



(21) 申请号 202410494086.1

(22) 申请日 2024.04.24

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 118091550 A

(43) 申请公布日 2024.05.28

(73) 专利权人 中国电子科技集团公司信息科学  
研究院

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 董凡辰 裴睿淋 刘金龙  
韩阔业

(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 赵吉阳

(51) Int.Cl.

G01S 7/02 (2006.01)

G01S 7/41 (2006.01)

G01S 7/36 (2006.01)

G01S 13/87 (2006.01)

G06F 18/24 (2023.01)

G06F 18/25 (2023.01)

G06F 18/213 (2023.01)

G06N 3/0455 (2023.01)

(56) 对比文件

CN 113534067 A, 2021.10.22

CN 116299408 A, 2023.06.23

审查员 陶智

权利要求书3页 说明书13页 附图13页

#### (54) 发明名称

基于分布式雷达的多干扰源感知方法及装置、电子设备

#### (57) 摘要

本公开涉及雷达干扰感知领域,提供一种基于分布式雷达的多干扰源感知方法及装置、电子设备,方法包括:在多干扰场景下,利用分布式部署的多部雷达探测空中的多目标,得到各雷达的阵元回波信息;根据阵元回波信息估计干扰源角度信息,并确定各雷达基于干扰角度波束形成的干扰回波信号;提取各干扰回波信号的干扰时频特征,基于干扰时频特征利用训练好的多雷达干扰感知网络模型,确定各雷达对应的干扰类型及干扰参数;对各雷达对应的干扰类型及其干扰参数进行融合,得到分布式雷达协同感知的干扰辨识结果。本公开利用分布式雷达干扰感知网络模型实现干扰类型的辨识,进一步实现干扰参数信息的获取,提高了干扰类型辨识精度及干扰参数估计精度。



1. 一种基于分布式雷达的多干扰源感知方法,其特征在于,所述感知方法包括:

在多干扰场景下,利用分布式部署的多部雷达对空中的多目标进行探测,得到各所述雷达的阵元回波信息;

根据所述阵元回波信息,利用MUSIC算法分别进行干扰源角度估计、目标角度估计,确定各所述雷达分别对应的基于干扰角度波束形成的干扰回波信号;

提取各所述干扰回波信号的干扰时频特征,基于所述干扰时频特征,利用训练好的多雷达干扰感知网络模型,确定各所述雷达分别对应的干扰类型及其干扰参数;

对各所述雷达对应的干扰类型及其干扰参数进行融合,得到分布式雷达协同感知的干扰辨识结果;

所述根据所述阵元回波信息,利用MUSIC算法分别进行干扰源角度估计、目标角度估计,确定各所述雷达分别对应的基于干扰角度波束形成的干扰回波信号,包括:

基于所述阵元回波信息,利用所述MUSIC算法估计各所述雷达在其自身视角下的干扰源角度信息、目标角度信息;

针对每部所述雷达,分别基于对应的所述干扰源角度信息和所述目标角度信息进行自适应波束形成,得到对应的所述干扰回波信号;

所述感知方法还包括:

利用同一干扰源的回波信号相关性,对各所述干扰回波信号做互相关运算,根据相关稀疏,对各所述雷达对应的所述干扰源角度信息进行关联匹配;

根据各所述雷达对应的所述干扰源角度信息及各所述干扰源角度信息之间的关联匹配关系进行交叉定位,确定所有干扰源的位置信息;

所述基于所述干扰时频特征,利用训练好的多雷达干扰感知网络模型,确定各所述雷达分别对应的干扰类型及其干扰参数,包括:

将所述干扰时频特征输入所述训练好的多雷达干扰感知网络模型,得到各所述雷达分别对应的干扰类型及其网络时频特征预测框信息;

基于所述网络时频特征预测框信息,通过几何方式折算出对应的所述干扰参数;

所述对各所述雷达对应的干扰类型及其干扰参数进行融合,得到分布式雷达协同感知的干扰辨识结果,包括:

针对每个干扰源,选取对应的所述雷达的数量最多的所述干扰类型,作为融合感知干扰类型;

提取各所述雷达分别对应的与各所述干扰源的所述融合感知干扰类型相匹配的所述干扰参数,得到各所述融合感知干扰类型分别对应的各单雷达干扰参数;

针对每个所述干扰源,对于其所述融合感知干扰类型对应的各所述单雷达干扰参数,剔除其中的指定类型参数偏离其对应均值两倍方差的离群值,对所述指定类型参数之外的其他类型参数按照参数类型进行平均融合,得到融合感知干扰参数;所述指定类型参数包括切片宽度、频点、带宽。

2. 根据权利要求1所述的感知方法,其特征在于,所述多雷达干扰感知网络模型的训练过程包括以下步骤:

分别提取各所述干扰回波信号的干扰时频特征和干扰多核滑窗匹配特征,构建数据特征集;

对所述数据特征集中的单干扰样本、复合干扰样本进行标注；

利用标注后的所述数据特征集训练所述多雷达干扰感知网络模型,直至所述多雷达干扰感知网络模型的全类平均正确率和交并比满足预设要求。

3. 根据权利要求2所述的感知方法,其特征在于,

所述多雷达干扰感知网络模型采用Swin Transformer模型;

所述Swin Transformer模型包括Swin Transformer Block模块,所述Swin Transformer Block模块包括窗口多头自注意力层和移位窗口多头自注意力层,所述窗口多头自注意力层和所述移位窗口多头自注意力层交替出现,以实现窗口内信息传递与窗口之间信息传递。

4. 根据权利要求1至3任一项所述的感知方法,其特征在于,所述感知方法还包括:

根据所述干扰辨识结果,生成多雷达协同抗干扰策略;

根据所述多雷达协同抗干扰策略,对各所述雷达所使用的发射接收波形进行选择调度。

5. 一种基于分布式雷达的多干扰源感知装置,其特征在于,所述感知装置包括:

探测模块,用于在多干扰场景下,利用分布式部署的多部雷达对空中的多目标进行探测,得到各所述雷达的阵元回波信息;

第一确定模块,用于根据所述阵元回波信息,利用MUSIC算法分别进行干扰源角度估计、目标角度估计,确定各所述雷达分别对应的基于干扰角度波束形成的干扰回波信号;

第二确定模块,用于提取各所述干扰回波信号的干扰时频特征,基于所述干扰时频特征,利用训练好的多雷达干扰感知网络模型,确定各所述雷达分别对应的干扰类型及其干扰参数;

融合模块,用于对各所述雷达对应的干扰类型及其干扰参数进行融合,得到分布式雷达协同感知的干扰辨识结果;

所述第一确定模块,用于根据所述阵元回波信息,利用MUSIC算法分别进行干扰源角度估计、目标角度估计,确定各所述雷达分别对应的基于干扰角度波束形成的干扰回波信号,包括:

所述第一确定模块,用于:

基于所述阵元回波信息,利用所述MUSIC算法估计各所述雷达在其自身视角下的干扰源角度信息、目标角度信息;

针对每部所述雷达,分别基于对应的所述干扰源角度信息和所述目标角度信息进行自适应波束形成,得到对应的所述干扰回波信号;

所述第一确定模块,还用于:

利用同一干扰源的回波信号相关性,对各所述干扰回波信号做互相关运算,根据相关稀疏,对各所述雷达对应的所述干扰源角度信息进行关联匹配;

根据各所述雷达对应的所述干扰源角度信息及各所述干扰源角度信息之间的关联匹配关系进行交叉定位,确定所有干扰源的位置信息;

所述第二确定模块,用于基于所述干扰时频特征,利用训练好的多雷达干扰感知网络模型,确定各所述雷达分别对应的干扰类型及其干扰参数,包括:

所述第二确定模块,用于:

将所述干扰时频特征输入所述训练好的多雷达干扰感知网络模型,得到各所述雷达分别对应的干扰类型及其网络时频特征预测框信息;

基于所述网络时频特征预测框信息,通过几何方式折算出对应的所述干扰参数;

所述融合模块,用于对各所述雷达对应的干扰类型及其干扰参数进行融合,得到分布式雷达协同感知的干扰辨识结果,包括:

所述融合模块,用于:

针对每个干扰源,选取对应的所述雷达的数量最多的所述干扰类型,作为融合感知干扰类型;

提取各所述雷达分别对应的与各所述干扰源的所述融合感知干扰类型相匹配的所述干扰参数,得到各所述融合感知干扰类型分别对应的各单雷达干扰参数;

针对每个所述干扰源,对于其所述融合感知干扰类型对应的各所述单雷达干扰参数,剔除其中的指定类型参数偏离其对应均值两倍方差的离群值,对所述指定类型参数之外的其他类型参数按照参数类型进行平均融合,得到融合感知干扰参数;所述指定类型参数包括切片宽度、频点、带宽。

6. 一种电子设备,其特征在于,包括:

至少一个处理器;以及,

与所述至少一个处理器通信连接的存储器;其中,

所述存储器存储有可被所述至少一个处理器执行的指令,所述指令被所述至少一个处理器执行,以使所述至少一个处理器能够执行权利要求1至4中任一项所述的基于分布式雷达的多干扰源感知方法。

## 基于分布式雷达的多干扰源感知方法及装置、电子设备

### 技术领域

[0001] 本公开涉及雷达干扰感知技术领域,特别涉及一种基于分布式雷达的多干扰源感知方法及装置、电子设备。

### 背景技术

[0002] 面对复杂的电磁环境时,军事作战要求电子设备不仅能够实时调整状态,还要具有自主学习能力。装备系统智能化已经成为电子战装备未来发展的趋势之一。

[0003] 随着现代电子干扰技术的迅速发展,雷达所在的战场电磁环境越来越复杂,新型干扰样式层出不穷,干扰源数量更多,干扰功率不断变大。干扰方为了能够有效掩护目标,通常同时使用多种干扰样式对雷达方实施干扰,干扰方的干扰能力出现了宽带化、智能化、网络化的发展趋势。

[0004] 为了保证雷达方在电子战中的生存能力并且在电子战中占有一定的有利地位,对雷达电子对抗系统的研究具有重大的军事价值和战略意义。随着人工智能技术的迅速发展,大量的智能技术应用于雷达电子战领域,雷达电子对抗越来越趋向智能化。雷达智能抗干扰系统对提高雷达方在实际作战环境中的抗干扰性能具有重要作用,尤其是干扰智能感知模块,可以获得包括干扰是否存在、存在的干扰种类、干扰的功率、带宽等信息,通过这些信息对雷达后续的干扰抑制工作提供依据,因此,雷达干扰感知模块相当于是智能抗干扰系统的“眼睛”。

[0005] 然而,现有的雷达装备虽然能够实施副瓣对消、副瓣匿隐、频率捷变等抗干扰措施,但仍面临新的干扰样式及主瓣干扰威胁,探测能力下降显著。目前,单基地雷达通常采用收发同站的布局,战场环境感知适应能力弱,同时受到空间分辨力的限制,多目标角度分辨能力弱,难以准确辨识多干扰类型及精确估计各干扰参数,更无法估计出干扰源位置,难以以为抗干扰策略生成提供精确的先验信息。

### 发明内容

[0006] 本公开旨在至少解决现有技术中存在的问题之一,提供一种基于分布式雷达的多干扰源感知方法及装置、电子设备。

[0007] 本公开的一个方面,提供了一种基于分布式雷达的多干扰源感知方法,所述感知方法包括:

[0008] 在多干扰场景下,利用分布式部署的多部雷达对空中的多目标进行探测,得到各所述雷达的阵元回波信息;

[0009] 根据所述阵元回波信息,利用MUSIC算法分别进行干扰源角度估计、目标角度估计,确定各所述雷达分别对应的基于干扰角度波束形成的干扰回波信号;

[0010] 提取各所述干扰回波信号的干扰时频特征,基于所述干扰时频特征,利用训练好的多雷达干扰感知网络模型,确定各所述雷达分别对应的干扰类型及其干扰参数;

[0011] 对各所述雷达对应的干扰类型及其干扰参数进行融合,得到分布式雷达协同感知

的干扰辨识结果。

[0012] 可选地,所述多雷达干扰感知网络模型的训练过程包括以下步骤:

[0013] 分别提取各所述干扰回波信号的干扰时频特征和干扰多核滑窗匹配特征,构建数据特征集;

[0014] 对所述数据特征集中的单干扰样本、复合干扰样本进行标注;

[0015] 利用标注后的所述数据特征集训练所述多雷达干扰感知网络模型,直至所述多雷达干扰感知网络模型的全类平均正确率和交并比满足预设要求。

[0016] 可选地,所述多雷达干扰感知网络模型采用Swin Transformer模型;

[0017] 所述Swin Transformer模型包括Swin Transformer Block模块,所述SwinTransformer Block模块包括窗口多头自注意力层和移位窗口多头自注意力层,所述窗口多头自注意力层和所述移位窗口多头自注意力层交替出现,以实现窗口内信息传递与窗口之间信息传递。

[0018] 可选地,所述根据所述阵元回波信息,利用MUSIC算法分别进行干扰源角度估计、目标角度估计,确定各所述雷达分别对应的基于干扰角度波束形成的干扰回波信号,包括:

[0019] 基于所述阵元回波信息,利用所述MUSIC算法估计各所述雷达在其自身视角下的干扰源角度信息、目标角度信息;

[0020] 针对每部所述雷达,分别基于对应的所述干扰源角度信息和所述目标角度信息进行自适应波束形成,得到对应的所述干扰回波信号。

[0021] 可选地,所述感知方法还包括:

[0022] 利用同一干扰源的回波信号相关性,对各所述干扰回波信号做互相关运算,根据相关稀疏,对各所述雷达对应的所述干扰源角度信息进行关联匹配;

[0023] 根据各所述雷达对应的所述干扰源角度信息及各所述干扰源角度信息之间的关联匹配关系进行交叉定位,确定所有干扰源的位置信息。

[0024] 可选地,所述基于所述干扰时频特征,利用训练好的多雷达干扰感知网络模型,确定各所述雷达分别对应的干扰类型及其干扰参数,包括:

[0025] 将所述干扰时频特征输入所述训练好的多雷达干扰感知网络模型,得到各所述雷达分别对应的干扰类型及其网络时频特征预测框信息;

[0026] 基于所述网络时频特征预测框信息,通过几何方式折算出对应的所述干扰参数。

[0027] 可选地,所述对各所述雷达对应的干扰类型及其干扰参数进行融合,得到分布式雷达协同感知的干扰辨识结果,包括:

[0028] 针对每个干扰源,选取对应的所述雷达的数量最多的所述干扰类型,作为融合感知干扰类型;

[0029] 提取各所述雷达分别对应的与各所述干扰源的所述融合感知干扰类型相匹配的所述干扰参数,得到各所述融合感知干扰类型分别对应的各单雷达干扰参数;

[0030] 针对每个所述干扰源,对于其所述融合感知干扰类型对应的各所述单雷达干扰参数,剔除其中的指定类型参数偏离其对应均值两倍方差的离群值,对所述指定类型参数之外的其他类型参数按照参数类型进行平均融合,得到融合感知干扰参数;所述指定类型参数包括切片宽度、频点、带宽。

[0031] 可选地,所述感知方法还包括:

- [0032] 根据所述干扰辨识结果,生成多雷达协同抗干扰策略;
- [0033] 根据所述多雷达协同抗干扰策略,对各所述雷达所使用的发射接收波形进行选择调度。
- [0034] 本公开的另一个方面,提供了一种基于分布式雷达的多干扰源感知装置,所述感知装置包括:
- [0035] 探测模块,用于在多干扰场景下,利用分布式部署的多部雷达对空中的多目标进行探测,得到各所述雷达的阵元回波信息;
- [0036] 第一确定模块,用于根据所述阵元回波信息,利用MUSIC算法分别进行干扰源角度估计、目标角度估计,确定各所述雷达分别对应的基于干扰角度波束形成的干扰回波信号;
- [0037] 第二确定模块,用于提取各所述干扰回波信号的干扰时频特征,基于所述干扰时频特征,利用训练好的多雷达干扰感知网络模型,确定各所述雷达分别对应的干扰类型及其干扰参数;
- [0038] 融合模块,用于对各所述雷达对应的干扰类型及其干扰参数进行融合,得到分布式雷达协同感知的干扰辨识结果。
- [0039] 可选地,所述感知装置还包括:
- [0040] 训练模块,用于根据以下步骤得到所述训练好的多雷达干扰感知网络模型:
- [0041] 分别提取各所述干扰回波信号的干扰时频特征和干扰多核滑窗匹配特征,构建数据特征集;
- [0042] 对所述数据特征集中的单干扰样本、复合干扰样本进行标注;
- [0043] 利用标注后的所述数据特征集训练所述多雷达干扰感知网络模型,直至所述多雷达干扰感知网络模型的全类平均正确率和交并比满足预设要求。
- [0044] 可选地,所述多雷达干扰感知网络模型采用Swin Transformer模型;
- [0045] 所述Swin Transformer模型包括Swin Transformer Block模块,所述Swin Transformer Block模块包括窗口多头自注意力层和移位窗口多头自注意力层,所述窗口多头自注意力层和所述移位窗口多头自注意力层交替出现,以实现窗口内信息传递与窗口之间信息传递。
- [0046] 可选地,所述第一确定模块,用于根据所述阵元回波信息,利用MUSIC算法分别进行干扰源角度估计、目标角度估计,确定各所述雷达分别对应的基于干扰角度波束形成的干扰回波信号,包括:
- [0047] 所述第一确定模块,用于:
- [0048] 基于所述阵元回波信息,利用所述MUSIC算法估计各所述雷达在其自身视角下的干扰源角度信息、目标角度信息;
- [0049] 针对每部所述雷达,分别基于对应的所述干扰源角度信息和所述目标角度信息进行自适应波束形成,得到对应的所述干扰回波信号。
- [0050] 可选地,所述第一确定模块,还用于:
- [0051] 利用同一干扰源的回波信号相关性,对各所述干扰回波信号做互相关运算,根据相关稀疏,对各所述雷达对应的所述干扰源角度信息进行关联匹配;
- [0052] 根据各所述雷达对应的所述干扰源角度信息及各所述干扰源角度信息之间的关联匹配关系进行交叉定位,确定所有干扰源的位置信息。

[0053] 可选地,所述第二确定模块,用于基于所述干扰时频特征,利用训练好的多雷达干扰感知网络模型,确定各所述雷达分别对应的干扰类型及其干扰参数,包括:

[0054] 所述第二确定模块,用于:

[0055] 将所述干扰时频特征输入所述训练好的多雷达干扰感知网络模型,得到各所述雷达分别对应的干扰类型及其网络时频特征预测框信息;

[0056] 基于所述网络时频特征预测框信息,通过几何方式折算出对应的所述干扰参数。

[0057] 可选地,所述融合模块,用于对各所述雷达对应的干扰类型及其干扰参数进行融合,得到分布式雷达协同感知的干扰辨识结果,包括:

[0058] 所述融合模块,用于:

[0059] 针对每个干扰源,选取对应的所述雷达的数量最多的所述干扰类型,作为融合感知干扰类型;

[0060] 提取各所述雷达分别对应的与各所述干扰源的所述融合感知干扰类型相匹配的所述干扰参数,得到各所述融合感知干扰类型分别对应的各单雷达干扰参数;

[0061] 针对每个所述干扰源,对于其所述融合感知干扰类型对应的各所述单雷达干扰参数,剔除其中的指定类型参数偏离其对应均值两倍方差的离群值,对所述指定类型参数之外的其他类型参数按照参数类型进行平均融合,得到融合感知干扰参数;所述指定类型参数包括切片宽度、频点、带宽。

[0062] 可选地,所述感知装置还包括:

[0063] 决策模块,用于根据所述干扰辨识结果,生成多雷达协同抗干扰策略;根据所述多雷达协同抗干扰策略,对各所述雷达所使用的发射接收波形进行选择调度。

[0064] 本公开的另一个方面,提供了一种电子设备,包括:

[0065] 至少一个处理器;以及,

[0066] 与至少一个处理器通信连接的存储器;其中,

[0067] 存储器存储有可被至少一个处理器执行的指令,指令被至少一个处理器执行,以使至少一个处理器能够执行前文记载的基于分布式雷达的多干扰源感知方法。

[0068] 本公开相对于现有技术而言,利用分布式雷达相对于单基地雷达的多站布局形态优势,构成全方位、立体化、多层次的探测体系,对分布式雷达系统探测获得的阵元回波信息进行融合,利用多雷达干扰感知网络模型采用端对端的深度学习处理算法实现了干扰类型的辨识,并在此基础上实现干扰参数信息的获取,提高了干扰类型辨识精度及干扰参数估计精度,为自适应形成抗干扰波形、波束等抗干扰策略提供了干扰感知先验信息,有效提高了雷达方在电子战中的生存能力,为雷达方在电子战中占有一定的有利地位提供了有效技术支撑。

## 附图说明

[0069] 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。

[0070] 图1为现有技术提供的一种单雷达多干扰检测及参数估计算法的流程图;

[0071] 图2为本公开一实施方式提供的一种基于分布式雷达的多干扰源感知方法的流程

图;

[0072] 图3为本公开另一实施方式提供的多雷达协同探测干扰仿真场景示意图;

[0073] 图4为本公开另一实施方式提供的干扰源交叉定位原理图;

[0074] 图5为本公开另一实施方式提供的信号与常见有源干扰类型短时傅里叶变化处理结果示意图;

[0075] 图6为本公开另一实施方式提供的常见有源干扰类型的多核滑窗匹配结果示意图;

[0076] 图7为本公开另一实施方式提供的压制干扰三种相干有源干扰特征体现示意图;

[0077] 图8a至图8e为本公开另一实施方式提供的五种干扰时频特征标注与标注文本示意图;

[0078] 图9为本公开另一实施方式提供的Swin Transformer模型的网络结构示意图;

[0079] 图10为本公开另一实施方式提供的相邻两个Swin Transformer Block模块的具体结构示意图;

[0080] 图11为本公开另一实施方式提供的移动窗口处理的等效过程示意图;

[0081] 图12为本公开另一实施方式提供的多雷达干扰感知网络模型在训练过程中的参数变化示意图;

[0082] 图13为本公开另一实施方式提供的网络输出结果与参数值映射示意图;

[0083] 图14为本公开另一实施方式提供的多雷达感知结果融合示意图;

[0084] 图15为本公开另一实施方式提供的一种基于分布式雷达的多干扰源感知方法的流程图;

[0085] 图16为本公开另一实施方式提供的一种基于分布式雷达的多干扰源感知装置的结构示意图;

[0086] 图17为本公开另一实施方式提供的电子设备的结构示意图。

### 具体实施方式

[0087] 为了实现对智能干扰的有效对抗,雷达需首先对干扰类型和干扰参数进行准确感知,实现干扰类型估计,并在感知干扰类型基础上实现该类干扰的关键参数估计。

[0088] 现有的单雷达多干扰检测及参数估计算法如图1所示。该算法主要考虑了基于时频图的干扰检测,并在此基础上进一步实施参数估计。根据不同的实施阶段,该算法主要分为数据集构建、数据预处理、网络构建与训练、网络应用(包括干扰检测和参数估计)四个部分。在数据集构建部分,利用单雷达在多个干扰机释放干扰的场景下的回波数据,构建基于多角度仿真数据集。在数据预处理部分,对数据集中的数据进行了时频分析,为了规避幅度对时频图的特征影响,对数据进行了归一化,使用双三次插值进行了图像增强来提高干扰参数估计精度。在网络构建与训练部分,在PyTorch框架下搭建了Yolov5网络,将数据集划分为训练数据和测试数据,通过对数据集的干扰时频图及对应标签的学习,生成检测网络模型。在网络应用部分,利用训练好的检测网络模型进行干扰检测,同时根据干扰参数与时、频位置的数学关系进行参数估计,进一步估计了干扰的频率、脉宽、切片个数和重复周期等核心参数。

[0089] 然而,单部雷达干扰感知的视角单一,获得的环境信息也不够全面,因此,多站雷

达系统进入了人们的视野。多站雷达系统由不同体制和不同位置的雷达组成,彼此协同完成作战任务,将多个雷达通过网络信息连接成网,在多个不同的观测角度下进行目标的探测与鉴别。相较于单站雷达系统,多站雷达系统的组成结构更为复杂,系统中每个雷达均可以采用不同的工作模式与参数设计,整个多站雷达系统具有更高的稳定性,增强了雷达系统的抗干扰能力。并且,由于多站雷达系统可以借助系统复杂的空间构型和独特的信息处理方式获取到信息冗余度较高的目标信息,因此,多站雷达系统具有更强的目标信息获取能力。综上所述,基于多站雷达体制的干扰感知是雷达系统抗干扰技术研究中的一个重要的突破方向。

[0090] 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。

[0091] 本公开的一个实施方式涉及一种基于分布式雷达的多干扰源感知方法,其流程如图2所示,包括:

[0092] 步骤S210,在多干扰场景下,利用分布式部署的多部雷达对空中的多目标进行探测,得到各雷达的阵元回波信息。

[0093] 具体的,假设多干扰场景为图3所示的多复杂干扰场景,N架干扰机通过干扰信号释放密集假目标干扰、窄脉冲干扰、灵巧噪声干扰等多种雷达干扰,M部分布式部署的雷达节点即分布式雷达受到主副瓣干扰,对空中多目标进行探测,基于接收波束如接收波束1、接收波束2等得到对应的阵元回波信息。其中,N、M均为大于等于2的正整数。

[0094] 步骤S220,根据阵元回波信息,利用MUSIC算法分别进行干扰源角度估计、目标角度估计,确定各雷达分别对应的基于干扰角度波束形成的干扰回波信号。

[0095] 具体的,MUSIC算法即多重信号分类(Multiple Signal Classification)算法。步骤S220可以根据分布式部署的各雷达提供的阵元回波信息,实现干扰源角度估计、目标角度估计,并在此基础上实现自适应波束形成。

[0096] 示例性的,步骤S220包括:基于阵元回波信息,利用MUSIC算法估计各雷达在其自身视角下的干扰源角度信息、目标角度信息;针对每部雷达,分别基于对应的干扰源角度信息和目标角度信息进行自适应波束形成,得到对应的干扰回波信号。

[0097] 具体的,在进行干扰角度估计时,步骤S220可以基于各雷达提供的阵元回波信息,利用MUSIC算法估计每部雷达分别对应的其自身视角下的干扰源角度信息、目标角度信息。在进行自适应波束形成时,步骤S220可以分别针对各雷达在其自身视角下的干扰源角度信息进行自适应波束形成,增强特定角度干扰信号,抑制其余方向干扰信号,得到各雷达分别对应的干扰回波信号。

[0098] 示例性的,在实现干扰角度估计以及自适应波束形成之后,基于分布式雷达的多干扰源感知方法还可以实现干扰关联,通过交叉定位实现对干扰源位置估计。

[0099] 具体的,在进行干扰关联时,基于分布式雷达的多干扰源感知方法还包括:利用同一干扰源的回波信号相关性,对各干扰回波信号做互相关运算,根据相关稀疏,对各雷达对

应的干扰源角度信息进行关联匹配。

[0100] 在进行干扰源位置估计时,基于分布式雷达的多干扰源感知方法还包括:根据各雷达对应的干扰源角度信息及各干扰源角度信息之间的关联匹配关系进行交叉定位,确定所有干扰源的位置信息。举例而言,如图4所示,假设当前的多干扰场景下存在两个干扰源,则根据各雷达分别对应的干扰源角度信息以及各干扰源角度信息之间的关联匹配关系进行交叉定位,可得到两个干扰源的位置信息分别为X、Y。

[0101] 本实施方式利用分布式雷达相对于单基地雷达多站布局形态优势,采用空间分布的广度来交叉定位干扰源位置信息,提高了干扰源定位的准确性。

[0102] 步骤S230,提取各干扰回波信号的干扰时频特征,基于干扰时频特征,利用训练好的多雷达干扰感知网络模型,确定各雷达分别对应的干扰类型及其干扰参数。

[0103] 示例性的,多雷达干扰感知网络模型的训练过程包括以下步骤:分别提取各干扰回波信号的干扰时频特征和干扰多核滑窗匹配特征,构建数据特征集;对数据特征集中的单干扰样本、复合干扰样本进行标注;利用标注后的数据特征集训练多雷达干扰感知网络模型,直至多雷达干扰感知网络模型的全类平均正确率(mean Average Precision,mAP)和交并比(Intersection over union, IOU)满足预设要求。

[0104] 具体的,在构建数据特征集时,可以使用短时傅里叶变换(Short Time Fourier Transform,STFT)处理提取干扰回波信号的干扰时频特征,使用滑窗脉压处理提取干扰回波信号的干扰多核滑窗匹配特征,根据各干扰回波信号对应的干扰时频特征和干扰多核滑窗匹配特征生成相应的样本,将各样本组成数据特征集。

[0105] 举例而言,典型有源干扰与雷达发射信号时频图如图5所示。图5中,(a)为线性调频信号(Chirp信号)的STFT处理结果,(b)为噪声调幅干扰信号的STFT处理结果,(c)为窄脉冲干扰信号的STFT处理结果,(d)为间歇采样直接转发干扰信号的STFT处理结果,(e)为密集假目标干扰信号的STFT处理结果,(f)为灵巧噪声干扰信号的STFT处理结果。对典型有源干扰信号进行滑窗脉压处理的结果如图6所示。图6中,(a)为切片干扰信号的滑窗脉压处理结果图,(b)为密集假目标干扰信号的滑窗脉压处理结果,(c)为窄脉冲干扰信号的滑窗脉压处理结果,(d)为噪声调幅干扰信号的滑窗脉压处理结果,(e)为灵巧噪声干扰信号的滑窗脉压处理结果。典型复合干扰时频图和多核滑窗匹配特征结果如图7所示。图7中,(a)为噪声调幅干扰信号与间歇采样转发干扰信号混合的时频特征,(b)为噪声调幅干扰信号与间歇采样转发干扰信号混合的多核滑窗匹配特征,(c)为噪声调幅干扰信号与密集假目标干扰信号混合的时频特征,(d)为噪声调幅干扰信号与密集假目标干扰信号混合的多核滑窗匹配特征,(e)为噪声调幅干扰信号与灵巧噪声干扰信号混合的时频特征,(f)为噪声调幅干扰信号与灵巧噪声干扰信号混合的多核滑窗匹配特征。

[0106] 在对数据集集中的样本进行标注时,基于数据特征集中各干扰回波信号的干扰时频特征和干扰多核滑窗匹配特征,根据数据生成参数对数据特征集中的单干扰样本、复合干扰样本以VOC格式进行标注。举例而言,不同干扰类型的样本的标注形式如图8a至图8e所示。其中,图8a为噪声调幅干扰信号及其标注文本示意图,图8b为窄脉冲干扰信号及其标注文本示意图,图8c为间歇采样重复转发干扰信号及其标注文本示意图,图8d为密集假目标干扰信号及其标注文本示意图,图8e为灵巧噪声干扰信号及其标注文本示意图。

[0107] 示例性的,多雷达干扰感知网络模型采用Swin Transformer模型,其网络结构如

图9所示。大小为 $H \times W \times 3$ 的图片首先进入Patch Partition 模块中进行分块,每 $4 \times 4$ 相邻的像素为一个块(Patch),然后在通道(channel)方向展平(flatten)。之后,通过4个Stage构建大小分别为 $\frac{H}{4} \times \frac{W}{4} \times C$ 、 $\frac{H}{8} \times \frac{W}{8} \times 2C$ 、 $\frac{H}{16} \times \frac{W}{16} \times 4C$ 、 $\frac{H}{32} \times \frac{W}{32} \times 8C$ 的特征图,除第一个Stage即Stage1中先通过一个Linear Embedding层再通过重复堆叠的2个Swin Transformer Block模块外,其余Stage即Stage2至Stage4均先通过一个Patch Merging层进行下采样再通过重复堆叠的2个Swin Transformer Block模块。

[0108] 也就是说,Swin Transformer模型包括Swin Transformer Block模块。其中,Swin Transformer Block模块包括窗口多头自注意力层(window multi-head self-Attention, W-MSA)和移位窗口多头自注意力层(shift-window multi-head self-Attention, SW-MSA),窗口多头自注意力层和移位窗口多头自注意力层交替出现,以实现窗口内信息传递与窗口之间信息传递。相邻两个Swin Transformer Block模块的具体结构如图10所示。在前的Swin Transformer Block模块包含W-MSA结构,在后的Swin Transformer Block模块包含SW-MSA。输入在前的Swin Transformer Block模块的特征 $z^{l-1}$ 先经过NormLayer进行归一化处理,再经过W-MSA结构进行特征的学习,接着的是一个残差操作得到估计值 $\hat{z}^l$ ,接着再依次经过一个NormLayer、一个多层感知机(MLP)以及一个残差操作,得到该在前的Swin Transformer Block模块输出的特征 $z^l$ 。特征 $z^l$ 输入在后的Swin Transformer Block模块,先经过一个NormLayer进行归一化处理,再经过SW-MSA结构进行特征的学习,接着的是一个残差操作得到估计值 $\hat{z}^{l+1}$ ,接着再依次经过一个NormLayer、一个MLP以及一个残差操作,得到该在后的Swin Transformer Block模块输出的特征 $z^{l+1}$ 。

[0109] 此外,Swin Transformer模型引入滑动窗口以更好地提取全局特征。一并结合图11,Swin Transformer模型每次计算时,划分的窗口的相对位置不同,使得各子图之间都会参与注意力(attention)机制的计算,不会使Swin Transformer模型只“关心”局部特征。通过对特征图移位,并给attention设置相应的蒙版(mask),来实现保持固定窗口数的情况下计算出等效窗口移动的结果。

[0110] 多雷达干扰感知网络模型的训练评价指标可以设置为mAP和IOU。mAP是目标检测模型中常见评价指标,该指标既考虑了模型查准率,也考虑了模型的查全率,是一个公认较好的衡量指标。mAP是将所有类别的平均正确率(Average Precision, AP)值做加权平均得到的结果。在目标检测中,对于一个预测框(锚框),其置信度数值决定该框的预测结果,其IOU数值决定该框的标记结果,一般的,若 $IOU > 0.5$ 即认为标注结果是正样本。

[0111] 在利用标注好的数据特征集训练多雷达干扰感知网络模型即Swin Transformer模型时,为了节省时间,加速网络收敛,可以采用预训练与微调的方式完成对自身构建数据集的训练。举例而言,训练硬件设备为可以为装备Windows系统的电脑,处理器为Intel(R) Core(TM) i7-10875H CPU@ 2.30GHz,配备16GB的RAM与6GB显存的NVIDIA GeForce RTX 2060显卡,训练网络软件配置环境为:Pytorch1.7.1,CUDA 11.0,在软件VSCode上运行。设置微调批尺寸(batch\_size)为4,迭代次数为50次,耗时约7小时,则训练过程中损失值(loss)、学习率(learning rate, lr)及验证集mAP (IOU=0.5) 指标变化情况如图12所示。

[0112] 示例性的,步骤S230中,基于干扰时频特征,利用训练好的多雷达干扰感知网络模型,确定各雷达分别对应的干扰类型及其干扰参数,包括:将干扰时频特征输入训练好的多

雷达干扰感知网络模型,得到各雷达分别对应的干扰类型及其网络时频特征预测框信息;基于网络时频特征预测框信息,通过几何方式折算出对应的干扰参数。

[0113] 具体的,训练好的多雷达干扰感知网络模型可以分别根据各干扰回波信号的干扰时频特征,预测出对应的干扰类型,从而得到各干扰回波信号所对应的各雷达分别对应的干扰类型。

[0114] 对于不同有源干扰类型,训练好的多雷达干扰感知网络模型还可以输出各干扰类型分别对应的网络时频特征预测框(锚框)信息。根据网络时频特征预测框信息,即可通过几何方式折算出对应的干扰参数。

[0115] 以干扰类型为间歇采样转发干扰为例,其对应的网络时频特征预测框信息如图13所示,其中, $W_{in}$ 表示预测时频谱图宽度, $H_{in}$ 表示预测时频谱图高度, $T_{total}$ 表示时间轴总长度且图13中 $T_{total}=1\text{ms}$ , $F_{total}$ 表示频率轴总长度且图13中 $F_{total}=30\text{MHz}$ ,其中的负频率表示信号已变化到基带, $F_{start}$ 表示频率轴起始点, $\Delta F$ 表示频率最小间隔。在此基础上,间歇采样转发干扰的干扰参数所包括的干扰数量、干扰脉冲宽度、干扰脉冲重复周期可通过以下方式确定:

[0116] 1、干扰数量:间歇采样转发干扰的预测框数量 $\hat{N}_{ISDJ}$ ,可以直接作为间歇采样转发干扰的干扰数量。

[0117] 2、干扰脉冲宽度:间歇采样转发干扰的干扰脉冲宽度,可以根据下式计算得到:

$$[0118] \quad \hat{T}p_{ISDJ\_i} = \frac{(x_i^r - x_i^l)W_{in}}{T_{total}}$$

[0119] 其中, $\hat{T}p_{ISDJ\_i}$ 表示第*i*个间歇采样转发干扰的干扰脉冲宽度,*i*表示一个样本中的第*i*个类型为间歇采样转发干扰的干扰回波信号。

[0120] 3、干扰脉冲重复周期:间歇采样转发干扰的干扰脉冲重复周期,可以根据下式计算得到:

$$[0121] \quad PRT_{ISDJ\_i} = \frac{(x_i^l - x_{i-1}^l)W_{in}}{T_{total}}$$

[0122] 其中, $PRT_{ISDJ\_i}$ 表示第*i*个间歇采样转发干扰的干扰脉冲重复周期。

[0123] 步骤S240,对各雷达对应的干扰类型及其干扰参数进行融合,得到分布式雷达协同感知的干扰辨识结果。

[0124] 具体的,各雷达节点对应的干扰类型及其干扰参数,包括各雷达节点感知到的每个干扰源对应的干扰类型与干扰参数,通过利用多雷达节点感知优势,将各雷达节点的感知结果进行融合,即可得到分布式雷达协同感知的干扰辨识结果。

[0125] 示例性的,步骤S240包括:针对每个干扰源,选取对应的雷达的数量最多的干扰类型,作为融合感知干扰类型;提取各雷达分别对应的与各干扰源的融合感知干扰类型相匹配的干扰参数,得到各融合感知干扰类型分别对应的各单雷达干扰参数;针对每个干扰源,对于其融合感知干扰类型对应的各单雷达干扰参数,剔除其中的指定类型参数偏离其对应均值两倍方差的离群值,对指定类型参数之外的其他类型参数按照参数类型进行平均融

合,得到融合感知干扰参数;指定类型参数包括切片宽度、频点、带宽。

[0126] 具体的,一并结合图14,首先,针对每个干扰源进行干扰类型判决,选取各雷达节点感知到的次数最多的干扰类型作为各干扰源对应的融合后干扰类别即融合感知干扰类型。举例而言,假设雷达节点1至雷达节点5对同一干扰源感知到的干扰类型分别为密集假目标干扰、密集假目标干扰、密集假目标干扰、密集假目标干扰、灵巧噪声干扰,则由于各雷达节点针对该干扰源感知到的次数最多的干扰类型为密集假目标干扰,因此,将密集假目标干扰作为该干扰源对应的融合感知干扰类型。

[0127] 之后,将干扰类型识别正确的各雷达节点的相关估计参数即感知到的干扰参数取出,作为融合感知干扰类型分别对应的各单雷达干扰参数。举例而言,雷达节点1至雷达节点5对同一干扰源感知到的干扰类型分别为密集假目标干扰、密集假目标干扰、密集假目标干扰、密集假目标干扰、灵巧噪声干扰,融合感知干扰类型为密集假目标干扰时,由于雷达节点1至雷达节点4识别到的干扰类型与融合感知干扰类型相同,而雷达节点5识别到的干扰类型与融合感知干扰类型不同,因此,雷达节点1至雷达节点4为干扰类型识别正确的雷达节点,此时,将雷达节点1至雷达节点4的估计参数即感知到的干扰参数取出,即可得到雷达节点1至雷达节点4分别对应的单雷达干扰参数。

[0128] 再之后,对于每个融合感知干扰类型,针对其对应的单雷达干扰参数中的切片宽度、频点、带宽等指定类型参数,分别剔除偏离其均值两倍方差的离群值,接着,针对单雷达干扰参数中指定类型参数之外的其他类型参数,分别按照参数类型进行平均融合,得到每个融合感知干扰类型分别对应的融合感知干扰参数。

[0129] 示例性的,基于分布式雷达的多干扰源感知方法还包括:根据干扰辨识结果,生成多雷达协同抗干扰策略;根据多雷达协同抗干扰策略,对各雷达所使用的发射接收波形进行选择调度。

[0130] 具体的,本实施方式可以根据干扰辨识结果包括的融合感知干扰类型及其对应的融合感知干扰参数,生成多雷达协同抗干扰策略,根据该多雷达协同抗干扰策略包括的各雷达的发射接收波形,对各雷达实际使用的发射接收波形进行选择调度,以提高雷达抗干扰能力,提升雷达的生存和作战能力。

[0131] 需要说明的是,本实施方式并不对生成多雷达协同抗干扰策略的具体方式进行限制,本领域技术人员可以根据实际需要进行选择。

[0132] 为使本领域技术人员能够更好地理解上述实施方式,下面以一具体示例进行说明。

[0133] 如图15所示,一种基于分布式雷达的多干扰源感知方法,包括数据源获取、干扰角度位置估计、数据特征集构建、感知网络模型生成、干扰检测与参数估计共五个部分。

[0134] 数据源获取:在多复杂干扰场景下的多雷达协同探测场景,利用N部雷达针对多干扰源和多目标获取回波数据,得到各雷达的阵元回波信息。

[0135] 干扰角度位置估计:根据各雷达的阵元回波信息,利用MUSIC算法分别进行干扰源角度估计、目标角度估计,得到每部雷达视角下的干扰源角度信息、目标角度信息。根据各雷达视角下的干扰源角度信息和目标角度信息分别进行自适应波束形成,增强特定角度干扰信号,抑制其余方向干扰。利用同一干扰源的回波信号相关性,对各种干扰波束做互相关运算,根据相关稀疏,对各雷达感知到的干扰源角度进行关联、匹配。根据各雷达估计到的

干扰源角度以及对应关系进行交叉定位,得到所有干扰源的位置信息。

[0136] 数据特征集构建:将基于干扰角度波束形成的回波信号使用STFT进行时频分析,提取干扰时频特征得到时频图特征,使用滑窗脉压处理提取干扰多核滑窗匹配特征,形成数据特征集。

[0137] 感知网络模型生成:多雷达干扰感知网络模型基于Swin Transformer模型生成,利用数据特征集进行训练。将各雷达对应的干扰时频特征输入训练好的多雷达干扰感知网络模型,即可预测出每部雷达分别感知到的干扰类型及其网络时频特征预测框信息,利用网络时频特征预测框信息即可通过几何方式折算出对应的干扰参数,从而得到各雷达分别感知到的干扰参数。

[0138] 干扰检测与参数估计:对各雷达感知到的干扰类型及干扰参数进行融合,得到干扰辨识结果,该干扰辨识结果包括融合后的干扰类型及干扰参数。其中,干扰检测是对各雷达感知到的干扰类型进行融合估计,对各雷达感知到的干扰类型进行融合判决,选取各雷达感知次数最多的干扰类型作为融合后的干扰类型即融合感知干扰类型,如窄脉冲干扰、灵巧噪声干扰、密集假目标干扰、噪声调幅干扰等。干扰参数估计是对各雷达感知到的干扰参数进行融合估计,将感知到的干扰类型正确的雷达所感知到的干扰参数提取出来,得到融合感知干扰类型分别对应的各单雷达干扰参数,将各单雷达干扰参数包括的干扰切片宽度、干扰工作频点、干扰工作带宽、干扰转发周期等指定类型参数偏离其对应均值两倍方差的离群值剔除,将各单雷达干扰参数包括的指定类型参数之外的其他类型参数按照参数类型进行平均融合,得到融合感知干扰类型对应的融合感知干扰参数即融合后的干扰参数。

[0139] 在干扰检测与参数估计之后,还可以基于最终得到的融合感知干扰类型及融合感知干扰参数生成多雷达协同抗干扰策略,根据该多雷达协同抗干扰策略对各雷达所使用的发射接收波形进行选择调度。

[0140] 本公开实施方式提供的基于分布式雷达的多干扰源感知方法,相对于现有技术而言,利用分布式雷达相对于单基地雷达的多站布局形态优势,构成全方位、立体化、多层次的探测体系,对分布式雷达系统探测获得的阵元回波信息进行融合,利用多雷达干扰感知网络模型采用端对端的深度学习处理算法实现了干扰类型的辨识,并在此基础上实现干扰参数信息的获取,提高了干扰类型辨识精度及干扰参数估计精度,为自适应形成抗干扰波形、波束等抗干扰策略提供了干扰感知先验信息,有效提高了雷达方在电子战中的生存能力,为雷达方在电子战中占有一定的有利地位提供了有效技术支撑。

[0141] 本公开的另一个实施方式涉及一种基于分布式雷达的多干扰源感知装置,如图16所示,包括探测模块1610、第一确定模块1620、第二确定模块1630、融合模块1640。

[0142] 探测模块1610用于在多干扰场景下,利用分布式部署的多部雷达对空中的多目标进行探测,得到各雷达的阵元回波信息。

[0143] 第一确定模块1620用于根据阵元回波信息,利用MUSIC算法分别进行干扰源角度估计、目标角度估计,确定各雷达分别对应的基于干扰角度波束形成的干扰回波信号。

[0144] 第二确定模块1630用于提取各干扰回波信号的干扰时频特征,基于干扰时频特征,利用训练好的多雷达干扰感知网络模型,确定各雷达分别对应的干扰类型及其干扰参数。

[0145] 融合模块1640用于对各雷达对应的干扰类型及其干扰参数进行融合,得到分布式

雷达协同感知的干扰辨识结果。

[0146] 示例性的,基于分布式雷达的多干扰源感知装置还包括训练模块。

[0147] 训练模块用于根据以下步骤得到训练好的多雷达干扰感知网络模型:分别提取各干扰回波信号的干扰时频特征和干扰多核滑窗匹配特征,构建数据特征集;对数据特征集中的单干扰样本、复合干扰样本进行标注;利用标注后的数据特征集训练多雷达干扰感知网络模型,直至多雷达干扰感知网络模型的全类平均正确率和交并比满足预设要求。

[0148] 示例性的,多雷达干扰感知网络模型采用Swin Transformer模型。Swin Transformer模型包括Swin Transformer Block模块,Swin Transformer Block模块包括窗口多头自注意力层和移位窗口多头自注意力层,窗口多头自注意力层和移位窗口多头自注意力层交替出现,以实现窗口内信息传递与窗口之间信息传递。

[0149] 示例性的,第一确定模块1620用于根据阵元回波信息,利用MUSIC算法分别进行干扰源角度估计、目标角度估计,确定各雷达分别对应的基于干扰角度波束形成的干扰回波信号,包括:

[0150] 第一确定模块1620用于:基于阵元回波信息,利用MUSIC算法估计各雷达在其自身视角下的干扰源角度信息、目标角度信息;针对每部雷达,分别基于对应的干扰源角度信息和目标角度信息进行自适应波束形成,得到对应的干扰回波信号。

[0151] 示例性的,第一确定模块1620还用于:利用同一干扰源的回波信号相关性,对各干扰回波信号做互相关运算,根据相关稀疏,对各雷达对应的干扰源角度信息进行关联匹配;根据各雷达对应的干扰源角度信息及各干扰源角度信息之间的关联匹配关系进行交叉定位,确定所有干扰源的位置信息。

[0152] 示例性的,第二确定模块1630用于基于干扰时频特征,利用训练好的多雷达干扰感知网络模型,确定各雷达分别对应的干扰类型及其干扰参数,包括:

[0153] 第二确定模块1630用于:将干扰时频特征输入训练好的多雷达干扰感知网络模型,得到各雷达分别对应的干扰类型及其网络时频特征预测框信息;基于网络时频特征预测框信息,通过几何方式折算出对应的干扰参数。

[0154] 示例性的,融合模块1640用于对各雷达对应的干扰类型及其干扰参数进行融合,得到分布式雷达协同感知的干扰辨识结果,包括:

[0155] 融合模块1640用于:针对每个干扰源,选取对应的雷达的数量最多的干扰类型,作为融合感知干扰类型;提取各雷达分别对应的与各干扰源的融合感知干扰类型相匹配的干扰参数,得到各融合感知干扰类型分别对应的各单雷达干扰参数;针对每个干扰源,对于其融合感知干扰类型对应的各单雷达干扰参数,剔除其中的指定类型参数偏离其对应均值两倍方差的离群值,对指定类型参数之外的其他类型参数按照参数类型进行平均融合,得到融合感知干扰参数;指定类型参数包括切片宽度、频点、带宽。

[0156] 示例性的,基于分布式雷达的多干扰源感知装置还包括决策模块。决策模块用于:根据干扰辨识结果,生成多雷达协同抗干扰策略;根据多雷达协同抗干扰策略,对各雷达所使用的发射接收波形进行选择调度。

[0157] 本公开实施方式提供的基于分布式雷达的多干扰源感知装置的具体实现方法,可以参见本公开实施方式提供的基于分布式雷达的多干扰源感知方法所述,此处不再赘述。

[0158] 本公开实施方式提供的基于分布式雷达的多干扰源感知装置,相对于现有技术而

言,利用分布式雷达相对于单基地雷达的多站布局形态优势,构成全方位、立体化、多层次的探测体系,对分布式雷达系统探测获得的阵元回波信息进行融合,利用多雷达干扰感知网络模型采用端对端的深度学习处理算法实现了干扰类型的辨识,并在此基础上实现干扰参数信息的获取,提高了干扰类型辨识精度及干扰参数估计精度,为自适应形成抗干扰波形、波束等抗干扰策略提供了干扰感知先验信息,有效提高了雷达方在电子战中的生存能力,为雷达方在电子战中占有一定的有利地位提供了有效技术支撑。

[0159] 本公开的另一个实施方式涉及一种电子设备,如图17所示,包括:

[0160] 至少一个处理器1701;以及,

[0161] 与至少一个处理器1701通信连接的存储器1702;其中,

[0162] 存储器1702存储有可被至少一个处理器1701执行的指令,指令被至少一个处理器1701执行,以使至少一个处理器1701能够执行上述实施方式所述的基于分布式雷达的多干扰源感知方法。

[0163] 其中,存储器和处理器采用总线方式连接,总线可以包括任意数量的互联的总线和桥,总线将一个或多个处理器和存储器的各种电路连接在一起。总线还可以将诸如外围设备、稳压器和功率管理电路等之类的各种其他电路连接在一起,这些都是本领域所公知的,因此,本文不再对其进行进一步描述。总线接口在总线和收发机之间提供接口。收发机可以是一个元件,也可以是多个元件,比如多个接收器和发送器,提供用于在传输介质上与各种其他装置通信的单元。经处理器处理的数据通过天线在无线介质上进行传输,进一步,天线还接收数据并将数据传送给处理器。

[0164] 处理器负责管理总线和通常的处理,还可以提供各种功能,包括定时,外围接口,电压调节、电源管理以及其他控制功能。而存储器可以被用于存储处理器在执行操作时所使用的数据。

[0165] 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。

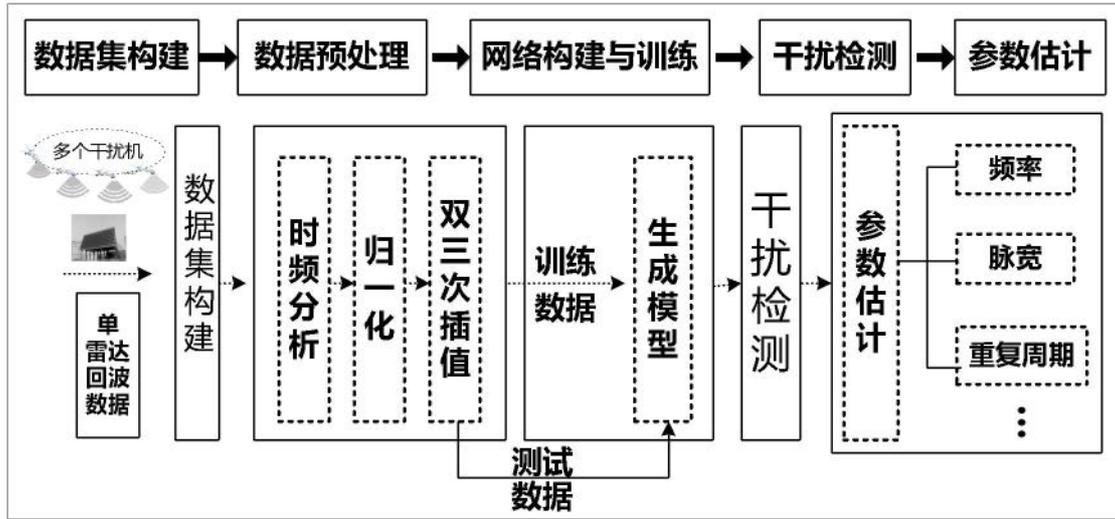


图1



图2

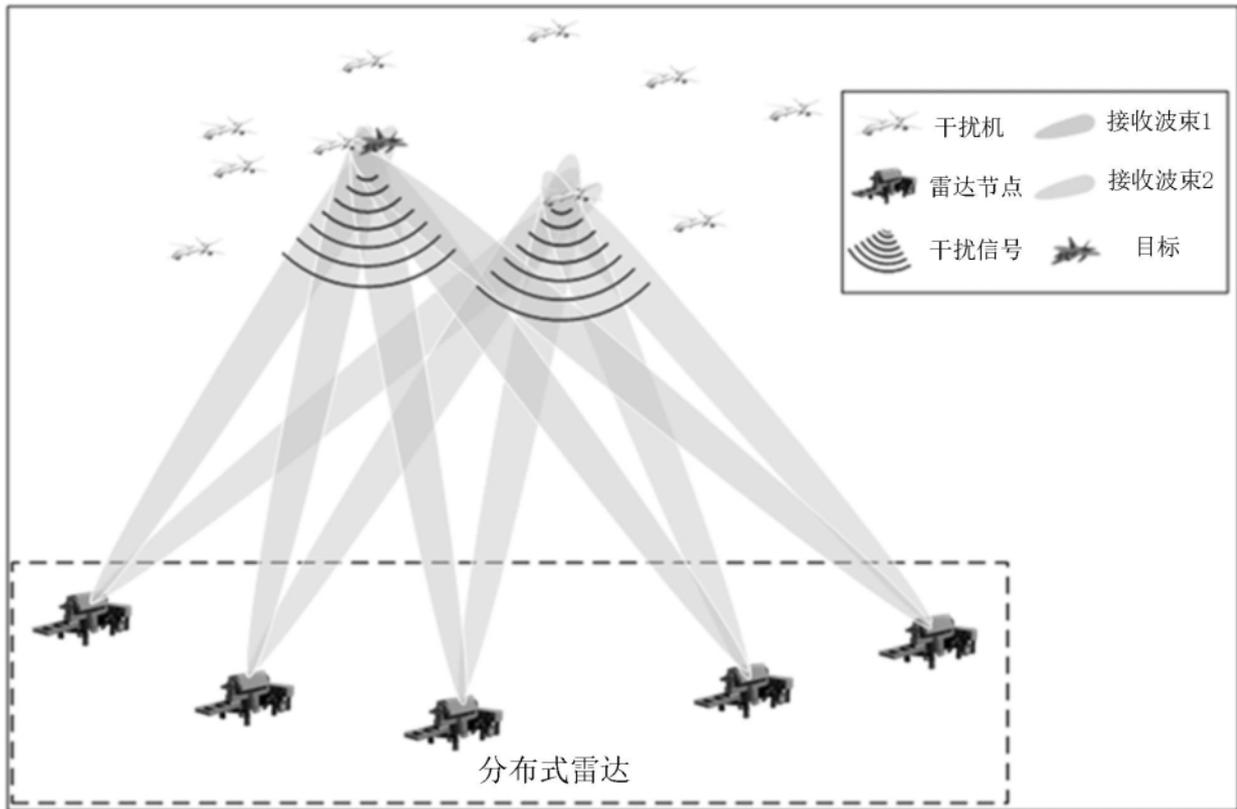


图3

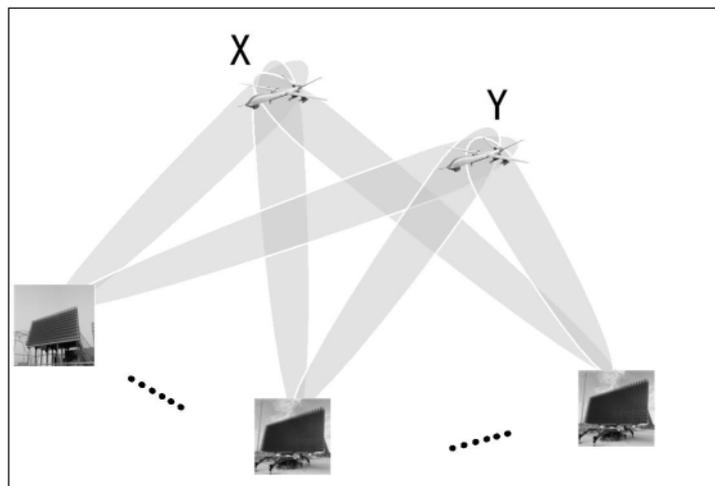


图4

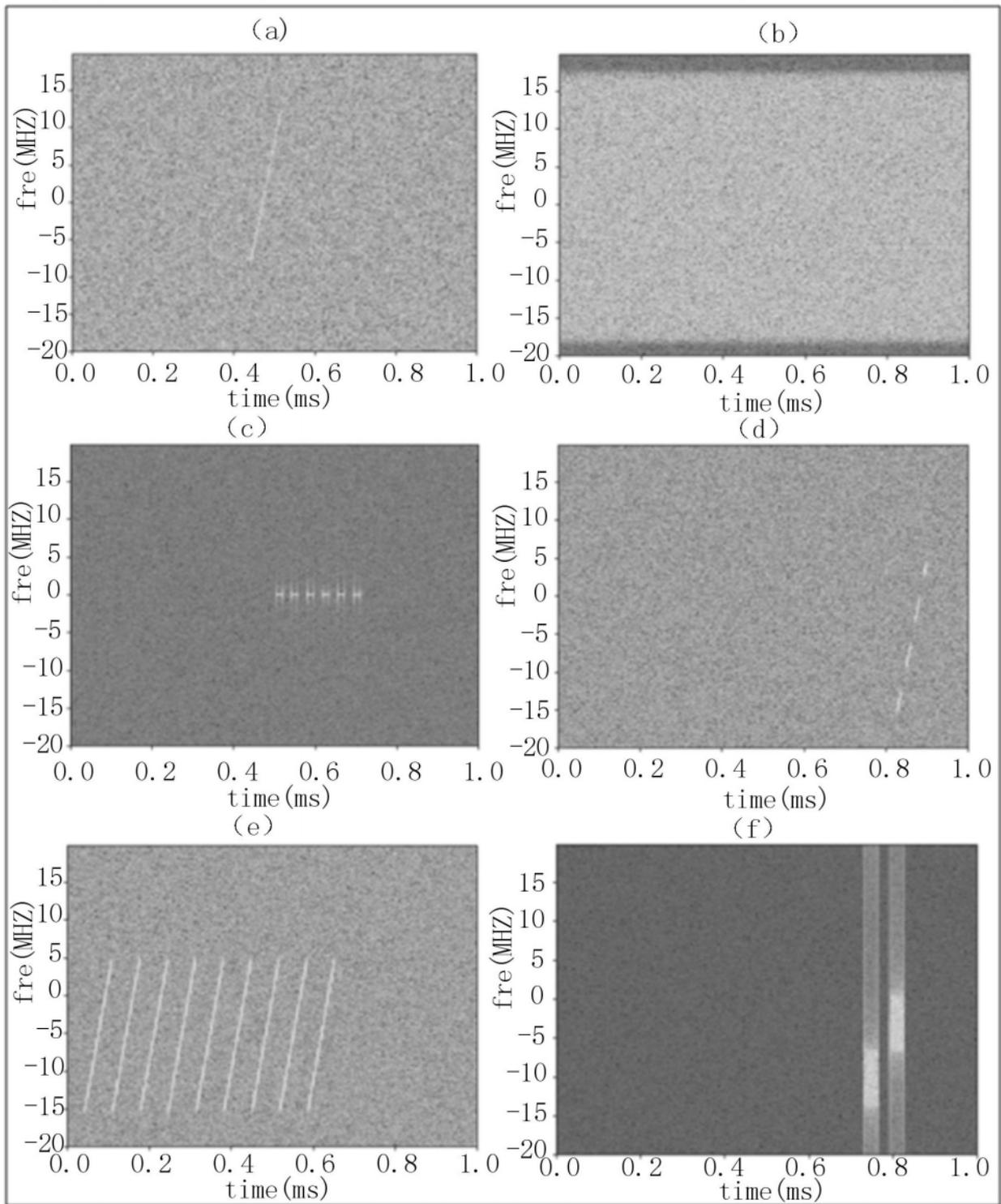


图5

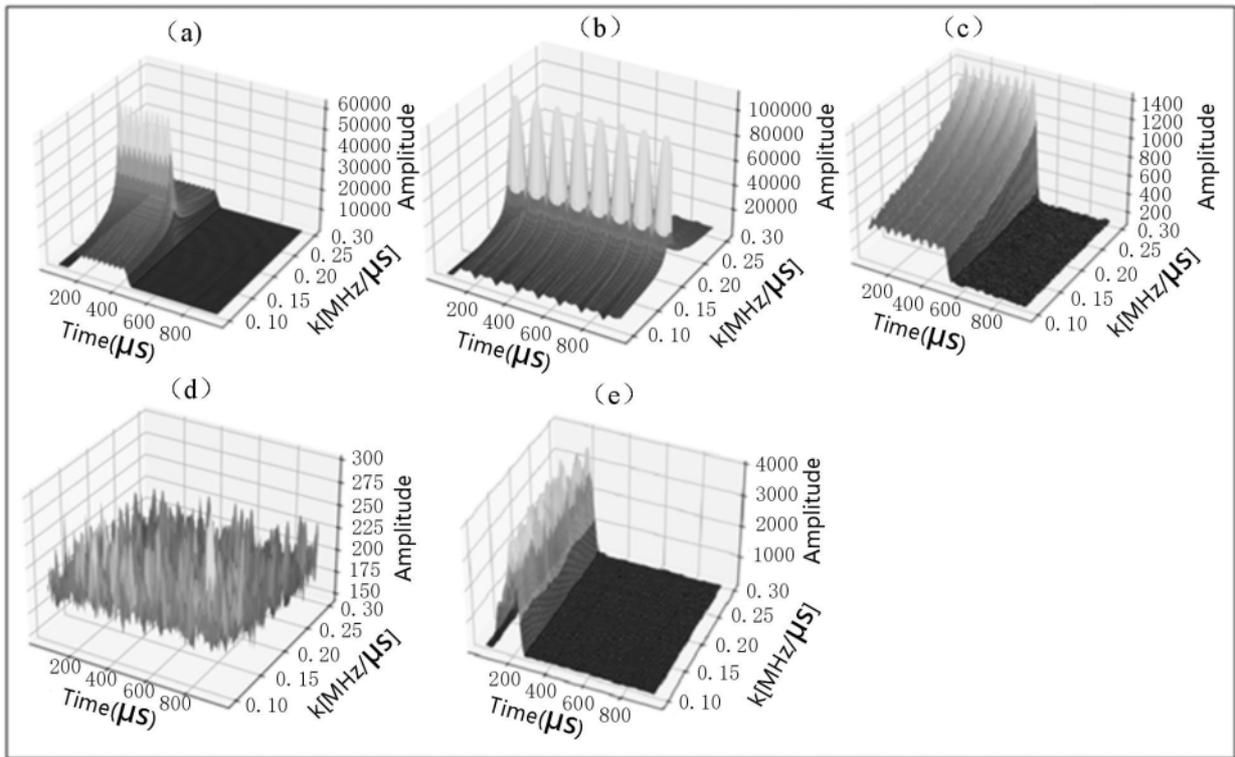


图6

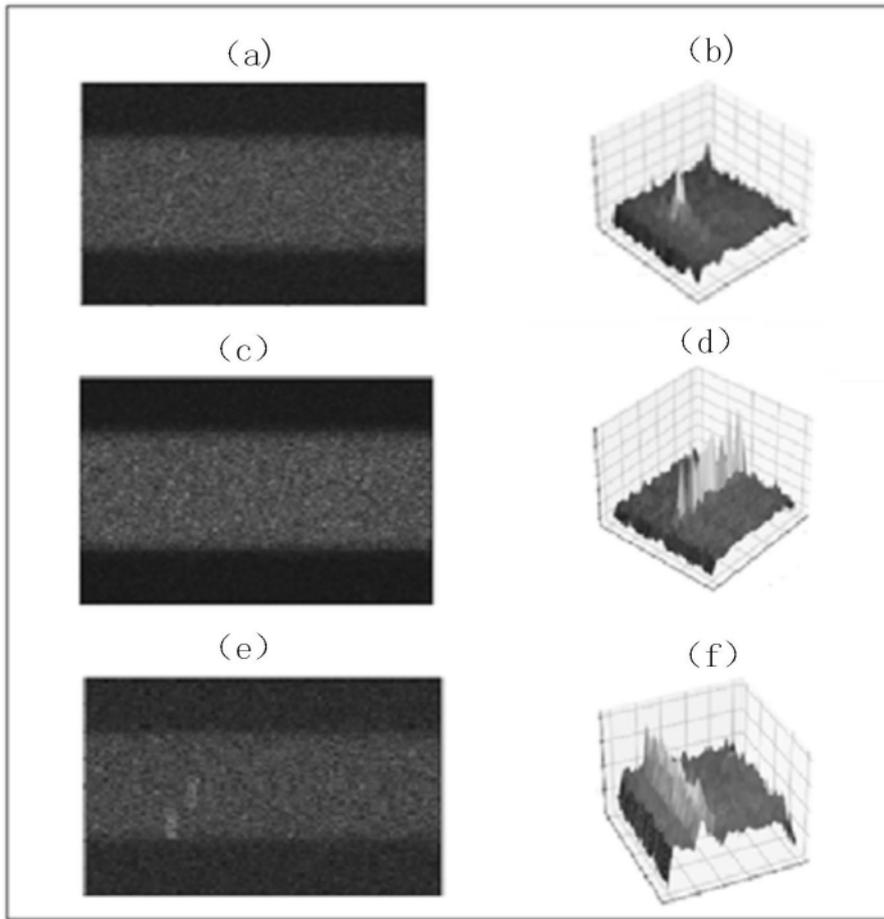


图7

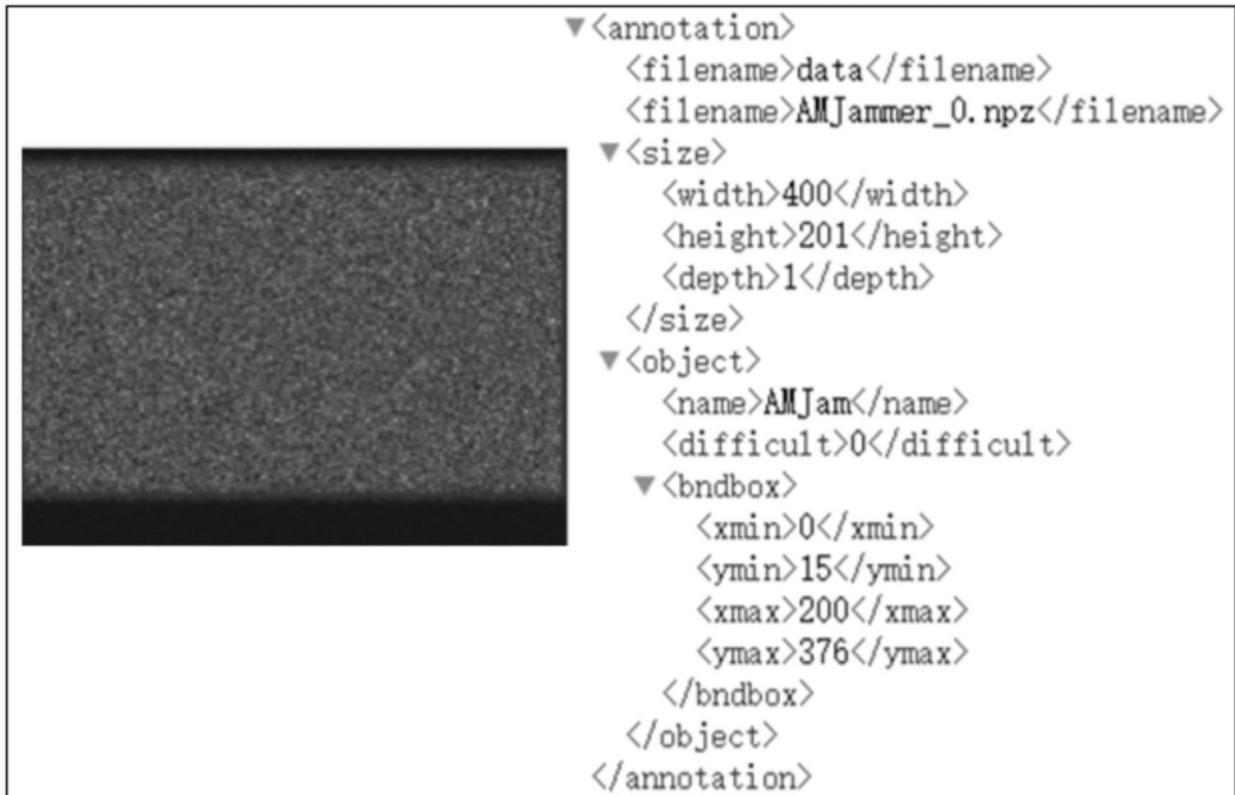


图8a

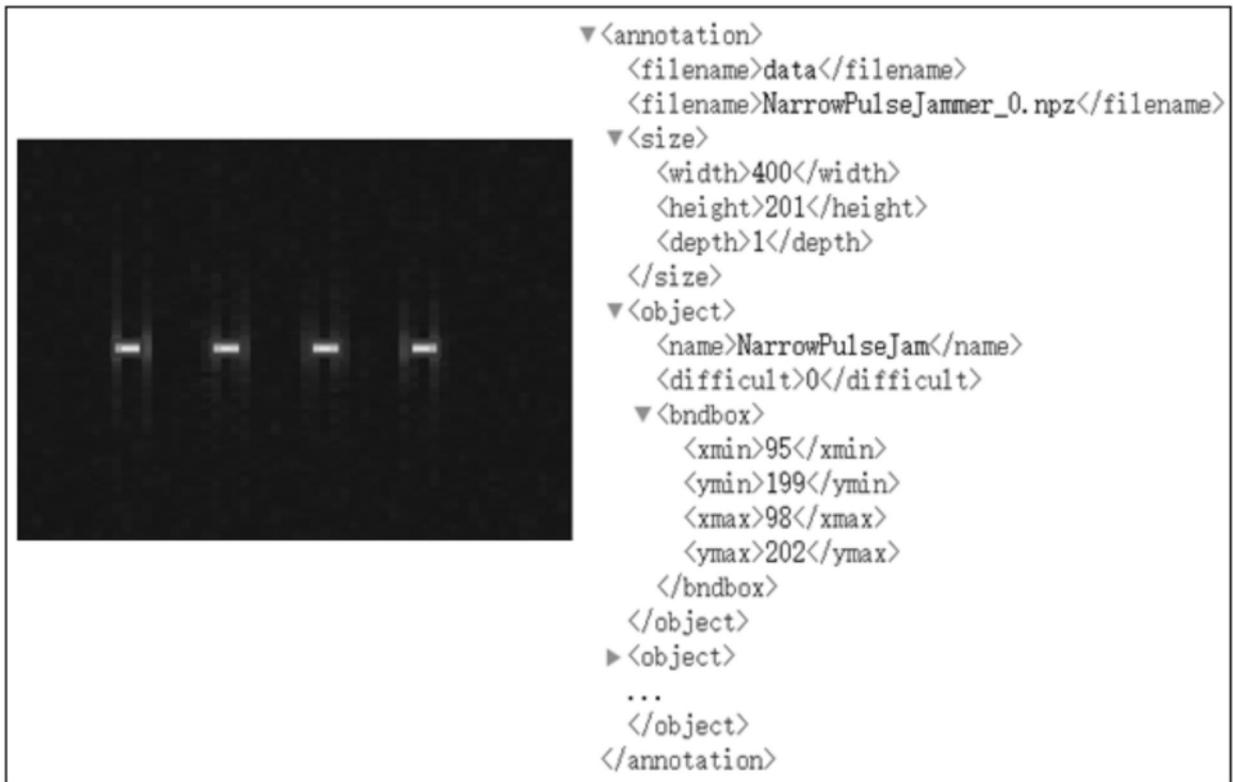


图8b

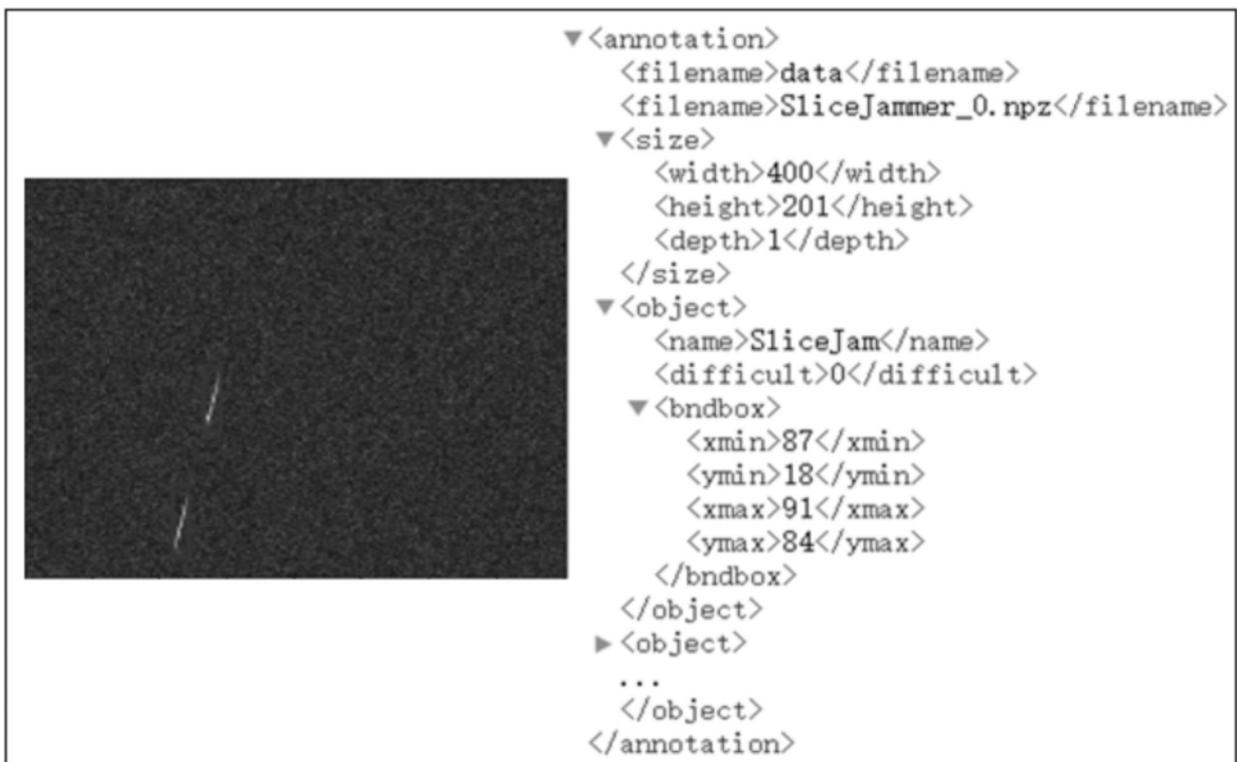


图8c

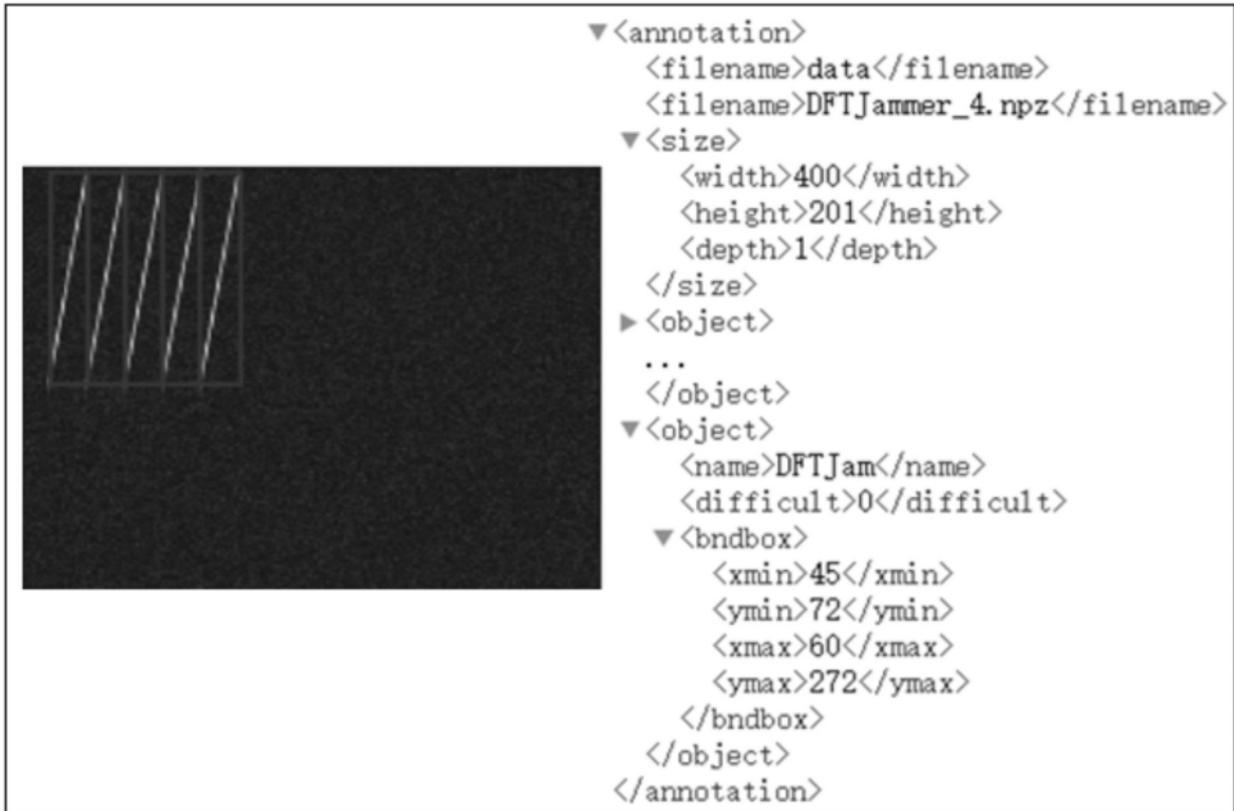


图8d



图8e

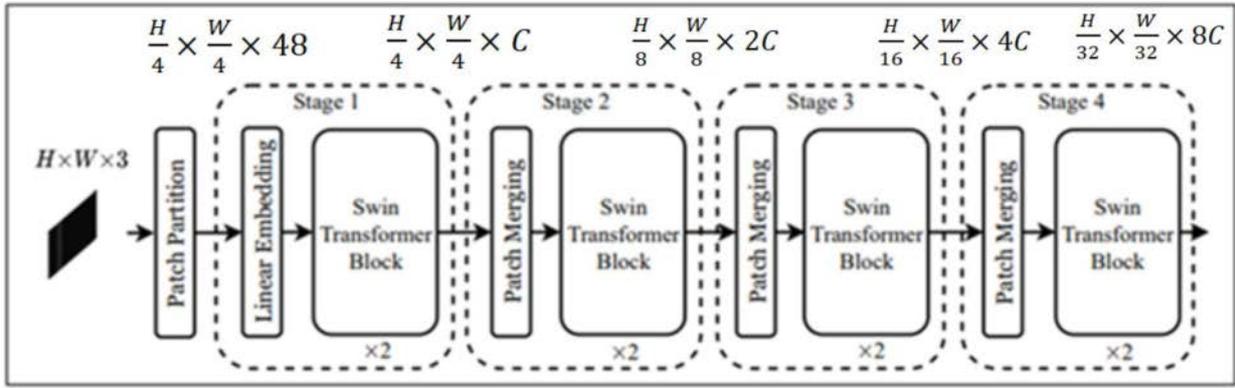


图9

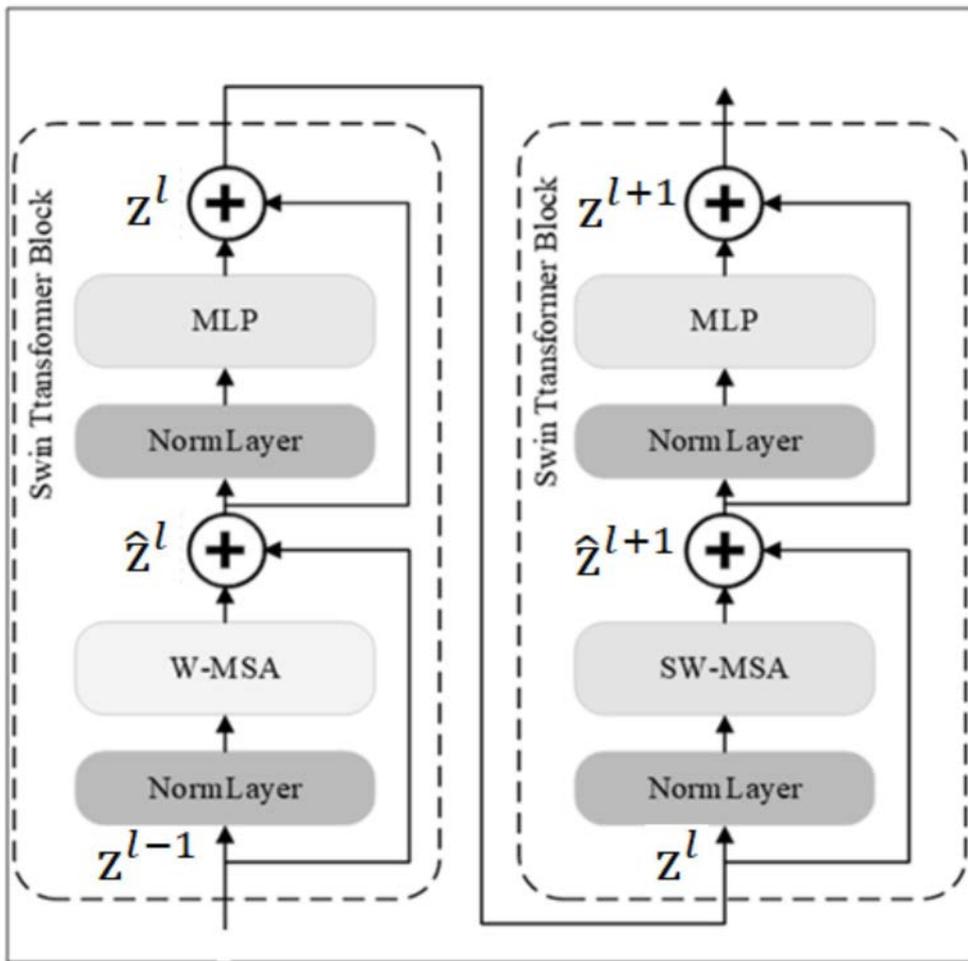


图10

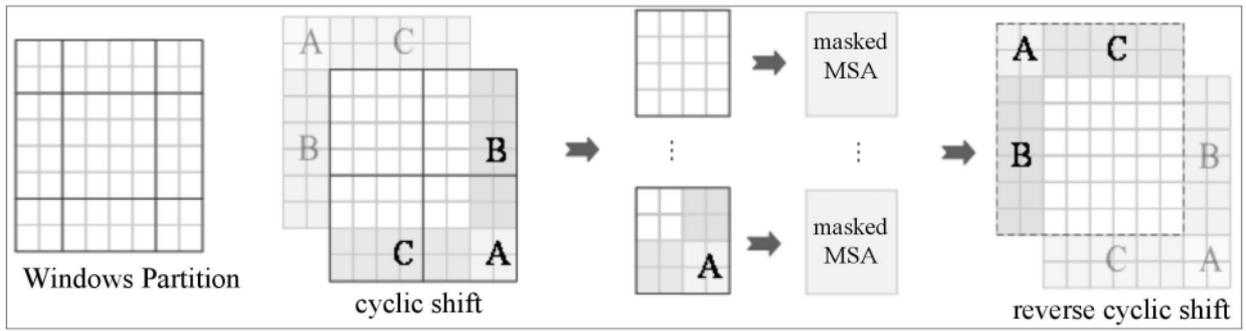


图11

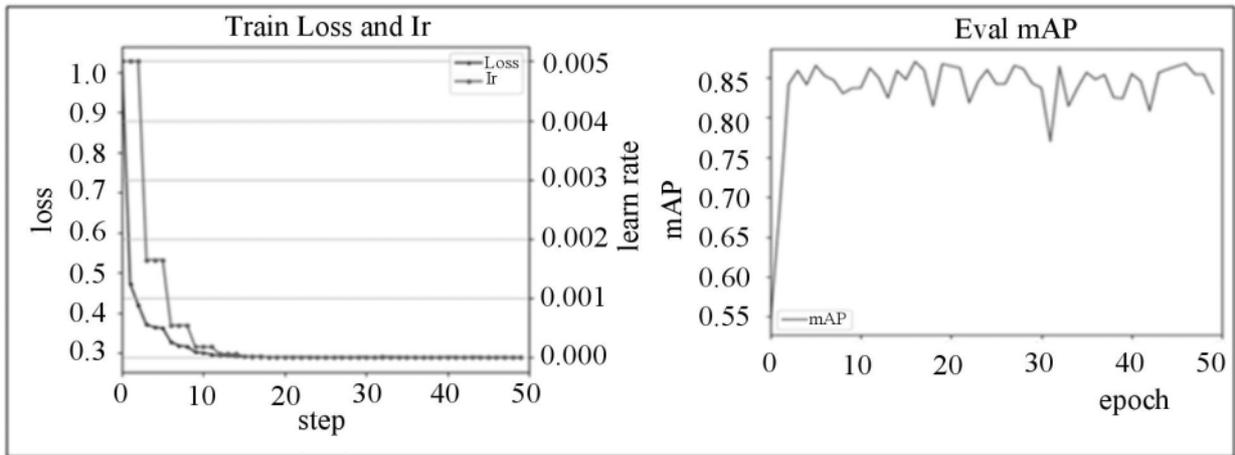


图12

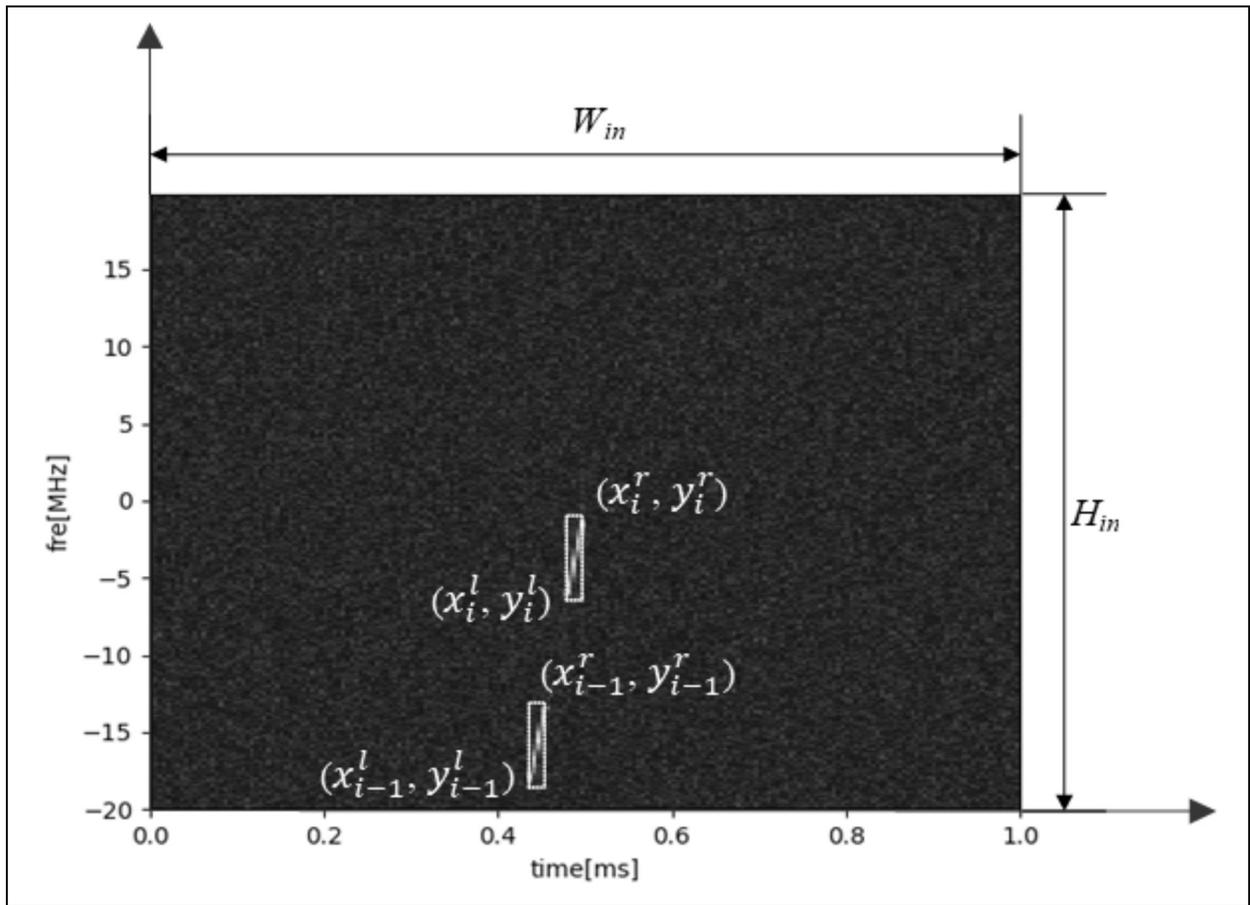


图13

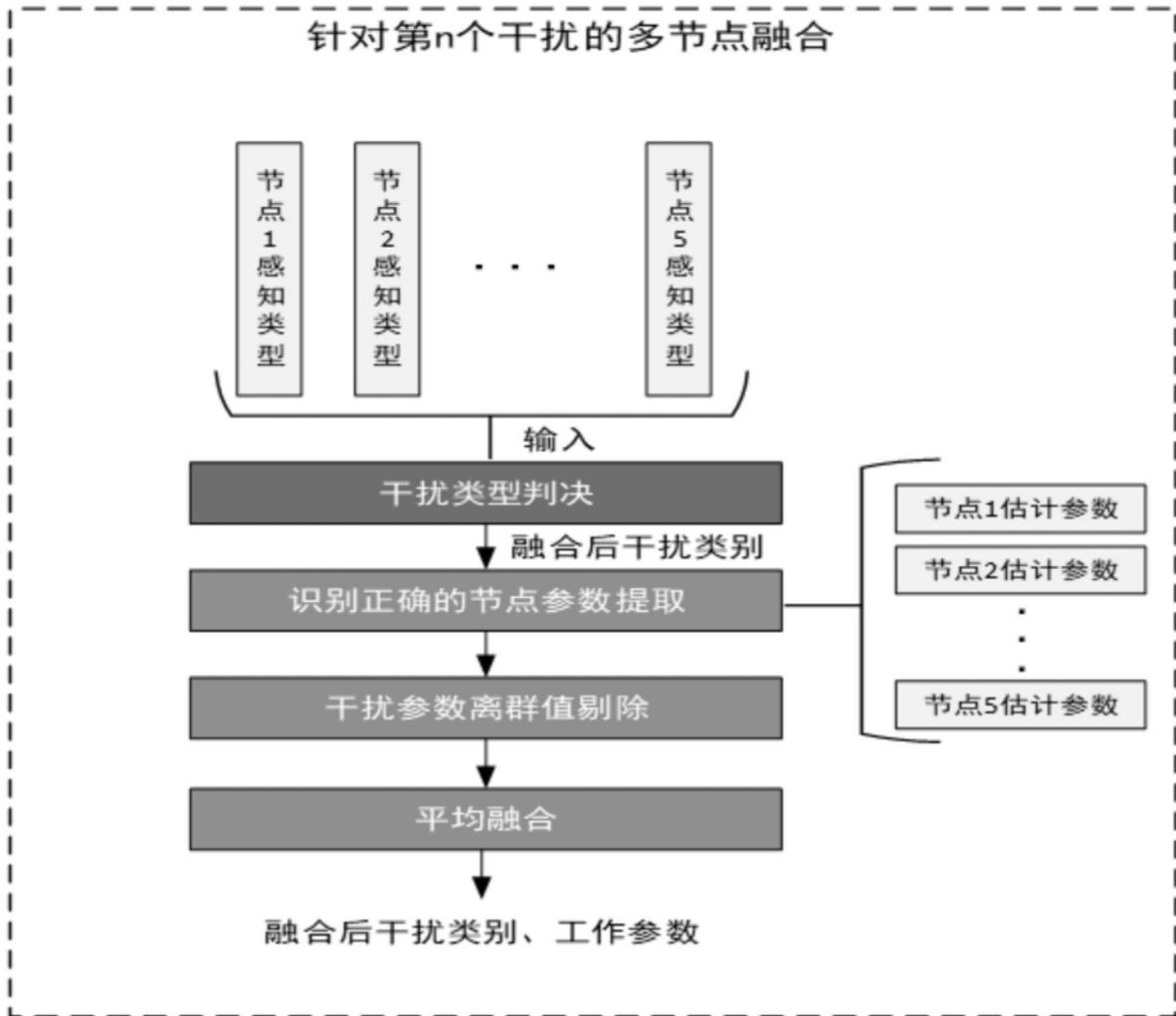


图14

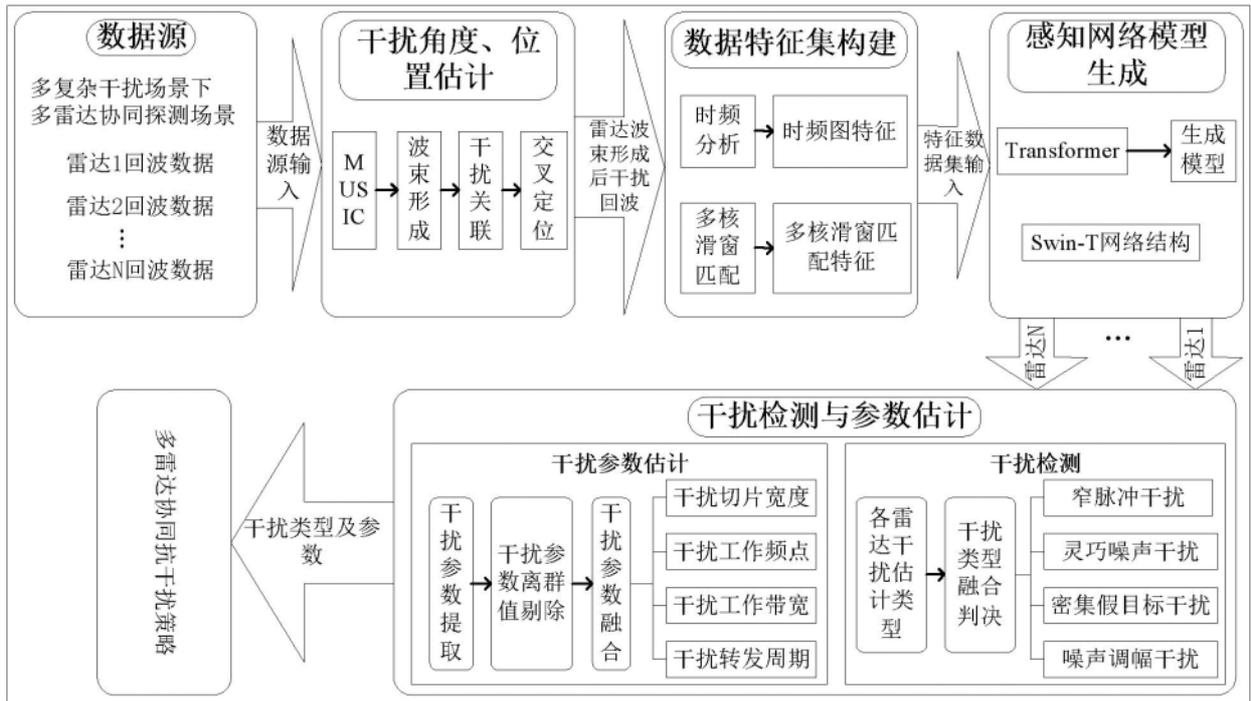


图15

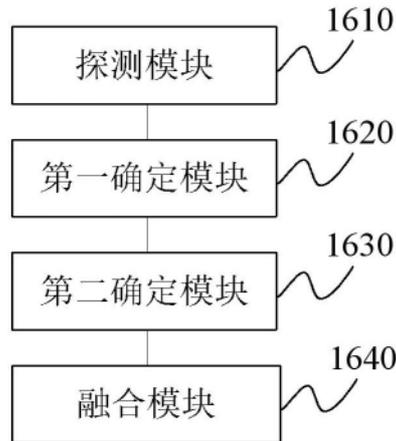


图16

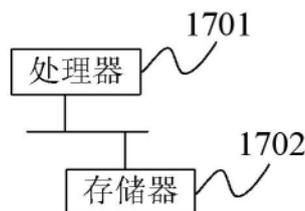


图17