系统的最优构型,并在该最优构型下,基于实时感知态势进行自动任务编排,利用分布式资源参数级动态协同管控技术动态控制感知资源,针对不同任务、不同变化阶段自适应调整系统的工作状态、配置系统资源,从而实现系统的资源聚合效能最大化,提升系统的探测能力。

[0043] 多雷达自主协同探测系统的具体工作流程如图8所示。有源雷达节点包括发射机和接收机,无源雷达节点仅包括接收机。一并结合图2,多部雷达节点在干扰场景中进行环境感知,采集环境数据,获取信号级观测数据即信号级回波数据,将该信号级回波数据发送至协同处理与控制中心。协同处理与控制中心接收多部雷达节点传回的信号级回波数据,利用该信号级回波数据进行协同环境感知,完成干扰检测与参数估计、干扰源精确定位、干扰源识别,得到包括干扰源数量、干扰源工作参数、干扰类型、干扰源位置等处理结果在内的环境认知信息,该环境认知信息可以作为情报产品进行输出,同时也为抗干扰资源自主优化提供先验信息。在得到环境认知信息后,协同处理与控制中心通过算法配置在抗干扰资源自主优化模型支撑下,根据环境认知信息,优化多雷达收发模式、发射波形波束参数、收发节点位置等,并将优化结果形成控制指令下发给各雷达节点。各雷达节点根据该控制指令包括的阵面指向、波束指向、信号波形等,自适应调整其频段、极化、功率、波束、发射波形等工作参数,基于该工作参数产生动态原始信号,将该动态原始信号作为新的信号级观测数据即多层级数据发送至协同处理与控制中心。协同处理与控制中心在新的信号级观测数据的基础上,利用基于盲源分离的多站协同抗主瓣干扰技术、基于同源性的欺骗航迹识别技术等,通过算法配置采用预设的多站协同抗干扰模型得到多站协同抗干扰处理结果即

生成目标点航迹数据,从而实现环境目标认知,根据环境目标认知得到的认知信息完成探测系统资源实时优化探测。协同处理与控制中心可以将该目标点航迹数据作为情报产品输出,并可对该目标点航迹数据进行实时存储和实时态势显示,以方便用户使用,使用户能够据此形成下一步的控制指挥策略。

[0044] 需要进一步说明的是,多雷达自主协同探测系统同时采用主动反干扰和被动抗干扰两种方式实现空时频度多维度抗干扰,其抗干扰资源自主优化与处理流程如图9所示:基于多雷达自主协同环境感知结果,获取多干扰源工作参数、干扰源位置、干扰源样式等干扰相关参数,并基于该干扰相关参数,采用收发联合的大闭环自适应波形波束优化方法,通过将发射信号与干扰信号正交实现发射波形的优化,通过将发射波束方向图置零实现发射波束的优化,使各雷达节点的发射端自适应动态调整波形、波束,基于调整后的发射波形、波束,根据雷达所处的工作模式、当时的作战环境、敌方干扰方式感知预测环境信息,从而有效抑制时/频域干扰,实现主动抗干扰即抗干扰资源自主优化。同时,各雷达节点的接收端在此基础上获取新的环境感知信息,基于新的环境感知信息,通过多站信号级协同干扰抑制方法如基于盲源分离的多站协同抗主瓣干扰技术、基于同源性的欺骗航迹识别技术等,对压制干扰、欺骗干扰等进行处理,从而完成多站协同抗干扰,实现被动抗干扰。

[0045] 本公开的另一个实施方式涉及一种多雷达自主协同探测方法,其流程如图10所示,包括:

步骤S101,接收多部雷达节点发送的信号级回波数据。

[0046] 步骤S102,将信号级回波数据输入预设的多雷达协同环境感知模型,得到环境目标认知信息。

[0047] 步骤S103,基于环境目标认知信息,利用预设的资源优化模型对多部雷达节点的拓扑构型及波束波形参数进行优化,得到对应的最优构型和最佳抗干扰波形波束。

[0048] 步骤S104,基于最优构型和最佳抗干扰波形波束生成控制指令,将控制指令发送至多部雷达节点,使多部雷达节点根据控制指令调整工作参数,实现抗干扰资源自主优化。

[0049] 步骤S105,根据多部雷达节点基于工作参数采集的动态原始信号,利用预设的多站协同干扰抑制方法生成目标点航迹数据。

[0050] 示例性的,步骤S102包括:构建基于多角度的仿真数据集;对仿真数据集中的数据进行时频分析和归一化处理,并采用双三次插值方法对归一化后的数据进行增强处理,得到处理后的仿真数据;基于处理后的仿真数据的干扰时频图及其对应的标签,将处理后的仿真数据划分为训练数据和测试数据;在PyTorch框架下搭建Yolov5网络,利用训练数据和测试数据对Yolov5网络进行训练,生成干扰检测与参数估计网络模型;将信号级回波数据输入干扰检测与参数估计网络模型进行干扰检测,根据干扰参数与时、频、位置的数学关系对干扰参数进行估计,得到干扰参数估计结果。

[0051] 示例性的,步骤S102还包括:对信号级回波数据进行预处理,得到预处理数据;基于预处理数据,提取多维度干扰特征,构建特征子集,并将特征子集划分为训练集和测试集;其中,多维度干扰特征包括时域特征、频域特征、双谱域特征、时频域特征中的至少两者;利用训练集及其分类标签训练预设的分类器,得到目标分类模型;将测试集中的干扰特征输入目标分类模型中,得到干扰识别结果。

[0052] 示例性的,步骤S102还包括:基于信号级回波数据,通过信号参数精确测量、脉冲

配对以及采用相关法比较两个信号的相似程度的方式,提取干扰源信号到达作为接收站的各雷达节点的时间差;基于时间差构建定位方程组,对定位方程组进行几何解算和虚假目标剔除,得到干扰源定位结果。

[0053] 示例性的,如图11所示,多雷达自主协同探测方法还包括:

步骤S106,多部雷达节点基于其所处的工作模式、当时的作战环境、敌方干扰方式,根据控制指令自适应调整其所对应的工作参数,并基于工作参数采集动态原始信号。

[0054] 本公开实施方式提供的多雷达自主协同探测方法,将环境认知信息与抗干扰资源自主优化相结合,可实时动态优化调整信号级、参数级等多层级系统信息,形成闭环控制过程,在资源有限的情况下将系统的潜力发挥至最大,有效实现干扰样式复杂多变、高动态复杂电磁环境下对威胁目标的持续鲁棒探测。

[0055] 本领域的普通技术人员可以理解,上述各实施方式是实现本公开的具体实施方式,而在实际应用中,可以在形式上和细节上对其作各种改变,而不偏离本公开的精神和范围。

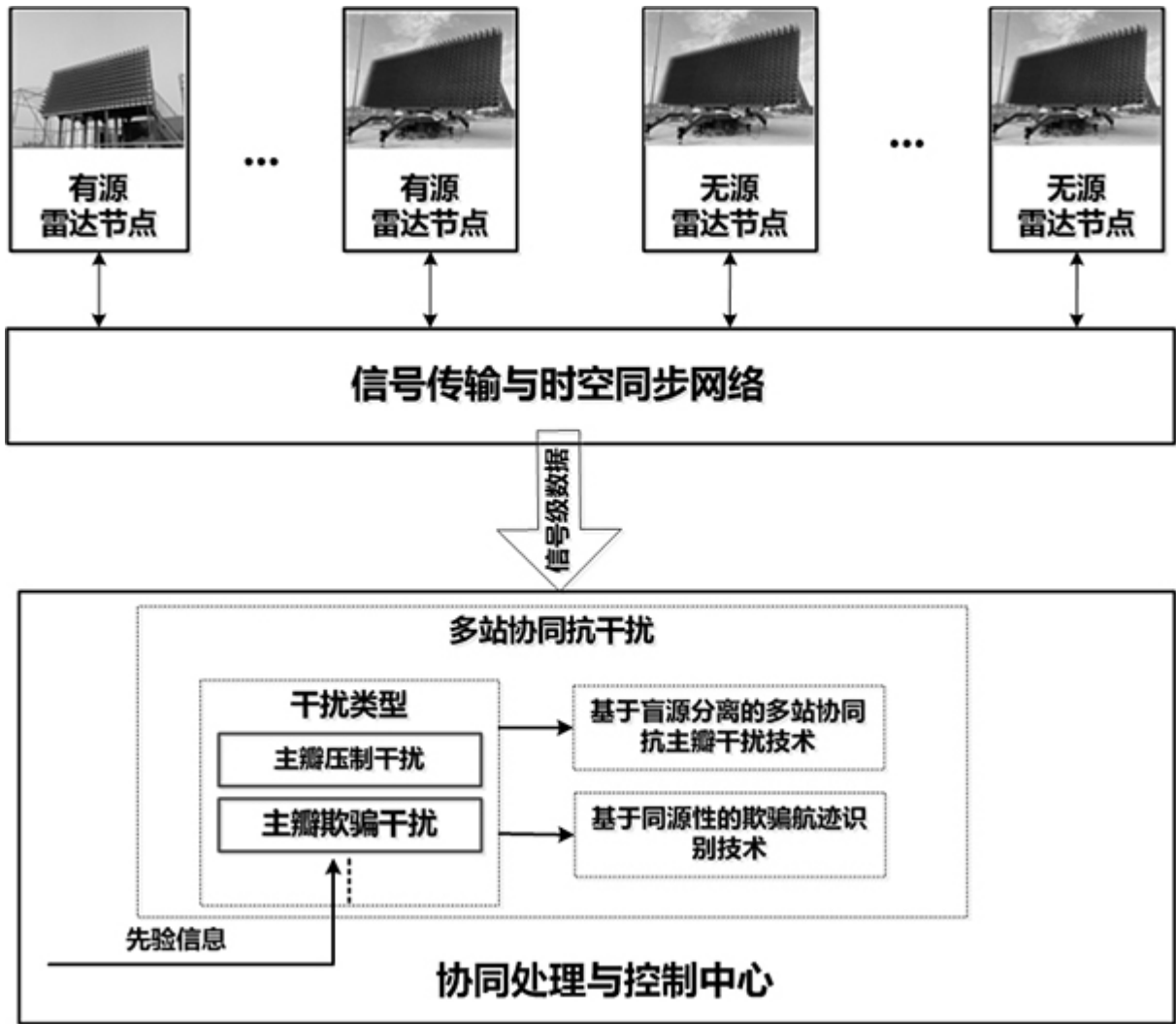


图1

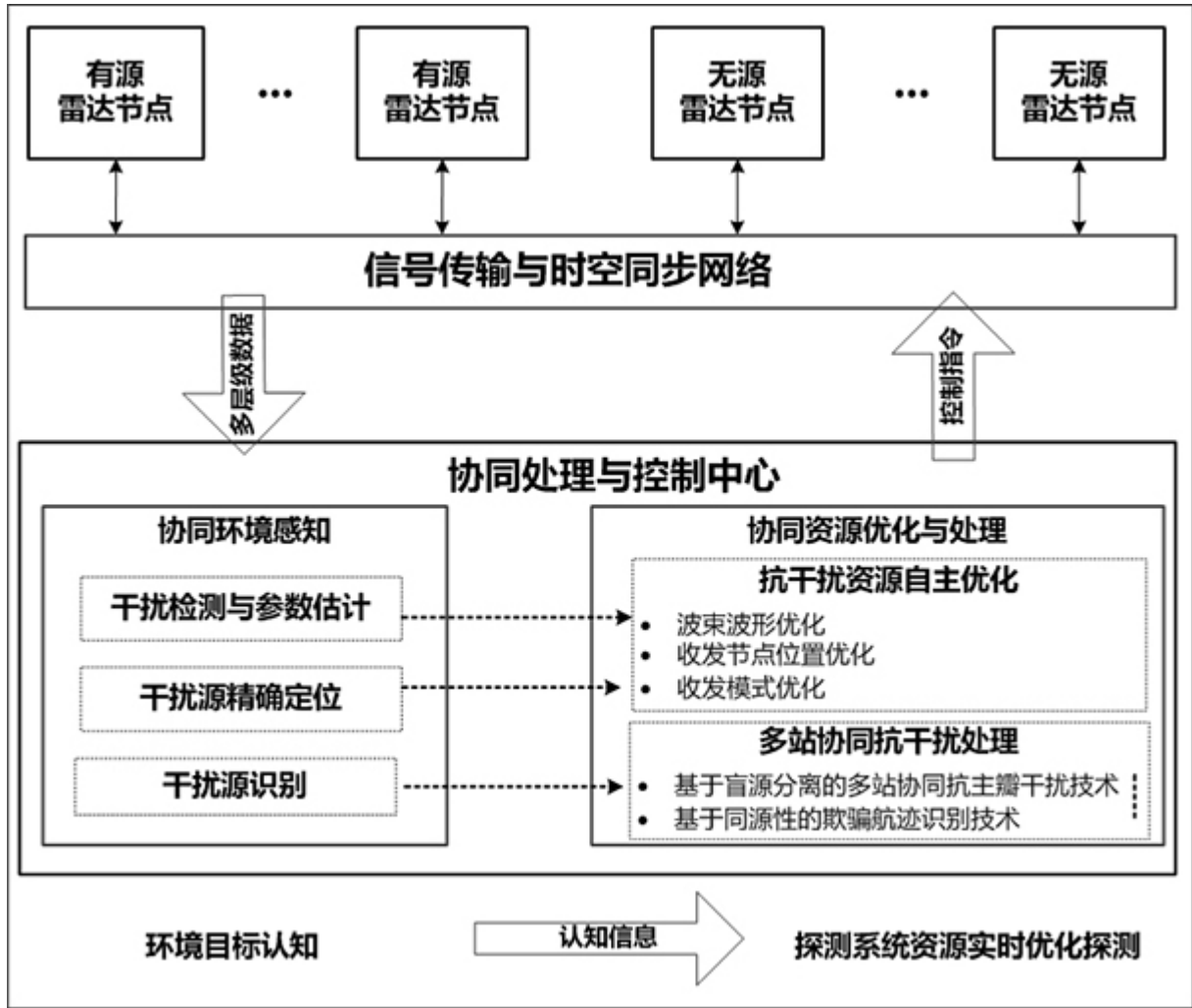


图2

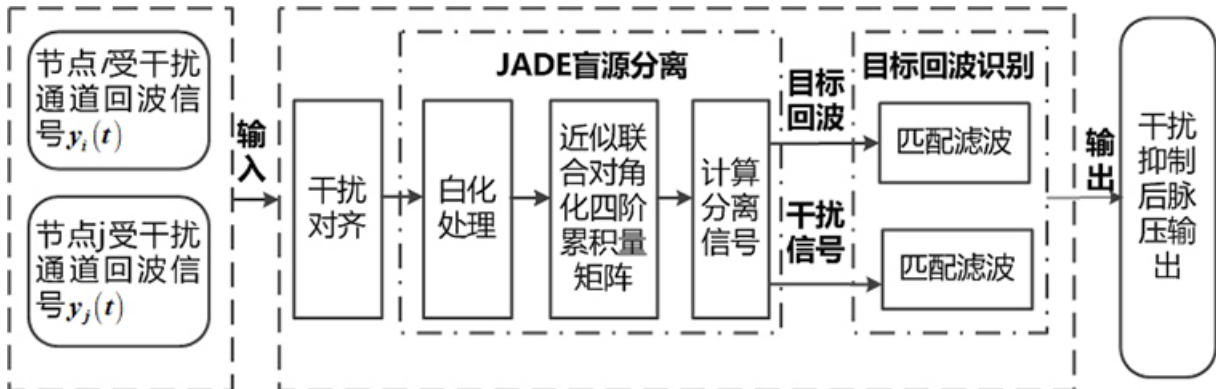


图3

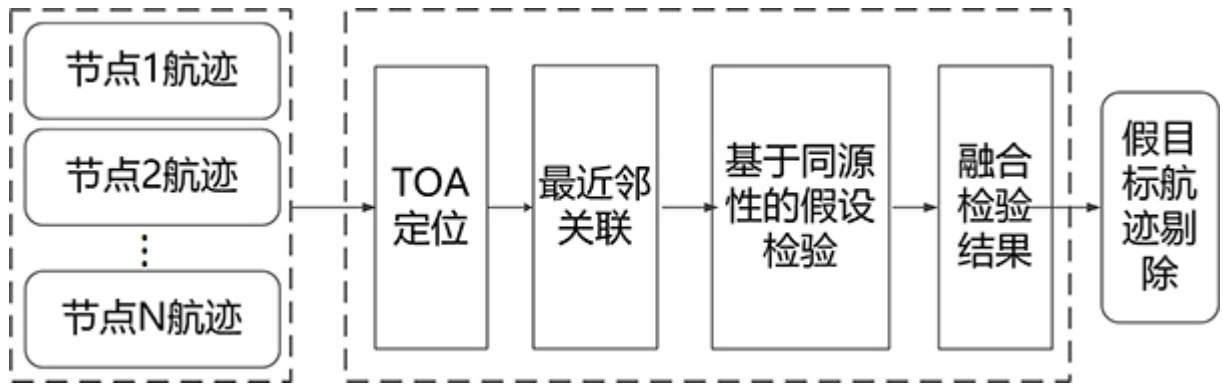


图4

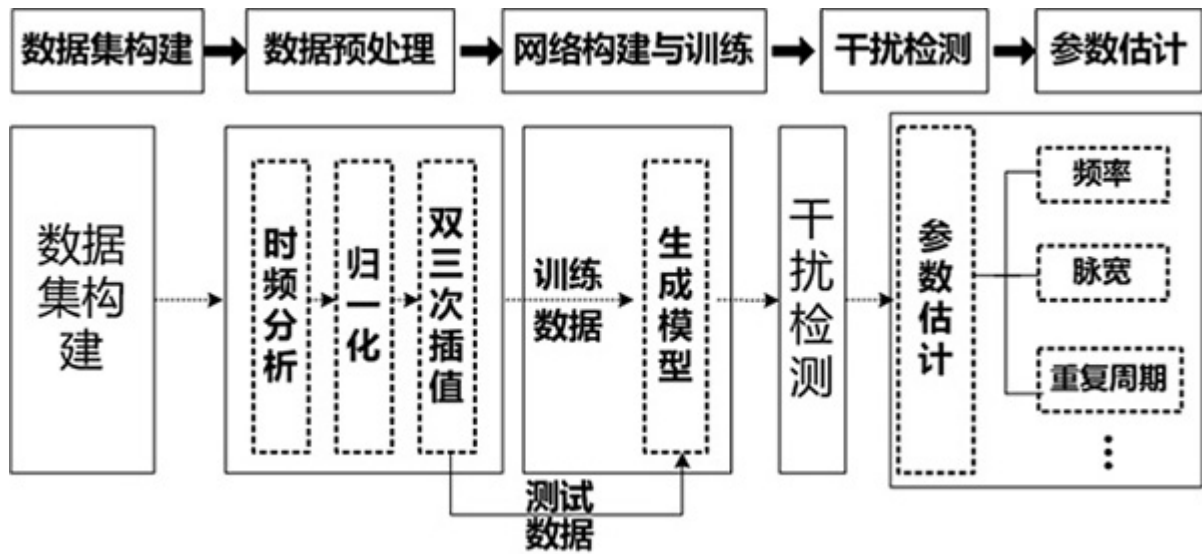


图5



图6

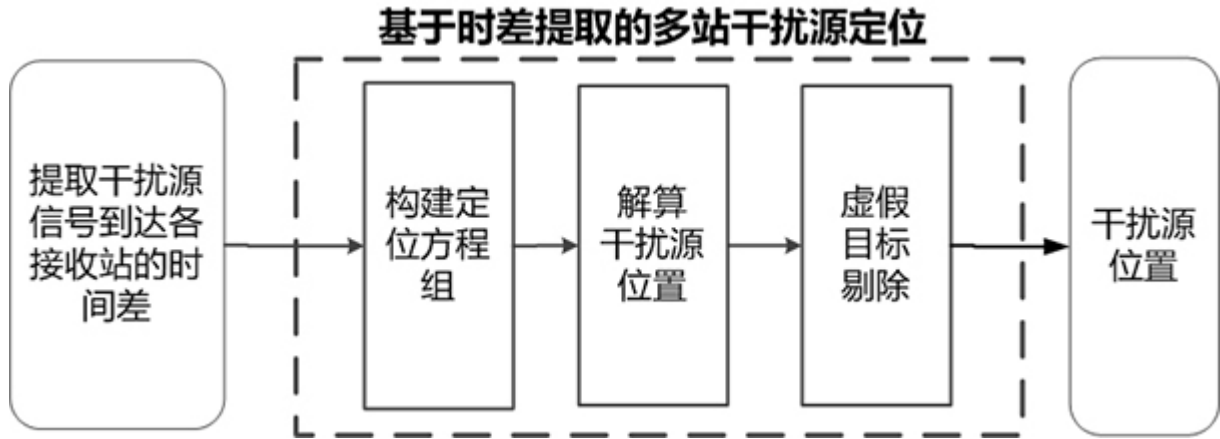


图7

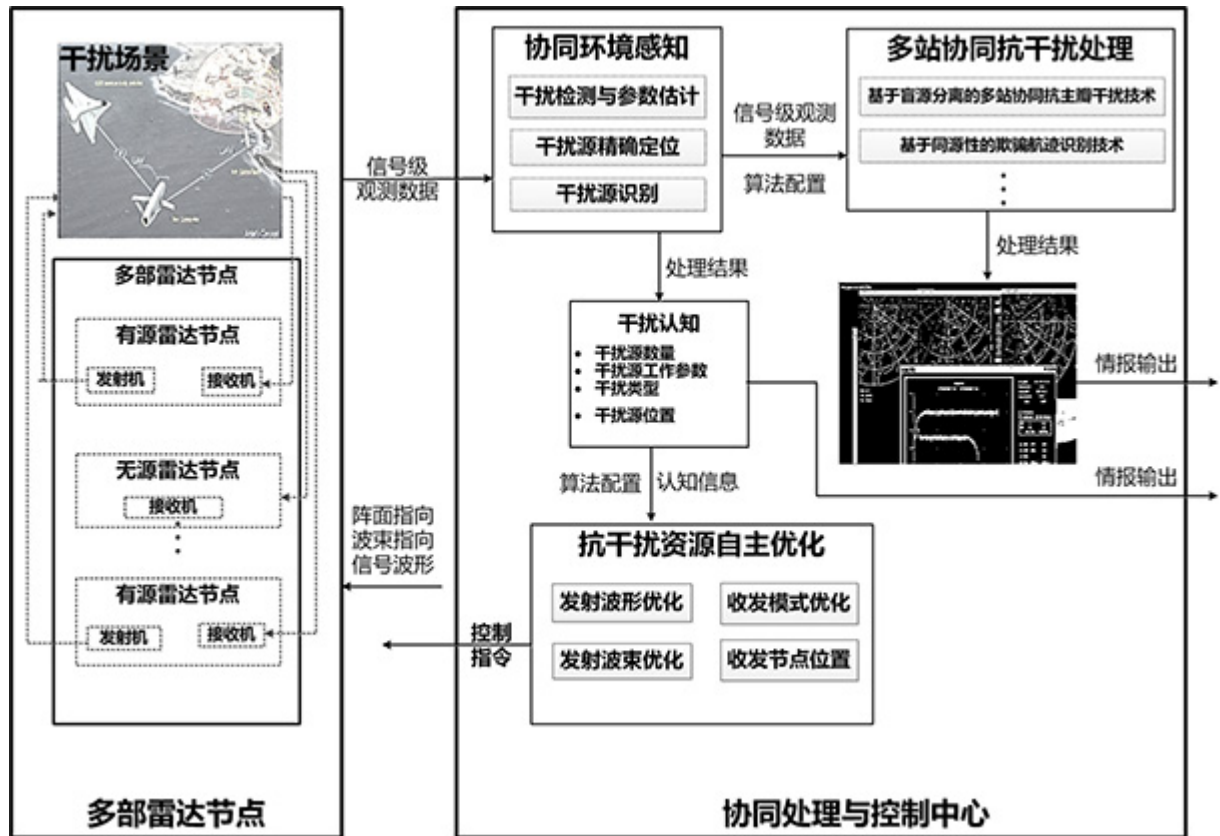


图8

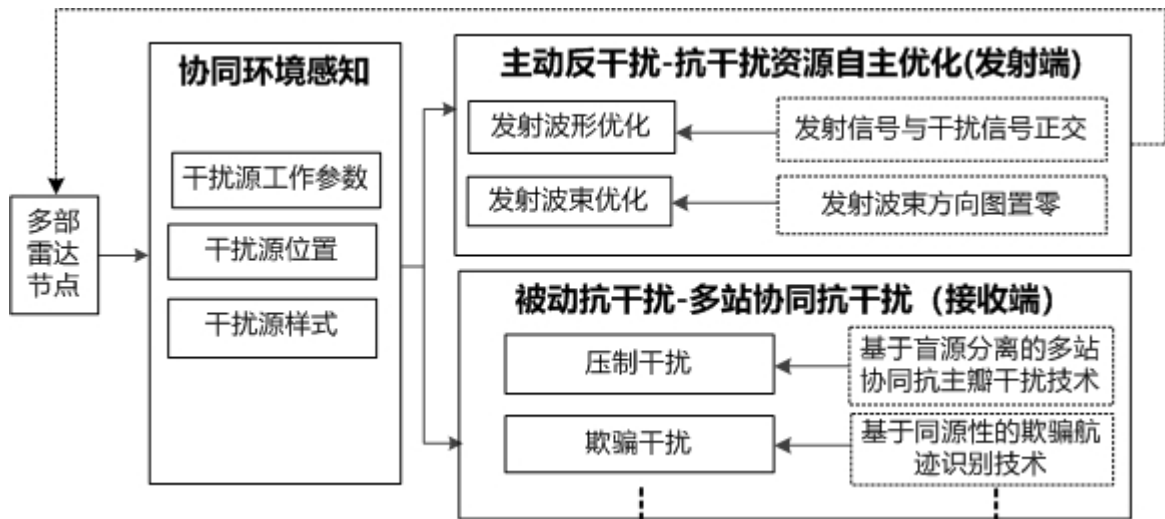


图9

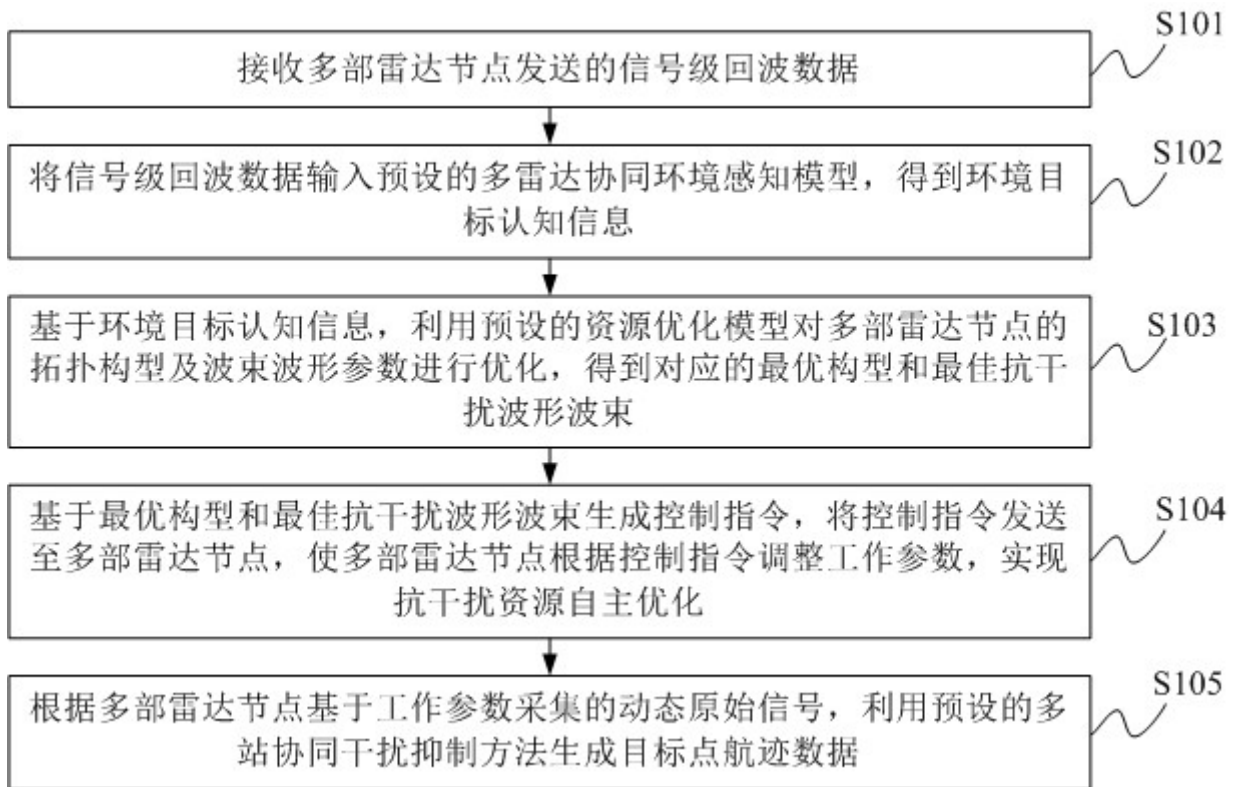


图10

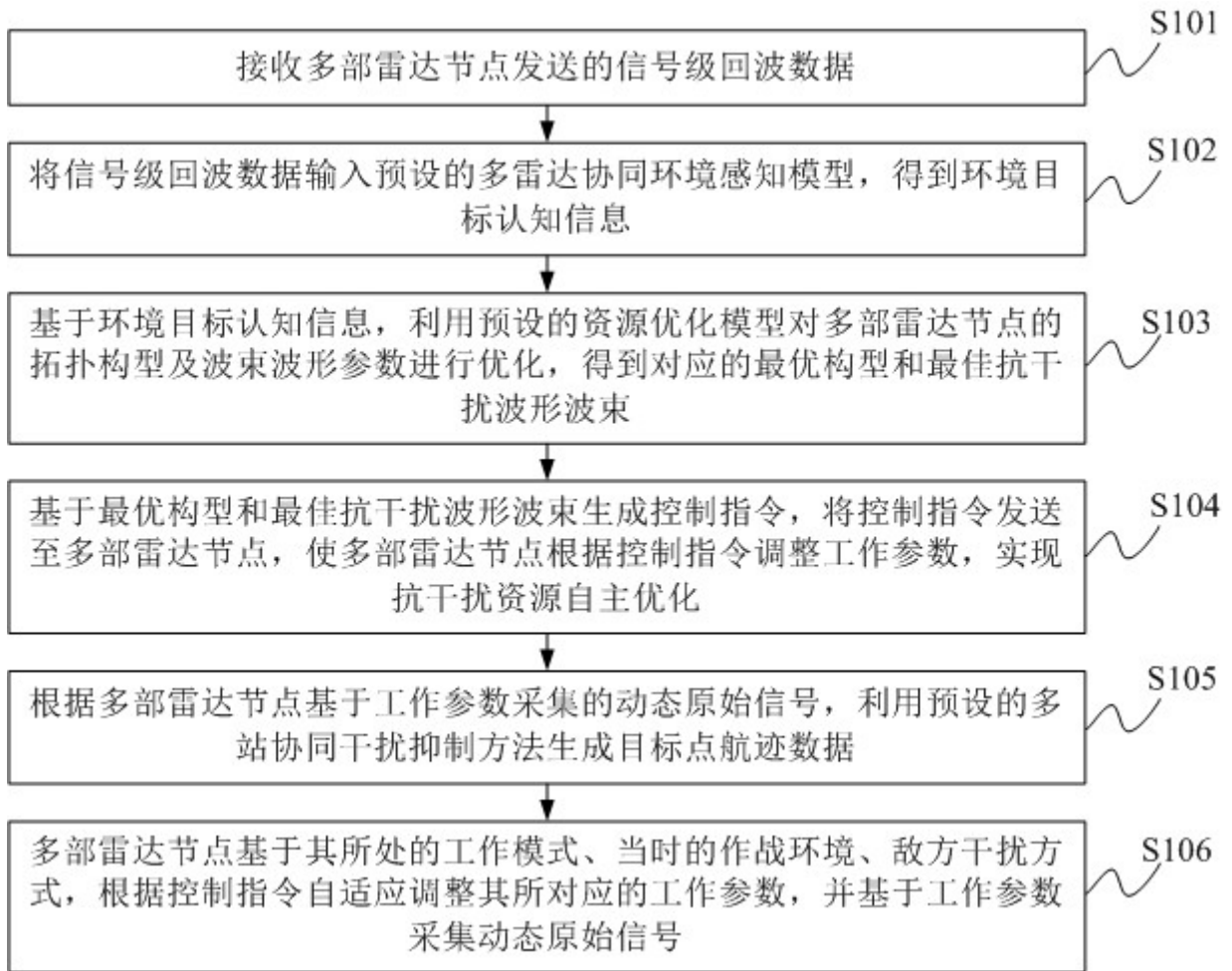


图11