(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 116381663 B
(45)授权公告日 2023.08.04

(21)申请号 202310649187.7
(22)申请日 2023.06.02
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 116381663 A
(43)申请公布日 2023.07.04
(73)专利权人 北京中建建筑科学研究院有限公司
地址 100071 北京市丰台区中核路3号院3号楼4层403室
专利权人 北京理工大学重庆创新中心
中国建筑一局(集团)有限公司
(72)发明人 李浩 王长军 邓云开 王健 田卫明 李肖肖 庞森 王涛 陈康 张学伟
(74)专利代理机构 北京维正专利代理有限公司 11508
专利代理师 俞振明
(51)Int.Cl.
G01S 13/00(2006.01)
G01S 13/89(2006.01)
G01S 7/41(2006.01)
(56)对比文件
CN 111679254 A,2020.09.18
CN 104808200 A,2015.07.29
CN 105738895 A,2016.07.06
JP 2017147630 A,2017.08.24
CN 115166683 A,2022.10.11
US 2015253419 A1,2015.09.10
Weiming Tian 等.Design of MIMO Array with low Grating Lobes in Near-Field Imaging.32nd URSI GASS.2017,1-4.
审查员 郝霏霏

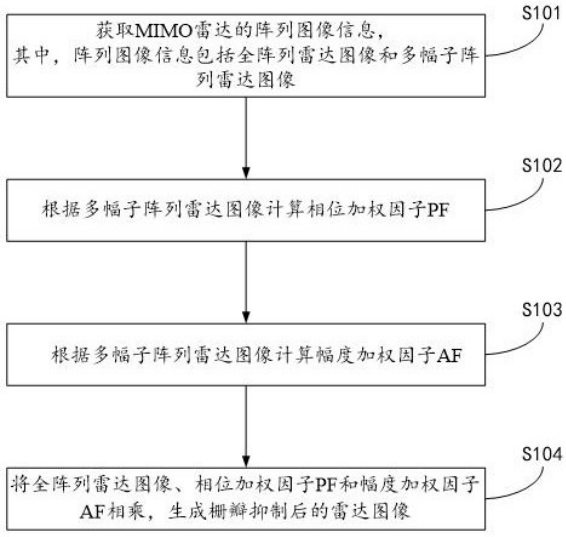
权利要求书2页 说明书9页 附图9页

(54)发明名称

MIMO雷达图像的栅瓣抑制方法、系统、设备及介质

(57)摘要

本申请涉及雷达成像的技术领域，尤其是涉及一种MIMO雷达图像的栅瓣抑制方法、系统、设备及介质。其中，MIMO雷达图像的栅瓣抑制方法包括：获取MIMO雷达的阵列图像信息，其中，所述阵列图像信息包括全阵列雷达图像和多幅子阵列雷达图像；根据所述多幅子阵列雷达图像计算相位加权因子PF；根据所述多幅子阵列雷达图像计算幅度加权因子AF；将所述全阵列雷达图像、所述相位加权因子PF和所述幅度加权因子AF相乘，生成栅瓣抑制后的雷达图像。本申请将全阵列雷达图像、相位加权因子PF和幅度加权因子AF相乘，生成栅瓣抑制后的雷达图像，有效抑制MIMO雷达成像时存在的栅瓣。



CN 116381663 B

1.一种MIMO雷达图像的栅瓣抑制方法,其特征在于,包括:

获取MIMO雷达的阵列图像信息,其中,所述阵列图像信息包括全阵列雷达图像和多幅子阵列雷达图像;

根据所述多幅子阵列雷达图像计算相位加权因子PF;

根据所述多幅子阵列雷达图像计算幅度加权因子AF;

将所述全阵列雷达图像、所述相位加权因子PF和所述幅度加权因子AF相乘,生成栅瓣抑制后的雷达图像;

其中,所述MIMO雷达包括M个发射天线阵元以及N个接收天线阵元;所述全阵列雷达图像是基于M*N个收发通道的回波信号进行成像得到的;所述多幅子阵列雷达图像与F个收发通道组一一对应,每个所述收发通道组均包括由M个发射天线阵元中的至少一个发射天线阵元以及N个接收天线阵元构成的收发通道,每幅子阵列雷达图像是基于对应的收发通道组的所有收发通道的回波信号进行成像得到的;M>1,N>1,F>1,且M、N、F均为整数。

2.根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述根据所述多幅子阵列雷达图像计算相位加权因子PF,包括:

分别提取每幅子阵列雷达图像的相位图,根据各相位图按照第一预设公式计算所述相位加权因子PF;

其中,所述第一预设公式为:

$PF=\frac{\left|\sum_{f=1}^{F}\exp\left(j\emptyset_{sf}\right)\right|}{F}$ 式中,$\emptyset_{sf}$表示第f幅子阵列雷达图像的相位图,f=1,2,……,F;

$j=sqrt(-1)$;$\exp\left(j\emptyset_{sf}\right)=\cos\emptyset_{sf}+j*\sin\emptyset_{sf}$。

3.根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述根据所述多幅子阵列雷达图像计算幅度加权因子AF,包括:

分别提取每幅子阵列雷达图像的幅度图,根据各幅度图按照第二预设公式计算所述幅度加权因子AF;

其中,所述第二预设公式为:

$AF=exp\left(-\frac{Std[A_{sf}]}{Mean(A_{sf})}\right)$式中,$A_{sf}$表示第f幅子阵列雷达图像的幅度图,f=1,2,……,F;

$Std[\ ]$表示幅度序列的标准差;$Mean(\ )$表示幅度序列的均值。

4.根据权利要求1至3任一项所述的方法,其特征在于,当所述阵列图像信息包括全阵列雷达图像时,所述获取MIMO雷达的阵列图像信息,包括:

获取M*N个收发通道的回波信号,采用后向投影成像算法对获取的回波信号进行处理,生成所述全阵列雷达图像。

5.根据权利要求1至3任一项所述的方法,其特征在于,当所述阵列图像信息包括多幅子阵列雷达图像时,所述获取MIMO雷达的阵列图像信息,包括:

对于任一所述收发通道组,获取所述收发通道组包含的所有收发通道的回波信号,采用后向投影算法对获取的回波信号进行处理,生成与所述收发通道组对应的子阵列雷达图像。

6.一种MIMO雷达图像的栅瓣抑制系统,其特征在于,包括:

获取模块,用于获取MIMO雷达的阵列图像信息,其中,所述阵列图像信息包括全阵列雷达图像和多幅子阵列雷达图像;所述MIMO雷达包括M个发射天线阵元以及N个接收天线阵元;所述全阵列雷达图像是基于M*N个收发通道的回波信号进行成像得到的;所述多幅子阵列雷达图像与F个收发通道组一一对应,每个所述收发通道组均包括由M个发射天线阵元中的至少一个发射天线阵元以及N个接收天线阵元构成的收发通道,所述子阵列雷达图像是基于对应的收发通道组的所有收发通道的回波信号进行成像得到的;M＞1,N＞1,F＞1,且M、N、F均为整数;

第一计算模块,用于根据所述多幅子阵列雷达图像计算相位加权因子PF;

第二计算模块,用于根据所述多幅子阵列雷达图像计算幅度加权因子AF;

生成模块,用于将所述全阵列雷达图像、所述相位加权因子PF和所述幅度加权因子AF相乘,生成栅瓣抑制后的雷达图像。

7.一种电子设备,其特征在于,包括处理器,所述处理器与存储器耦合;

所述处理器用于执行所述存储器中存储的计算机程序,以使得所述电子设备执行如权利要求1至5任一项所述的方法。

8.一种计算机可读存储介质,其特征在于,包括计算机程序或指令,当所述计算机程序或指令在计算机上运行时,使得所述计算机执行如权利要求1至5任一项所述的方法。

MIMO雷达图像的栅瓣抑制方法、系统、设备及介质

技术领域

[0001] 本申请涉及雷达成像的技术领域，尤其是涉及一种MIMO雷达图像的栅瓣抑制方法、系统、设备及介质。

背景技术

[0002] 地质灾害在世界范围内频繁发生，每年会造成严重的经济损失和大量的人员伤亡，其中，滑坡是发生频率最高的地质灾害之一，因此，对其开展监测预警是防灾减灾的重要环节。滑坡的诱发因素很多，在边坡宏观失稳之前，均会发生应力的改变，其表面通常会出现形变，通常使用地基干涉雷达进行监测。

[0003] 作为一种新型的地基干涉雷达，地基MIMO(Multiple-Input Multiple-Output，多输入多输出)干涉雷达能够探测到边坡的局部极其微小的变形，为工程施工提供早期预警，在地表形变监测领域逐步得到了应用。

[0004] MIMO雷达又被称为多输入多输出系统，MIMO雷达采用多个发射天线阵元和多个接收天线阵元的特殊排布来合成大孔径阵列，并且所有的发射信号均可以由接收端的各个接收天线阵元来接收，能够实现雷达信号的快速发射与接收。

[0005] 由于MIMO雷达具备多个发射通道和接收通道，受发射通道和接收通道的通道间误差和位置误差影响，各个通道之间不可避免地会存在幅相、延时特性不一致等问题，导致收发阵列的方向图中的零深与栅瓣无法完全对消，导致MIMO雷达成像时会存在栅瓣问题，影响成像质量。

发明内容

[0006] 为了抑制MIMO雷达成像时存在的栅瓣，本申请提供一种MIMO雷达图像的栅瓣抑制方法、系统、设备及介质。

[0007] 第一方面，本申请提供一种MIMO雷达图像的栅瓣抑制方法，采用如下的技术方案：

[0008] 一种MIMO雷达图像的栅瓣抑制方法，包括：

[0009] 获取MIMO雷达的阵列图像信息，其中，所述阵列图像信息包括全阵列雷达图像和多幅子阵列雷达图像；

[0010] 根据所述多幅子阵列雷达图像计算相位加权因子PF；

[0011] 根据所述多幅子阵列雷达图像计算幅度加权因子AF；

[0012] 将所述全阵列雷达图像、所述相位加权因子PF和所述幅度加权因子AF相乘，生成栅瓣抑制后的雷达图像；

[0013] 其中，所述MIMO雷达包括M个发射天线阵元以及N个接收天线阵元；所述全阵列雷达图像是基于M*N个收发通道的回波信号进行成像得到的；所述多幅子阵列雷达图像与F个收发通道组一一对应，每个所述收发通道组均包括由M个发射天线阵元中的至少一个发射天线阵元以及N个接收天线阵元构成的收发通道，每幅子阵列雷达图像是基于对应的收发通道组的所有收发通道的回波信号进行成像得到的；M＞1，N＞1，F＞1，且M、N、F均为整数。

[0014] 通过采用上述技术方案，通过对MIMO雷达的多个收发通道进行分组能够得到多个收发通道组，根据多个收发通道组得到对应的多幅子阵列雷达图像，再根据多幅子阵列雷达图像计算相位加权因子PF和幅度加权因子AF，最后将全阵列雷达图像、相位加权因子PF和幅度加权因子AF相乘，生成栅瓣抑制后的雷达图像，有效抑制MIMO雷达成像时存在的栅瓣。

[0015] 优选的，所述根据所述多幅子阵列雷达图像计算相位加权因子PF，包括：

[0016] 分别提取每幅子阵列雷达图像的相位图，根据各相位图按照第一预设公式计算所述相位加权因子PF；

[0017] 其中，所述第一预设公式为：

[0018] $PF=\frac{\left|\sum_{f=1}^{F}\exp\left(j\emptyset_{Sf}\right)\right|}{F}$ 式中，$\emptyset_{Sf}$ 表示第f幅子阵列雷达图像的相位图，f=1,2,……，F；$j=sqrt(-1)$；$\exp\left(j\emptyset_{Sf}\right)=\cos\emptyset_{Sf}+j*\sin\emptyset_{Sf}$。

[0019] 优选的，所述根据所述多幅子阵列雷达图像计算幅度加权因子AF，包括：

[0020] 分别提取每幅子阵列雷达图像的幅度图，根据各幅度图按照第二预设公式计算所述幅度加权因子AF；

[0021] 其中，所述第二预设公式为：

[0022] $AF=exp\left(-\frac{Std\left[A_{Sf}\right]}{Mean\left(A_{Sf}\right)}\right)$ 式中，A_{Sf} 表示第f幅子阵列雷达图像的幅度图，f=1,2,……,F；$Std[\ ]$ 表示幅度序列的标准差；$Mean(\ )$ 表示幅度序列的均值。

[0023] 优选的，当所述阵列图像信息包括全阵列雷达图像时，所述获取MIMO雷达的阵列图像信息，包括：

[0024] 获取M*N个收发通道的回波信号，采用后向投影成像算法对获取的回波信号进行处理，生成所述全阵列雷达图像。

[0025] 优选的，当所述阵列图像信息包括多幅子阵列雷达图像时，所述获取MIMO雷达的阵列图像信息，包括：

[0026] 对于任一所述收发通道组，获取所述收发通道组包含的所有收发通道的回波信号，采用后向投影算法对获取的回波信号进行处理，生成与所述收发通道组对应的子阵列雷达图像。

[0027] 第二方面，本申请提供一种MIMO雷达图像的栅瓣抑制系统，采用如下的技术方案：

[0028] 一种MIMO雷达图像的栅瓣抑制系统，包括：

[0029] 获取模块，用于获取MIMO雷达的阵列图像信息，其中，所述阵列图像信息包括全阵列雷达图像和多幅子阵列雷达图像；所述MIMO雷达包括M个发射天线阵元以及N个接收天线阵元；所述全阵列雷达图像是基于M*N个收发通道的回波信号进行成像得到的；所述多幅子阵列雷达图像与F个收发通道组一一对应，每个所述收发通道组均包括由M个发射天线阵元中的至少一个发射天线阵元以及N个接收天线阵元构成的收发通道，每幅子阵列雷达图像是基于对应的收发通道组的所有收发通道的回波信号进行成像得到的；M＞1，N＞1，F＞1，且M、N、F均为整数；

[0030] 第一计算模块，用于根据所述多幅子阵列雷达图像计算相位加权因子PF；

[0031] 第二计算模块，用于根据所述多幅子阵列雷达图像计算幅度加权因子AF；

[0032] 生成模块，用于将所述全阵列雷达图像、所述相位加权因子PF和所述幅度加权因子AF相乘，生成栅瓣抑制后的雷达图像。

[0033] 第三方面，本申请提供一种电子设备，采用如下的技术方案：

[0034] 一种电子设备，包括存储器和处理器，存储器上存储有能够被处理器加载并执行第一方面任一项的一种MIMO雷达图像的栅瓣抑制方法的计算机程序。

[0035] 第四方面，本申请提供一种计算机可读存储介质，采用如下的技术方案：

[0036] 一种计算机可读存储介质，存储有能够被处理器加载并执行第一方面任一项的一种MIMO雷达图像的栅瓣抑制方法的计算机程序。

[0037] 采用本申请技术方案，对MIMO雷达的收发通道进行划分，得到多幅子阵列雷达图像，基于多幅子阵列雷达图像主瓣处相位几乎相同、栅瓣处相位差异较大的特性生成相位加权因子，同时基于多幅子阵列雷达图像主瓣处幅度大、标准差小且栅瓣处幅度较小、标准差大的特性生成幅度加权因子，以实现主瓣处加权因子接近1而栅瓣处加权因子小于1的效果，对全阵列雷达图像进行加权，可以有效抑制栅瓣，降低栅瓣对雷达测量、成像质量的影响。

附图说明

[0038] 图1是本申请实施例提供的一种MIMO雷达图像的栅瓣抑制方法的流程示意图。

[0039] 图2是试验一中被测对象的原始雷达成像结果。

[0040] 图3是试验一中标注栅瓣及主瓣的原始雷达成像结果。

[0041] 图4是试验一中基于本申请提出的方法重新成像后的雷达成像结果。

[0042] 图5是试验二中被测对象的原始雷达成像结果。

[0043] 图6是试验二中基于本申请提出的方法重新成像后的雷达成像结果。

[0044] 图7是试验二中第一强目标的截面图对应的原图像和栅瓣抑制后图像的归一化幅值的对比图。

[0045] 图8是试验二中第二强目标的截面图对应的原图像和栅瓣抑制后图像的归一化幅值的对比图。

[0046] 图9是本申请实施例公开的一种MIMO雷达图像的栅瓣抑制系统的结构框图。

[0047] 图10是本申请实施例公开的一种电子设备的示意图。

具体实施方式

[0048] 以下结合附图对本申请作进一步详细说明。

[0049] 本具体实施例仅仅是对本申请的解释，其并不是对本申请的限制，本领域技术人员在阅读完本说明书后可以根据需要对本实施例做出没有创造性贡献的修改，但只要在本申请的权利要求范围内都受到专利法的保护。

[0050] 在本申请实施例的描述中，术语“多个”的含义是指两个或两个以上。例如，多个系统是指两个或两个以上的系统，多个屏幕终端是指两个或两个以上的屏幕终端。此外，术语“第一”、“第二”仅用于描述目的，而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征。由此，限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括一个或者更多

个该特征。术语“包括”、“包含”、“具有”及它们的变形都意味着“包括但不限于”，除非是以其他方式另外特别强调。

[0051] MIMO(Multiple-Input Multiple-Output，多输入多输出)雷达阵列中的多个收发通道之间的通道误差导致接收阵列方向图的栅瓣和发射阵列方向图的零深没有完全对消，因此在成像结果中会出现栅瓣。主瓣是方向图中增益最大值对应的波瓣，栅瓣是在方向图中周期出现的幅度和主瓣相同的波瓣，零陷是指方向图中的凹口部分，零陷深度(零深)指凹口部分对应增益值与主瓣增益最大值的比。

[0052] 本申请实施例公开一种MIMO雷达图像的栅瓣抑制方法、系统、设备及介质，抑制MIMO(Multiple-Input Multiple-Output，多输入多输出)雷达成像时存在的栅瓣。

[0053] 参照图1，一种MIMO雷达图像的栅瓣抑制方法包括以下步骤：

[0054] 步骤S101：获取MIMO雷达的阵列图像信息，其中，阵列图像信息包括全阵列雷达图像和多幅子阵列雷达图像。

[0055] 假设MIMO雷达包括M个发射天线阵元以及N个接收天线阵元，由于MIMO雷达的每个发射天线阵元的发射信号都会被所有的接收天线阵元接收，因此MIMO雷达具有M*N个收发通道。而全阵列雷达图像是基于M*N个收发通道的回波信号进行成像得到的，其中M＞1，N＞1，且M、N均为整数。

[0056] 在一种可能的实现方式中，全阵列雷达图像的获取方式如下：

[0057] 获取M*N个收发通道的回波信号，采用后向投影成像算法对获取的原始回波信号进行处理，生成全阵列雷达图像I。

[0058] 具体的，通过将M*N个收发通道的回波信号分别进行脉冲压缩，并在成像平面上根据距离信息进行反投，然后相干叠加即可以实现雷达高分辨成像，即获取全阵列雷达图像I。

[0059] 若将M个发射天线阵元分成F组，则每组发射天线阵元与N个接收天线阵元共同组成一个收发通道组，也就是说，会产生F幅子阵列雷达图像。

[0060] 假设发射天线阵元为a、b、c，接收天线阵元为d、e。

[0061] 若将3个发射天线阵元分成3组，则得到3个收发通道组，即能够获取三幅子阵列雷达图像。其中，3个收发通道组分别为：

[0062] 第一收发通道组：a→d、a→e；

[0063] 第二收发通道组：b→d、b→e；

[0064] 第三收发通道组：c→d、c→e。

[0065] 若将3个发射天线阵元分成2组，则得到2个收发通道组，即能够获取两幅子阵列雷达图像，存在以下三种情况：

[0066] 情况一：

[0067] 第一收发通道组：a→d、a→e、b→d、b→e；

[0068] 第二收发通道组：c→d、c→e。

[0069] 情况二：

[0070] 第一收发通道组：a→d、a→e、c→d、c→e；

[0071] 第二收发通道组：b→d、b→e。

[0072] 情况三：

[0073] 第一收发通道组：b→d、b→e、c→d、c→e；

[0074] 第二收发通道组：a→d、a→e。

[0075] 需要说明的是，收发通道组的个数设置由试验者根据被测对象以及发射天线阵元的个数自由设置，在此不作限定。

[0076] 在一种可能的实现方式中，任一子阵列雷达图像的获取方式如下：

[0077] 获取子阵列雷达图像对应的收发通道组所包含的所有收发通道的回波信号，采用后向投影算法对获取的回波信号进行处理，生成与收发通道组对应的子阵列雷达图像。

[0078] 若将M个发射天线阵元分成F组，则依次得到F组收发通道组对应的F幅子阵列雷达图像，分别表示为I_{S1}、I_{S2}、I_{S3}，……，I_{SF}。

[0079] 步骤S102：根据多幅子阵列雷达图像计算相位加权因子PF。

[0080] 在上述实施例的基础上，作为一种可选的实施例，根据多幅子阵列雷达图像计算相位加权因子PF，具体可以包括以下步骤：

[0081] 获取多幅子阵列雷达图像后，对多幅子阵列雷达图像的相位图进行提取，假设收发通道组为F个，则子阵列雷达图像也有F幅，对F幅子阵列雷达图像的相位图进行提取，得到以下相位图：$\emptyset_{S1}$、$\emptyset_{S2}$，……，$\emptyset_{SF}$。将上述F个相位图代入第一预设公式中计算相位加权因子PF；

[0082] 其中，第一预设公式为：

[0083] $PF=\frac{\left|\sum_{f=1}^{F}\exp\left(j\emptyset_{Sf}\right)\right|}{F}$式中，$\emptyset_{Sf}$表示第f幅子阵列雷达图像的相位图；f=1,2,……，F；$j=sqrt(-1)$；$\exp\left(j\emptyset_{Sf}\right)=\cos\emptyset_{Sf}+j*\sin\emptyset_{Sf}$。

[0084] 主瓣处，各幅子阵列雷达图像的相位几乎是相同的，PF取值近似为1；而栅瓣处，各幅子阵列雷达图像的相位差异较大，不能有效相干叠加，PF取值小于1。

[0085] 步骤S103：根据多幅子阵列雷达图像计算幅度加权因子AF。

[0086] 在上述实施例的基础上，作为一种可选的实施例，根据多幅子阵列雷达图像计算幅度加权因子AF，具体可以包括以下步骤：

[0087] 获取多幅子阵列雷达图像后，对多幅子阵列雷达图像的幅度图进行提取，假设收发通道组为F个，则子阵列雷达图像也有F个，对F幅子阵列雷达图像的幅度图进行提取，得到以下幅度图：A_{S1}、A_{S2}，……，A_{SF}。将上述F个幅度图代入第二预设公式中计算幅度加权因子AF；

[0088] 其中，第二预设公式为：

[0089] $AF=exp\left(-\frac{Std[A_{Sf}]}{Mean(A_{Sf})}\right)$式中，$A_{Sf}$表示第F幅子阵列雷达图像的幅度图，f=1,2,……，F；$Std[\ ]$表示幅度序列的标准差；$Mean(\ )$表示幅度序列的均值。

[0090] 需要说明的是，幅度序列是基于F幅子阵列雷达图像的幅度图得出的。

[0091] 主瓣处，各幅子阵列雷达图像的幅度较大，均值较大，但差异较小，标准差较小，AF取值近似为1；而栅瓣处，各幅子阵列雷达图像的幅度较小，均值较小，但差异较大，标准差较大，AF取值小于1。

[0092] 步骤S104:将全阵列雷达图像、相位加权因子PF和幅度加权因子AF相乘,生成栅瓣抑制后的雷达图像。

[0093] 采用第三预设公式生成栅瓣抑制后的雷达图像I_{GL}。其中,第三预设公式为:

[0094] $$I_{GL} = I * PF * AF$$

[0095] 雷达阵列中的多个收发通道之间的通道误差的不一致性,导致不同的子阵列雷达图像中栅瓣处幅度和相位差别较大,通过对MIMO雷达的收发通道进行划分,得到多幅子阵列雷达图像,基于多幅子阵列雷达图像主瓣处相位几乎相同、栅瓣处相位差异较大的特性生成相位加权因子;基于多幅子阵列雷达图像主瓣处幅度大、标准差小,且栅瓣处幅度较小、标准差大的特性生成幅度加权因子,以实现主瓣处加权因子接近1而栅瓣处加权因子小于1的效果,对全阵列雷达图像进行加权,由此达到栅瓣抑制的效果。

[0096] 通过试验一和试验二的两组实测数据,对本申请的栅瓣抑制方法进行进一步说明。

[0097] 试验一:每个收发通道组均由一个发射天线阵元以及N个接收天线阵元构成。

[0098] 通过对试验一中的被测对象进行成像后得到的原始雷达成像结果如图2所示,其中三个矩形框区域为被测对象的主瓣成像结果。图3对原始雷达成像结果中出现的栅瓣及主瓣进行了标注。基于本实施例提出的栅瓣抑制方法对被测对象进行重新成像后得出的雷达成像结果如图4所示。图2、图3和图4中的dB均为成像结果归一化幅值的量化单位。

[0099] 从图2的原始雷达图像中可以看出栅瓣的存在导致原始雷达成像场景中出现了多个虚假散射体。将图2和图4进行对比,可以看出,在相同的量化颜色轴下,成像结果中只剩下了强散射目标主瓣,栅瓣抑制效果显著。

[0100] 试验二:若M=16,N=16,则将16个发射天线分成8组,每组2个发射天线与16个接收天线构成32个收发通道,合成一幅子阵列雷达图像,累计得到8幅子阵列雷达图像。

[0101] 通过对试验二的被测对象进行成像后得到的原始雷达成像结果如图5所示,图5中从上往下的两个虚线依次表示被测对象中第一强目标和第二强目标成像的所处位置。基于本实施例中提出的栅瓣抑制方法对被测对象进行重新成像得出的雷达成像结果如图6所示,图6中从上往下的两个虚线依次表示被测对象中第一强目标和第二强目标成像的所处位置。其中,图5和图6中的dB均为成像结果归一化幅值的量化单元。

[0102] 参照图5和图6,可以看出,采用本实施例提出的栅瓣抑制方法对被测对象重新成像后得出的雷达成像结果中只剩下了第一强目标主瓣和第二强目标主瓣,栅瓣具有较大的衰减。

[0103] 进一步地,对图5和图6中的第一强目标和第二强目标处均取截面图得到图7和图8,从图7和图8中能够更加直观地观察到通过本实施例的栅瓣抑制方法重新成像后的雷达成像结果与原始雷达成像结果相比栅瓣抑制效果显著。

[0104] 下述为本申请系统实施例,可以用于执行本申请方法实施例。对于本申请系统实施例中未披露的细节,请参照本申请方法实施例。

[0105] 本申请还公开一种MIMO雷达图像的栅瓣抑制系统。参照图9,该栅瓣抑制系统200包括:

[0106] 获取模块201,用于获取MIMO雷达的阵列图像信息,其中,阵列图像信息包括全阵

列雷达图像和多幅子阵列雷达图像;MIMO雷达包括M个发射天线阵元以及N个接收天线阵元;多幅子阵列雷达图像与F个收发通道组一一对应,每个收发通道组均包括由M个发射天线阵元中的至少一个发射天线阵元以及N个接收天线阵元构成的收发通道,每幅子阵列雷达图像是基于对应的收发通道组的所有收发通道的回波信号进行成像得到的;M>1,N>1,F>1,且M、N、F均为整数。

[0107] 第一计算模块202,用于根据多幅子阵列雷达图像计算相位加权因子PF;

[0108] 第二计算模块203,用于根据多幅子阵列雷达图像计算幅度加权因子AF;

[0109] 生成模块204,用于将全阵列雷达图像、相位加权因子PF和幅度加权因子AF相乘,生成栅瓣抑制后的雷达图像。

[0110] 在上述实施例的基础上,作为一种可选的实施例,第一计算模块202具体用于:

[0111] 分别提取每幅子阵列雷达图像的相位图,根据各相位图按照第一预设公式计算相位加权因子PF;

[0112] 其中,第一预设公式为:

[0113] $PF=\frac{\left|\sum_{f=1}^{F}\exp\left(j\emptyset_{Sf}\right)\right|}{F}$ 式中,$\emptyset_{Sf}$表示第f幅子阵列雷达图像的相位图,f=1,2,……,F;$j=sqrt(-1)$;$\exp\left(j\emptyset_{Sf}\right)=\cos\emptyset_{Sf}+j*\sin\emptyset_{Sf}$。

[0114] 在上述实施例的基础上,作为一种可选的实施例,第二计算模块203具体用于:

[0115] 分别提取每幅子阵列雷达图像的幅度图,根据各幅度图按照第二预设公式计算幅度加权因子AF;

[0116] 其中,第二预设公式为:

[0117] $AF=exp\left(-\frac{Std[A_{Sf}]}{Mean(A_{Sf})}\right)$式中,$A_{Sf}$表示第f幅子阵列雷达图像的幅度图,f=1,2,……,F;$Std[\ ]$表示幅度序列的标准差;$Mean(\ )$表示幅度序列的均值。

[0118] 在上述实施例的基础上,作为一种可选的实施例,当阵列图像信息包括全阵列雷达图像时,获取模块201包括:

[0119] 第一获取子模块,用于获取M*N个收发通道的回波信号;

[0120] 第一生成子模块,用于采用后向投影成像算法对获取的回波信号进行处理,生成全阵列雷达图像。

[0121] 在上述实施例的基础上,作为一种可选的实施例,当阵列图像信息包括多幅子阵列雷达图像时,获取模块201包括:

[0122] 第二获取子模块,用于对于任一收发通道组,获取收发通道组包含的所有收发通道的回波信号;

[0123] 第二生成子模块,用于采用后向投影算法对获取的回波信号进行处理,生成与收发通道组对应的子阵列雷达图像。

[0124] 需要说明的是:上述实施例提供的系统在实现其功能时,仅以上述各功能模块的划分进行举例说明,实际应用中,可以根据需要而将上述功能分配由不同的功能模块完成,即将设备的内部结构划分成不同的功能模块,以完成以上描述的全部或者部分功能。另外,上述实施例提供的系统和方法实施例属于同一构思,其具体实现过程详见方法实施例,这

里不再赘述。

[0125] 本申请还公开一种电子设备。参照图10,该电子设备300包括处理器301和存储器302,处理器301和存储器302通过通信总线303和/或其他形式的连接机构(未标出)互连并相互通讯,处理器301用于执行存储器302中存储的计算机程序,以使得电子设备300执行上述的一种MIMO雷达图像的栅瓣抑制方法。

[0126] 其中,通信总线303用于实现处理器301、存储器302以及其他组件之间的连接通信。

[0127] 其中,处理器301可以包括一个或者多个处理核心。处理器301利用各种接口和线路连接整个服务器内的各个部分,通过运行或执行存储在存储器302内的指令、程序、代码集或指令集,以及调用存储在存储器302内的数据,执行服务器的各种功能和处理数据。可选的,处理器301可以采用数字信号处理(Digital Signal Processing,DSP)、现场可编程门阵列(Field-Programmable Gate Array,FPGA)、可编程逻辑阵列(Programmable Logic Array,PLA)中的至少一种硬件形式来实现。处理器301可集成中央处理器(Central Processing Unit,CPU)、图像处理器(Graphics Processing Unit,GPU)和调制解调器等中的一种或几种的组合。其中,CPU主要处理操作系统、用户界面图和应用程序等;GPU用于负责显示屏所需要显示的内容的渲染和绘制;调制解调器用于处理无线通信。可以理解的是,上述调制解调器也可以不集成到处理器301中,单独通过一块芯片进行实现。

[0128] 其中,存储器302可以包括随机存储器(Random Access Memory,RAM),也可以包括只读存储器(Read-Only Memory)。可选的,该存储器302包括非瞬时性计算机可读介质(non-transitory computer-readable storage medium)。存储器302可用于存储指令、程序、代码、代码集或指令集。存储器302可包括存储程序区和存储数据区,其中,存储程序区可存储用于实现操作系统的指令、用于至少一个功能的指令(比如触控功能、声音播放功能、图像播放功能等)、用于实现上述各个方法实施例的指令等;存储数据区可存储上面各个方法实施例中涉及的数据等。存储器302可选的还可以是至少一个位于远离前述存储器302的存储装置。

[0129] 在图10所示的电子设备300中,处理器301可以用于调用存储器302中存储MIMO雷达图像的栅瓣抑制方法的应用程序,当由一个或多个处理器301执行时,使得电子设备300执行如上述实施例中一个或多个的方法。

[0130] 需要说明的是,对于前述的各方法实施例,为了简单描述,故将其都表述为一系列的动作组合,但是本领域技术人员应该知悉,本申请并不受所描述的动作顺序的限制,因为依据本申请,某些步骤可以采用其他顺序或者同时进行。其次,本领域技术人员也应该知悉,说明书中所描述的实施例均属于优选实施例,所涉及的动作和模块并不一定是本申请所必需的。

[0131] 本申请还公开一种计算机可读存储介质,该存储介质包括计算机程序或指令,当计算机程序或指令在计算机上运行时,使得计算机执行上述的方法。

[0132] 在上述实施例中,对各个实施例的描述都各有侧重,某个实施例中没有详述的部分,可以参见其他实施例的相关描述。

[0133] 另外,在本申请各个实施例中的各功能单元可以集成在一个处理单元中,也可以是各个单元单独物理存在,也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中。上述集成的单

元既可以采用硬件的形式实现，也可以采用软件功能单元的形式实现。

[0134] 集成的单元如果以软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用时，可以存储在一个计算机可读取存储器中。基于这样的理解，本申请的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分或者该技术方案的全部或部分可以以软件产品的形式体现出来，该计算机软件产品存储在一个存储器中，包括若干指令用以使得一台计算机设备(可为个人计算机、服务器或者网络设备等)执行本申请各个实施例方法的全部或部分步骤。而前述的存储器包括：U盘、移动硬盘、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

[0135] 以上仅为本公开的示例性实施例，不能以此限定本公开的范围。即但凡依本公开教导所作的等效变化与修饰，皆仍属本公开涵盖的范围内。本领域技术人员在考虑说明书及实践真理的公开后，将容易想到本公开的其他实施方案。

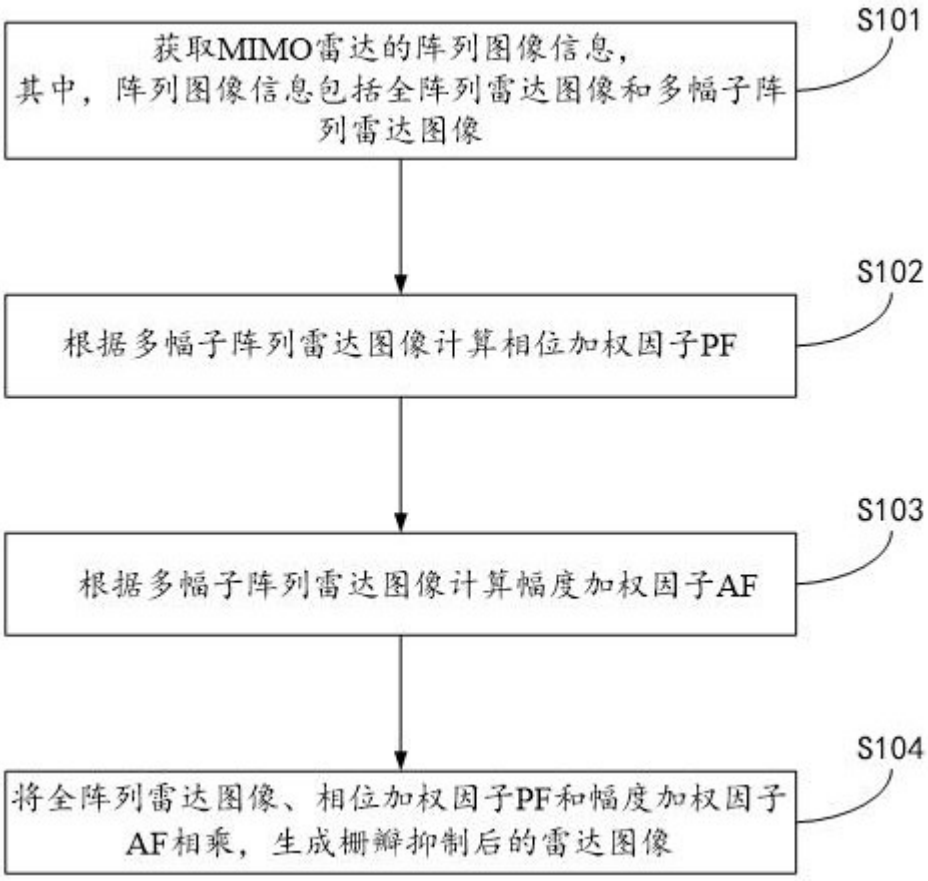

S101
获取MIMO雷达的阵列图像信息，
其中，阵列图像信息包括全阵列雷达图像和多幅子阵列雷达图像
S102
根据多幅子阵列雷达图像计算相位加权因子PF
S103
根据多幅子阵列雷达图像计算幅度加权因子AF
S104
将全阵列雷达图像、相位加权因子PF和幅度加权因子AF相乘，生成栅瓣抑制后的雷达图像

图 1

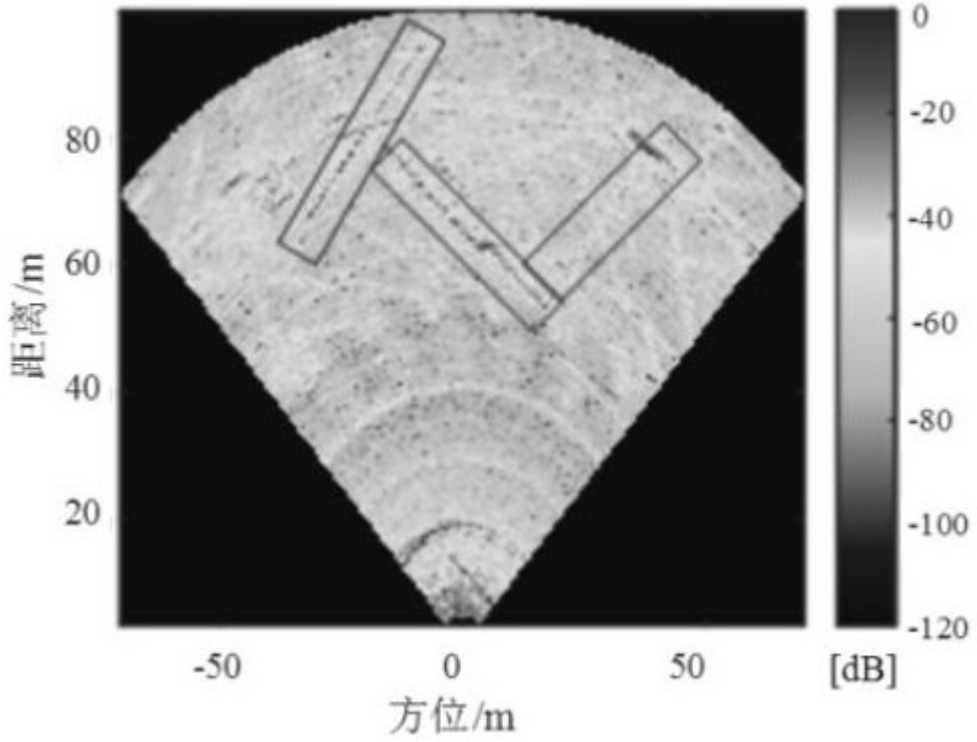

80
60
40
20
距离/m
-50
0
50
方位/m
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
[dB]

图 2

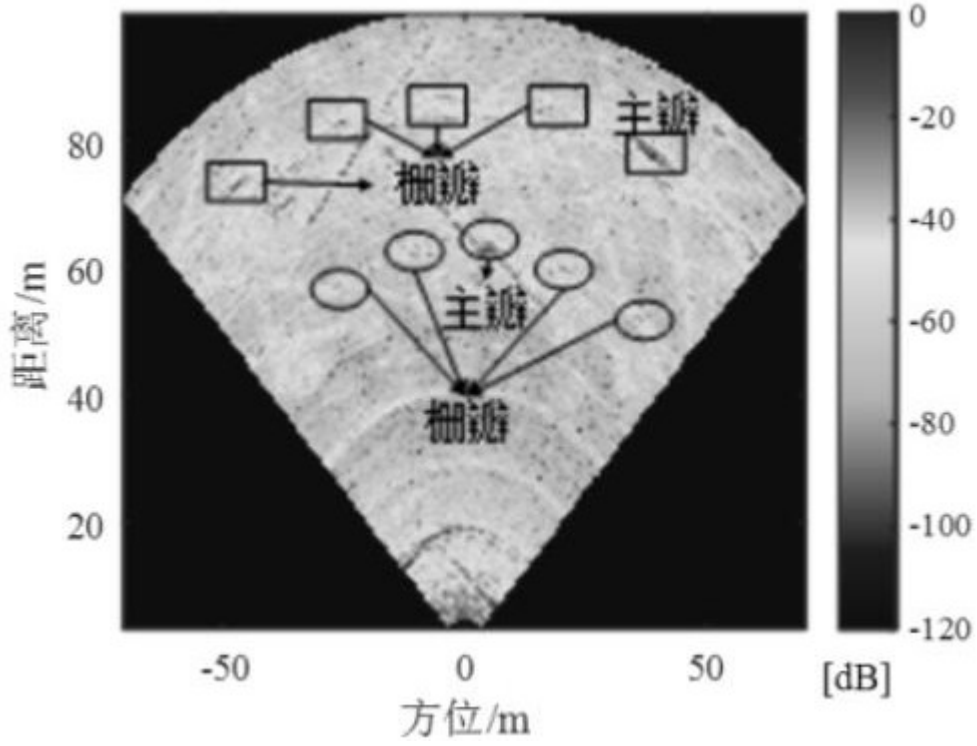

主瓣
栅瓣
主瓣
栅瓣
80
60
40
20
距离/m
-50
0
50
方位/m
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
[dB]

图 3

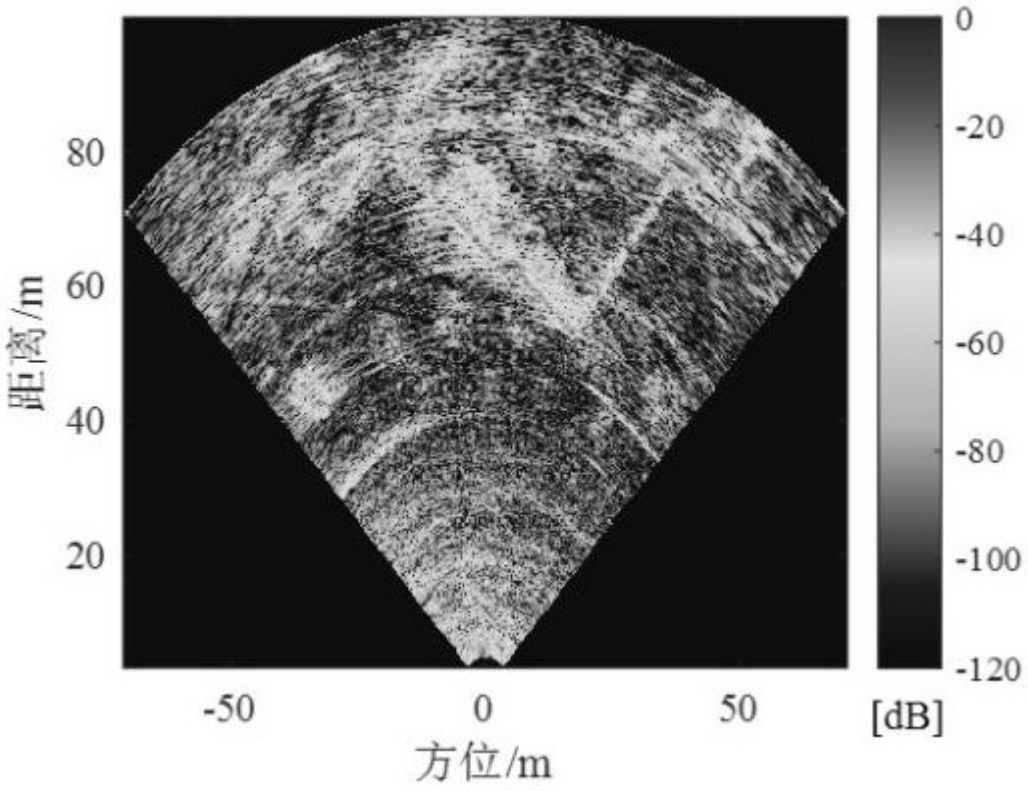


图 4

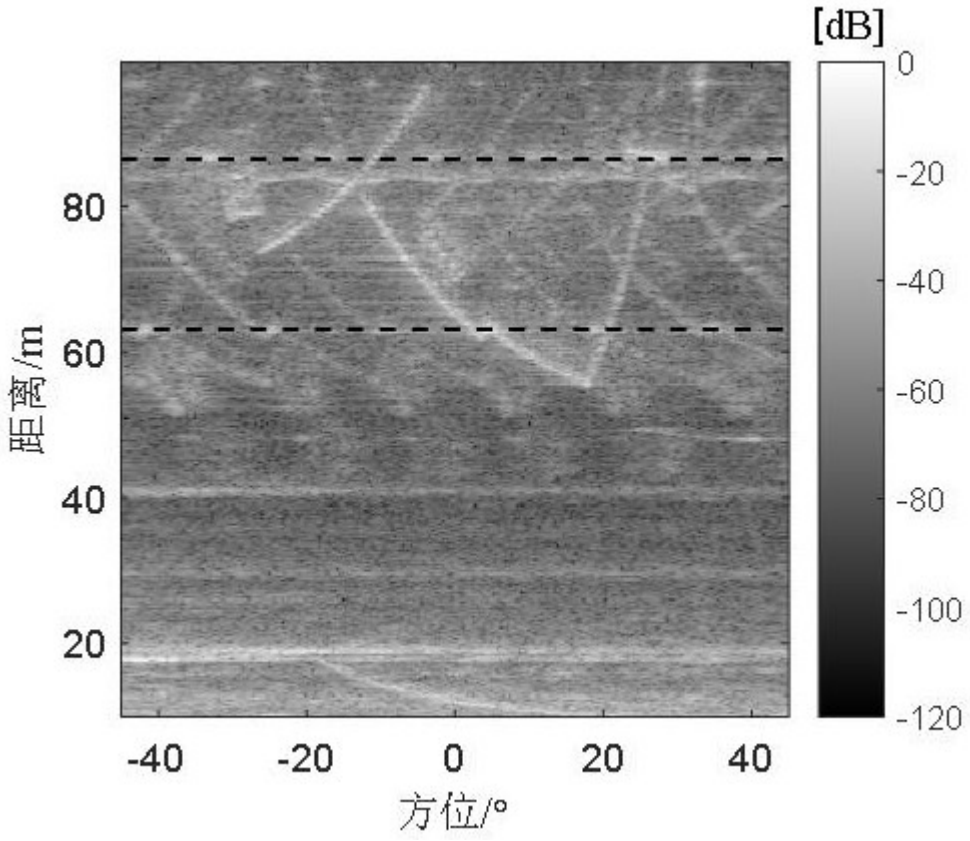


图 5

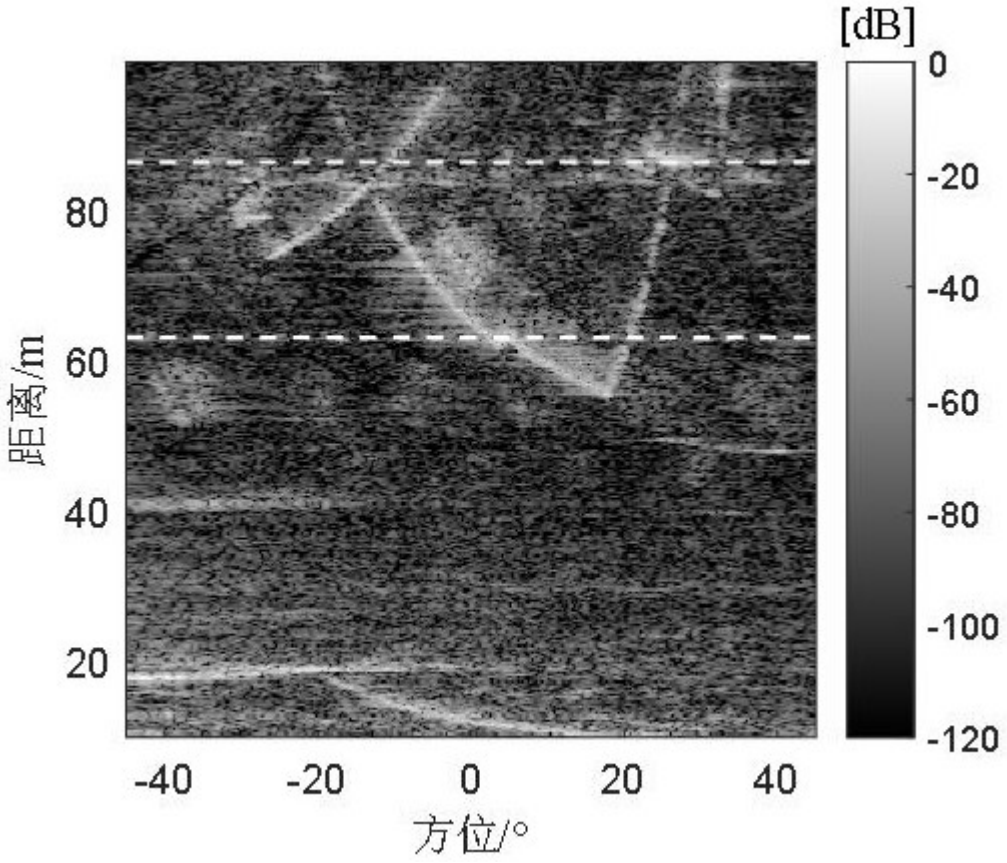


图 6

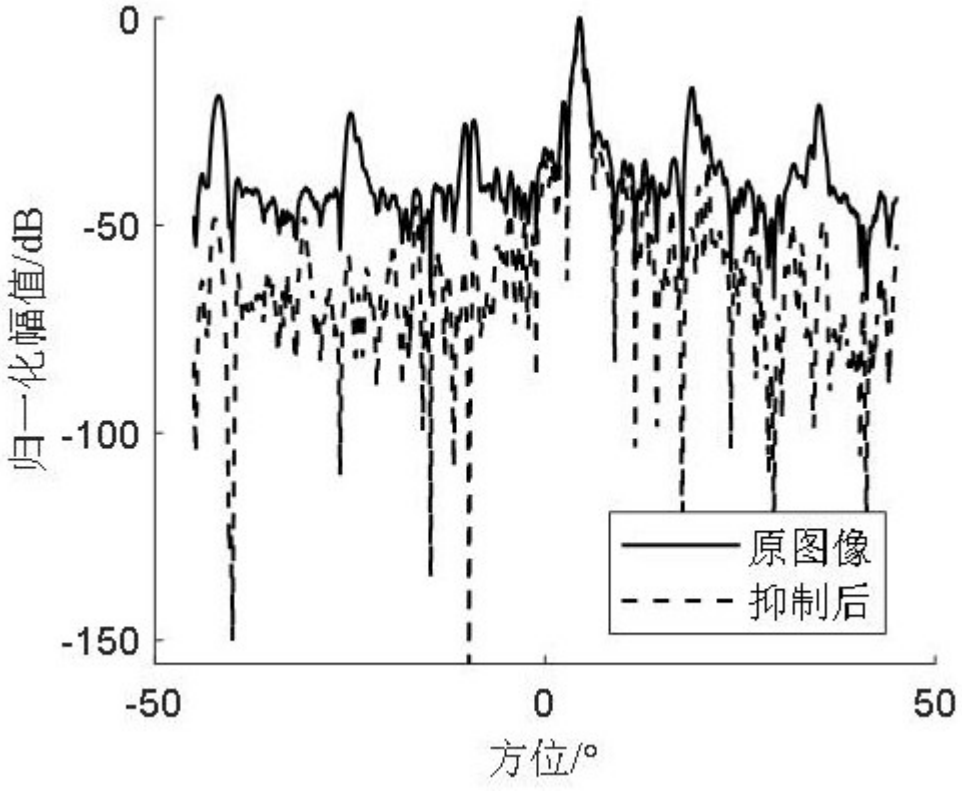


图 7

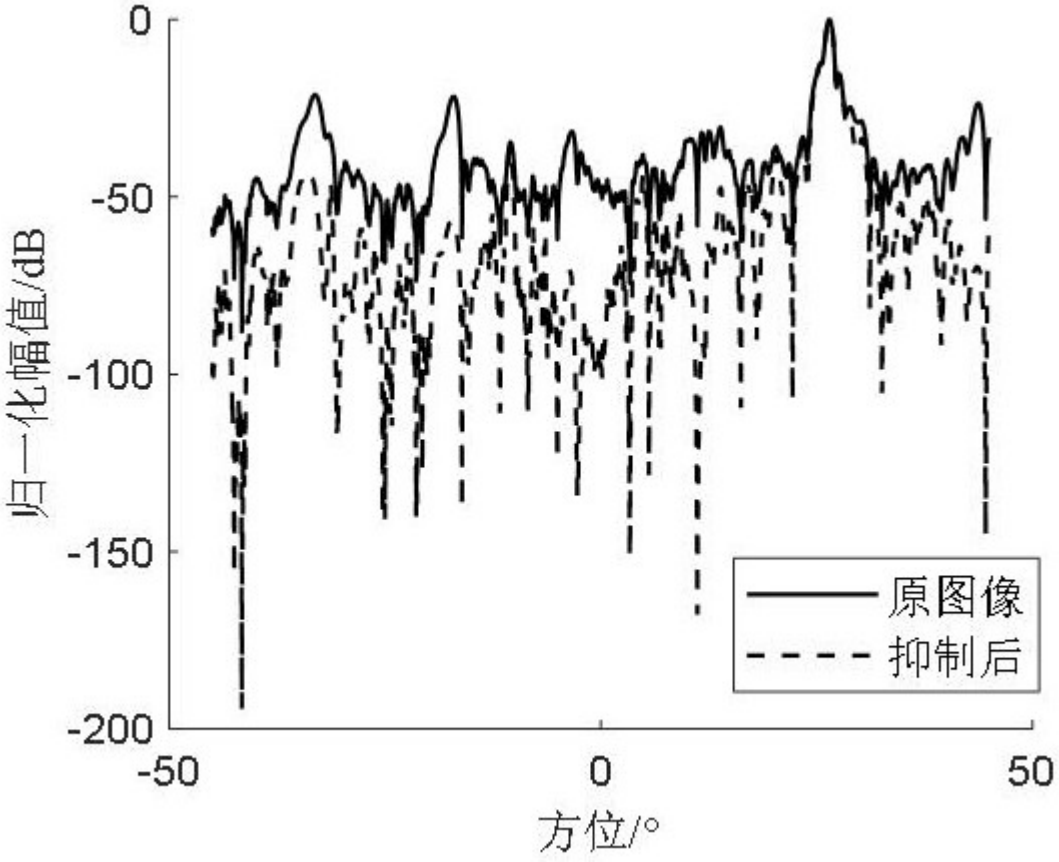


图 8

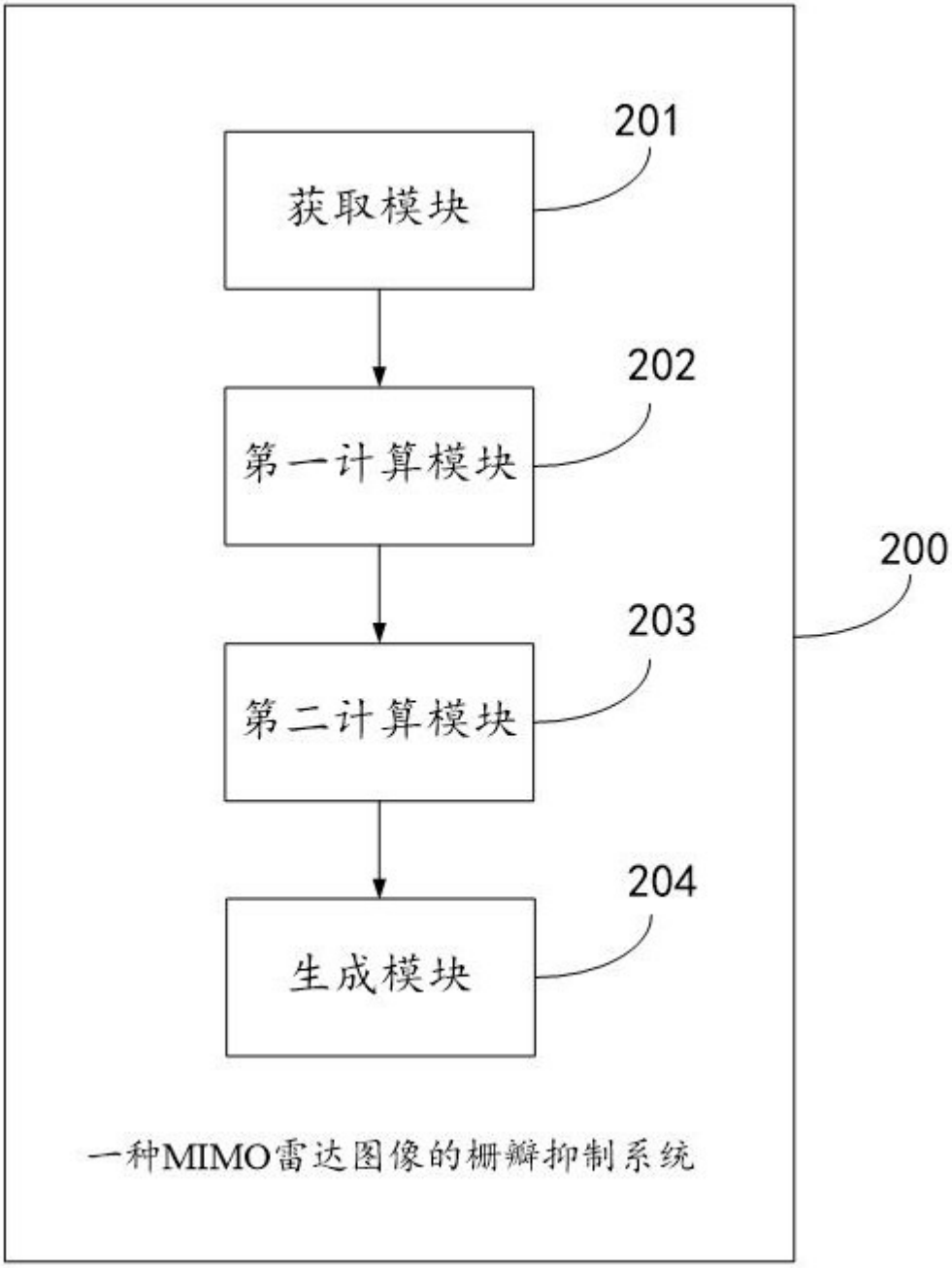

201
获取模块
202
第一计算模块
200
203
第二计算模块
204
生成模块
一种MIMO雷达图像的栅瓣抑制系统

图 9

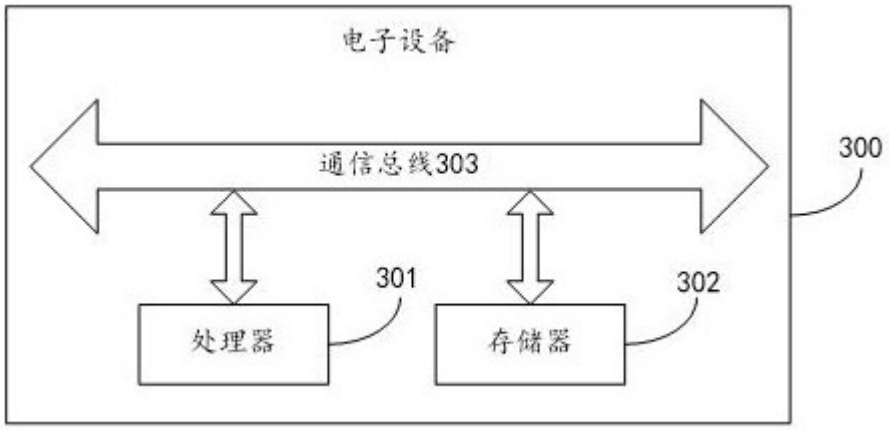


图 10