

通信方法及装置

本申请要求于 2022 年 01 月 06 日提交国家知识产权局、申请号为 202210011237.4、申请名称为“通信方法及装置”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

本申请涉及通信技术领域，尤其是涉及一种通信方法及装置。

背景技术

无线局域网（wireless local area network, WLAN）感知（sensing）是一种利用无线信号进行目标感知的技术。其中，目标可以指周围环境中的事物，例如：人、物等。基于无线电测量或采样环境的能力，WLAN sensing 可以为两个物理设备之间的每个通信路径提供提取其周围环境信息的机会。

其中，WLAN sensing 可以基于 802.11 系列标准进行目标感知。在 802.11 系列标准中定义了波束成形（beamforming）技术，该技术中，发送设备可以向接收设备发送用于指示进行信道测量的帧，接收设备根据该帧可以进行信道测量，得到信道状态信息。为了降低反馈开销，接收设备可以采用 QR 分解对信道状态信息进行分解，并对分解后的信道状态信息进行压缩，将压缩后的信道状态信息反馈给发送设备，发送设备根据压缩后的信道状态信息可以重构出信道状态信息，并生成导向矩阵，以提高通信性能。

但是，接收设备对信道状态信息进行 QR 分解时，利用现有的 QR 分解规则会导致分解后的信道状态信息无法保留子载波与子载波之间以及脉冲与脉冲之间的相对相位信息，导致发送设备无法根据重构的信道状态信息提取到目标的属性信息，无法实现对目标的有效感知。其中，目标的属性信息可以包括：目标时延、目标角度、目标多普勒频移等信息，目标时延可以用于确定目标的距离，目标角度可以用于确定目标的方向，目标多普勒频移可以用于确定目标的速度等。

发明内容

有鉴于此，本申请实施例提供了一种通信方法及装置，能够在降低信道状态信息反馈开销的同时，保留子载波与子载波之间以及脉冲与脉冲之间的相对相位信息，实现对目标的有效感知。

第一方面，本申请实施例提供了一种通信方法，该方法可以包括：第一设备接收来自第二设备的用于信道测量的第一帧；第一设备根据第一帧，确定信道状态信息；其中，信道状态信息的维度为 $N_r \times N_t \times K$ ， N_r 为第一设备的天线数目， N_t 为第二设备的天线数目， K 为承载第一帧的子载波的数目， N_r 、 N_t 、 K 均为正整数；第一设备对信道状态信息进行共轭转置和 QR 分解，得到右上三角矩阵 R 矩阵和 Q 矩阵，第一设备向第二设备发送 Q 矩阵；其中，R 矩阵的前 L 行中，至少一行满足对应对角线上的元素在子载波维度上正负号一致，至少一行满足对应对角线上的元素在样本维度上正负号一致，L 为第一设备和第二设备之间的目标路径的数目，样本为沿时间维度进行多次信道测量得到的多个信道状态信息，所述样本维度为所述多个信道状态信息对应的样本维度；Q 矩阵用于指示目标路径的属性信息。

基于第一方面，由于R矩阵的前L行中，至少一行满足对应对角线上的元素在子载波维度上正负号一致，至少一行满足对应对角线上的元素在样本维度上正负号一致，相应的，满足该R矩阵的QR分解得到的Q矩阵可以保留子载波与子载波之间以及脉冲与脉冲之间的相对相位信息，即Q矩阵中可以保留目标路径的时延、AOD、多普勒频移等属性信息，

5 第二设备根据该Q矩阵可以确定目标路径的属性信息，进而在满足信道矩阵对角化原则的基础上实现对目标路径的有效感知。

一种可能的设计中，Q矩阵为酉矩阵；或者，对Q矩阵的至少一列进行归一化的矩阵为酉矩阵。

一种可能的设计中，目标路径的属性信息包括下述一种或多种：目标路径的时延、目标路径的离开角AOD、目标路径的多普勒频移。

10

基于该可能的设计，Q矩阵中可以保留目标路径的时延、AOD、多普勒频移等属性信息，以使第二设备可以根据该属性信息实现对目标路径的感知。

一种可能的设计中，第一设备确定第一位置和第二位置；根据第一位置和第二位置，对信道状态信息进行共轭转置和QR分解；其中，第一位置为R矩阵的前L行中，满足对应对角线上的元素在子载波维度正负号一致的元素在R矩阵中的位置；第二位置为R矩阵的前L行中，满足对应对角线上的元素在样本维度正负号一致的元素在R矩阵中的位置。

15

基于该可能的设计，第一设备对信道状态信息进行共轭转置和QR分解时，可以基于第一位置和第二位置进行，为第一设备对信道状态信息进行共轭转置和QR分解提供了一种可行性方案。

一种可能的设计中，第一设备接收来自第二设备的第一位置的信息和第二位置的信息；或者，第一位置和第二位置是预定义的；或者，第一位置和第二位置是第一设备自定义的。

20

一种可能的设计中，第一设备向第二设备发送第一位置的信息和第二位置的信息。

基于上述两种可能的设计，第一位置和第二位置可以是第二设备指定的，也可以是协议规定的，也可以是第一设备自定义的，当是第一设备自定义的时，第一设备还可以向第二设备指示第一位置和第二位置，为第一位置和第二位置的确定提供了多种可行性方案。

25

一种可能的设计中，第一设备接收来自第二设备的第一帧之前，第一设备向第二设备发送第一指示信息；其中，第一指示信息用于指示第一设备是否支持下述一种或多种反馈：基于子载波维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈、基于样本维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈。

基于该可能的设计，第一设备可以通过第一指示信息向第二设备指示第一设备是否支持上述一种或多种反馈，当第一设备支持上述一种或多种反馈时，第一设备可以采用本申请实施例提供的方法向第二设备反馈压缩后的波束成形矩阵。

30

一种可能的设计中，第一指示信息位于下述一种或多种字段中：关联请求帧的感知能力字段、增强型定向多千兆比特EDMG感知能力字段的核心能力字段、EDMG感知能力字段的可选子元素字段。

35

基于该可能的设计，为第一指示信息的设计提供了多种可行性方案。

一种可能的设计中，第一设备接收来自第二设备的第一帧之前，第一设备接收来自第二设备的第二指示信息；其中，第二指示信息用于指示第二设备是否支持下述一种或多种反馈：基于子载波维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈、基于样本维度一致性的压缩

的波束成形矩阵的反馈。

基于该可能的设计，第二设备可以通过第二指示信息向第一设备指示第二设备是否支持上述一种或多种反馈，当第二设备支持上述一种或多种反馈时，第二设备可以参照本申请实施例提供的方法中第一设备所执行的功能，向第一设备反馈压缩后的波束成形矩阵，

5 由第一设备实现对目标路径的感知。

一种可能的设计中，第二指示信息位于下述一种或多种字段中：关联响应帧的感知能力字段、信标帧的感知能力字段、EDMG 感知能力字段的感知能力字段、EDMG 感知能力字段的可选子元素字段。

基于该可能的设计，为第二指示信息的设计提供了多种可行性方案。

10 一种可能的设计中，第一设备接收来自第二设备的第一帧之前，第一设备接收来自第二设备的感知请求帧；其中，感知请求帧包括反馈类型指示，反馈类型指示用于指示反馈可实现感知的信道状态信息。

一种可能的设计中，第一设备接收来自第二设备的第一帧之前，第一设备向第二设备发送感知响应帧；其中，感知响应帧包括反馈类型指示，反馈类型指示用于指示反馈可实现感知的信道状态信息。

15 基于上述两种可能的设计，第一设备和第二设备可以通过感知请求帧或感知响应帧，指示在反馈信道状态信息时，反馈可实现感知的信道状态信息，从而根据反馈的信道状态信息实现对目标路径的感知。

一种可能的设计中，第一设备向第二设备发送 Q 矩阵之前，第一设备接收来自第二设备的第三指示信息；其中，第三指示信息用于指示采用下述一种或多种反馈：基于子载波维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈、基于样本维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈。

20 基于该可能的设计，第一设备还可以根据第二设备发送的第三指示信息，采用上述一种或多种反馈，便于第二设备根据第一设备反馈的压缩的波束成形矩阵实现对目标路径的感知。

25 一种可能的设计中，第三指示信息位于下述一种或多种帧中：感知 NDPA、感知触发帧、波束优化协议 BRP。

一种可能的设计中，第三指示信息位于下述一种或多种字段中：感知 NDPA 的用户信息字段、感知 NDPA 的公共信息字段、感知触发帧的公共信息字段、感知触发帧的用户信息字段、BRP 的预留字段。

30 基于上述两种可能的设计，为第三指示信息的设计提供多种可行性方案。

第二方面，本申请实施例提供了一种通信装置，通信装置可以实现上述第一方面或者第一方面可能的设计中第一设备所执行的功能，所述功能可以通过硬件执行相应的软件实现。所述硬件或软件包括一个或多个上述功能相应的模块。如，收发模块和处理模块。收发模块，用于接收来自第二设备的用于信道测量的第一帧；处理模块，用于根据第一帧，确定信道状态信息；其中，信道状态信息的维度为 $N_r \times N_t \times K$ ， N_r 为第一设备的天线数目， N_t 为第二设备的天线数目， K 为承载第一帧的子载波的数目， N_r 、 N_t 、 K 均为正整数；处理模块，还用于对信道状态信息进行共轭转置和 QR 分解，得到右上三角矩阵 R 矩阵和 Q 矩阵，收发模块，还用于向第二设备发送 Q 矩阵；其中，R 矩阵的前 L 行中，至少一行满足

对应对角线上的元素在子载波维度上正负号一致，至少一行满足对应对角线上的元素在样本维度上正负号一致， L 为第一设备和第二设备之间的目标路径的数目，样本为沿时间维度进行多次信道测量得到的多个信道状态信息，样本维度为多个信道状态信息对应的样本维度； Q 矩阵用于指示目标路径的属性信息。

- 5 一种可能的设计中， Q 矩阵为酉矩阵；或者，对 Q 矩阵的至少一列进行归一化的矩阵为酉矩阵。

一种可能的设计中，目标路径的属性信息包括下述一种或多种：目标路径的时延、目标路径的离开角 AOD、目标路径的多普勒频移。

- 10 一种可能的设计中，处理模块，还用于确定第一位置和第二位置，根据第一位置和第二位置，对信道状态信息进行共轭转置和 QR 分解；其中，第一位置为 R 矩阵的前 L 行中，满足对应对角线上的元素在子载波维度正负号一致的元素在 R 矩阵中的位置；第二位置为 R 矩阵的前 L 行中，满足对应对角线上的元素在样本维度正负号一致的元素在 R 矩阵中的位置。

- 15 一种可能的设计中，收发模块，还用于接收来自第二设备的第一位置的信息和第二位置的信息；或者，第一位置和第二位置是预定义的；或者，第一位置和第二位置是第一设备自定义的。

一种可能的设计中，收发模块，还用于向第二设备发送第一位置的信息和第二位置的信息。

- 20 一种可能的设计中，收发模块接收来自第二设备的第一帧之前，还用于向第二设备发送第一指示信息；其中，第一指示信息用于指示第一设备是否支持下述一种或多种反馈：基于子载波维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈、基于样本维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈。

- 25 一种可能的设计中，第一指示信息位于下述一种或多种字段中：关联请求帧的感知能力字段、增强型定向多千兆比特 EDMG 感知能力字段的核心能力字段、EDMG 感知能力字段的可选子元素字段。

一种可能的设计中，收发模块接收来自第二设备的第一帧之前，还用于接收来自第二设备的第二指示信息；其中，第二指示信息用于指示第二设备是否支持下述一种或多种反馈：基于子载波维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈、基于样本维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈。

- 30 一种可能的设计中，第二指示信息位于下述一种或多种字段中：关联响应帧的感知能力字段、信标帧的感知能力字段、EDMG 感知能力字段的核心能力字段、EDMG 感知能力字段的可选子元素字段。

- 35 一种可能的设计中，收发模块接收来自第二设备的第一帧之前，还用于接收来自第二设备的感知请求帧；其中，感知请求帧包括反馈类型指示，反馈类型指示用于指示反馈可实现感知的信道状态信息。

一种可能的设计中，收发模块接收来自第二设备的第一帧之前，还用于向第二设备发送感知响应帧；其中，感知响应帧包括反馈类型指示，反馈类型指示用于指示反馈可实现感知的信道状态信息。

一种可能的设计中，收发模块向第二设备发送 Q 矩阵之前，还用于接收来自第二设备

的第三指示信息；其中，第三指示信息用于指示采用下述一种或多种反馈：基于子载波维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈、基于样本维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈。

一种可能的设计中，第三指示信息位于下述一种或多种帧中：感知 NDPA、感知触发帧、波束优化协议 BRP。

一种可能的设计中，第三指示信息位于下述一种或多种字段中：感知 NDPA 的用户信息字段、感知 NDPA 的公共信息字段、感知触发帧的公共信息字段、感知触发帧的用户信息字段、BRP 的预留字段。

需要说明的是，第二方面中通信装置的具体实现方式可参考第一方面或第一方面的任何一种可能的设计提供的通信方法中第一设备的行为功能。

第三方面，本申请实施例提供一种通信装置，该通信装置可以为第一设备或者第一设备中的芯片或者片上系统。该通信装置可以实现上述各方面或者各可能的设计中第一设备所执行的功能，所述功能可以通过硬件实现。一种可能的设计中，该通信装置可以包括：收发器和处理器。收发器和处理器可以用于支持通信装置实现上述第一方面或者第一方面的任一种可能的设计中所涉及的功能。例如：收发器可以用于接收来自第二设备的用于信道测量的第一帧；处理器可以用于根据第一帧，确定信道状态信息；其中，信道状态信息的维度为 $N_r \times N_t \times K$ ， N_r 为第一设备的天线数目， N_t 为第二设备的天线数目， K 为承载第一帧的子载波的数目， N_r 、 N_t 、 K 均为正整数；处理器还可以用于对信道状态信息进行共轭转置和 QR 分解，得到右上三角矩阵 R 矩阵和 Q 矩阵，收发器还可以用于向第二设备发送 Q 矩阵；其中，R 矩阵的前 L 行中，至少一行满足对应对角线上的元素在子载波维度上正负号一致，至少一行满足对应对角线上的元素在样本维度上正负号一致，L 为第一设备和第二设备之间的目标路径的数目，样本为沿时间维度进行多次信道测量得到的多个信道状态信息，样本维度为多个信道状态信息对应的样本维度；Q 矩阵用于指示目标路径的属性信息。在又一种可能的设计中，所述通信装置还可以包括存储器，存储器，用于保存通信装置必要的计算机执行指令和数据。当该通信装置运行时，该收发器和处理器执行该存储器存储的该计算机执行指令，以使该通信装置执行如上述第一方面或者第一方面的任一种可能的设计所述的通信方法。

其中，第三方面中通信装置的具体实现方式可参考第一方面或第一方面的任一种可能的设计提供的通信方法中第一设备的行为功能。

第四方面，本申请实施例提供了一种通信方法，该方法包括：第二设备向第一设备发送用于信道测量的第一帧；第二设备接收来自第一设备的 Q 矩阵；其中，Q 矩阵是根据信道状态信息确定的，Q 矩阵用于指示目标路径的属性信息；目标路径为第一设备与第二设备之间的路径；第二设备根据 Q 矩阵进行目标路径感知。

基于第四方面，由于第一设备反馈的 Q 矩阵可以保留子载波与子载波之间以及脉冲与脉冲之间的相对相位信息，即 Q 矩阵中可以保留目标路径的时延、AOD、多普勒频移等属性信息，第二设备根据该 Q 矩阵可以确定目标路径的属性信息，进而在满足信道矩阵对角化原则的基础上实现对目标路径的有效感知。

一种可能的设计中，Q 矩阵为酉矩阵；或者，对 Q 矩阵的至少一行进行归一化的矩阵为酉矩阵。

一种可能的设计中, 信道状态信息的维度为 $N_r \times N_t \times K$, N_r 为第一设备的天线数目, N_t 为第二设备的天线数目, K 为承载第一帧的子载波的数目, N_r 、 N_t 、 K 均为正整数。

一种可能的设计中, 目标路径的属性信息包括下述一种或多种: 目标路径的时延、目标路径的离开角 AOD、目标路径的多普勒频移。

- 5 基于该可能的设计, Q 矩阵中可以保留目标路径的时延、AOD、多普勒频移等属性信息, 第二设备可以根据该属性信息实现对目标路径的感知。

一种可能的设计中, 第二设备确定第一位置和第二位置; 其中, 第一位置为 R 矩阵的前 L 行中, 满足对应对角线上的元素在子载波维度正负号一致的元素在 R 矩阵中的位置; 第二位置为 R 矩阵的前 L 行中, 满足对应对角线上的元素在样本维度正负号一致的元素在 R 矩阵中的位置; L 为目标路径的数目。

- 10 一种可能的设计中, 第二设备根据 Q 矩阵进行目标路径感知, 包括下述一种或多种: 第二设备根据第一位置, 选取 Q 矩阵中第一位置的元素所在的列, 进行角度感知; 第二设备根据第二位置, 选取 Q 矩阵中第二位置的元素所在的列, 进行角度感知; 第二设备根据第一位置, 选取 Q 矩阵中第一位置的元素所在的列, 沿样本维度进行多普勒频移感知; 第二设备根据第二位置, 选取 Q 矩阵中第二位置的元素所在的列, 沿子载波维度进行时延感知。

基于上述两种可能的设计, 第二设备可以基于 Q 矩阵, 根据第一位置和第二位置实现角度感知、多普勒频移感知和时延感知, 为第二设备根据 Q 矩阵实现目标路径感知提供了多种可行性方案。

- 20 一种可能的设计中, 第二设备确定第一位置和第二位置, 包括: 第二设备接收来自第一设备的第一位置的信息和第二位置的信息; 或者, 第一位置和第二位置是预定义的; 或者, 第一位置和第二位置是第二设备自定义的。

一种可能的设计中, 第二设备接收来自第一设备的 Q 矩阵之前, 第二设备向第一设备发送第一位置的信息和第二位置的信息。

- 25 基于上述两种可能的设计, 第一位置和第二位置可以是第一设备指定的, 也可以是协议规定的, 也可以是第二设备自定义的, 当是第二设备自定义的时, 第二设备还可以向第一设备指示第一位置和第二位置, 为第一位置和第二位置的确定提供了多种可行性方案。

- 30 一种可能的设计中, 第二设备向第一设备发送第一帧之前, 第二设备接收来自第一设备的第一指示信息; 其中, 第一指示信息用于指示第一设备是否支持下述一种或多种反馈: 基于子载波维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈、基于样本维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈。

基于该可能的设计, 第一设备可以通过第一指示信息向第二设备指示第一设备是否支持上述一种或多种反馈, 当第一设备支持上述一种或多种反馈时, 第一设备可以采用本申请实施例提供的方法向第二设备反馈压缩后的波束成形矩阵。

- 35 一种可能的设计中, 第一指示信息位于下述一种或多种字段中: 关联请求帧的感知能力字段、增强型定向多千兆比特 EDMG 感知能力字段的感知能力字段、EDMG 感知能力字段的可选子元素字段。

基于该可能的设计, 为第一指示信息的设计提供了多种可行性方案。

一种可能的设计中, 第二设备向第一设备发送第一帧之前, 第二设备向第一设备发送

第二指示信息；其中，第二指示信息用于指示第二设备是否支持下述一种或多种反馈：基于子载波维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈、基于样本维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈。

5 基于该可能的设计，第二设备可以通过第二指示信息向第一设备指示第二设备是否支持上述一种或多种反馈，当第二设备支持上述一种或多种反馈时，第二设备可以参照本申请实施例提供的方法中第一设备所执行的功能，向第一设备反馈压缩后的波束成形矩阵，由第一设备实现对目标路径的感知。

一种可能的设计中，第二指示信息位于下述一种或多种字段中：关联响应帧的感知能力字段、信标帧的感知能力字段、EDMG 感知能力字段的感知能力字段、EDMG 感知能力字段的可选子元素字段。

基于该可能的设计，为第二指示信息的设计提供了多种可行性方案。

一种可能的设计中，第二设备向第一设备发送第一帧之前，第二设备向第一设备发送感知请求帧；其中，感知请求帧包括反馈类型指示，反馈类型指示用于指示反馈可实现感知的信道状态信息。

15 一种可能的设计中，第二设备向第一设备发送第一帧之前，第二设备接收来自第一设备的感知响应帧；其中，感知响应帧包括反馈类型指示，反馈类型指示用于指示反馈可实现感知的信道状态信息。

基于上述两种可能的设计，第一设备和第二设备可以通过感知请求帧或感知响应帧，指示在反馈信道状态信息时，反馈可实现感知的信道状态信息，从而根据反馈的信道状态信息实现对目标路径的感知。

一种可能的设计中，第二设备接收来自第一设备的 Q 矩阵之前，第二设备向第一设备发送第三指示信息；其中，第三指示信息用于指示采用下述一种或多种反馈：基于子载波维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈、基于样本维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈。

25 基于该可能的设计，第二设备还可以通过第三指示信息指示第一设备采用上述一种或多种反馈，便于第二设备根据第一设备反馈的压缩的波束成形矩阵实现对目标路径的感知。

一种可能的设计中，第三指示信息位于下述一种或多种帧中：感知 NDPA、感知触发帧、波束优化协议 BRP。

一种可能的设计中，第三指示信息位于下述一种或多种字段中：感知 NDPA 的用户信息字段、感知 NDPA 的公共信息字段、感知触发帧的公共信息字段、感知触发帧的用户信息字段、BRP 的预留字段。

基于上述两种可能的设计，为第三指示信息的设计提供多种可行性方案。

第五方面，本申请实施例提供了一种通信装置，通信装置可以实现上述第四方面或者第四方面可能的设计中第二设备所执行的功能，所述功能可以通过硬件执行相应的软件实现。所述硬件或软件包括一个或多个上述功能相应的模块。如，收发模块和处理模块。收发模块，用于向第一设备发送用于信道测量的第一帧；收发模块，还用于接收来自第一设备的 Q 矩阵；其中，Q 矩阵是根据信道状态信息确定的，Q 矩阵用于指示目标路径的属性信息；目标路径为第一设备与第二设备之间的路径；处理模块，用于根据 Q 矩阵进行目标路径感知。

一种可能的设计中，Q 矩阵为酉矩阵；或者，对 Q 矩阵的至少一列进行归一化的矩阵为酉矩阵。

一种可能的设计中，信道状态信息的维度为 $N_r \times N_t \times K$ ， N_r 为第一设备的天线数目， N_t 为第二设备的天线数目， K 为承载第一帧的子载波的数目， N_r 、 N_t 、 K 均为正整数。

- 5 一种可能的设计中，目标路径的属性信息包括下述一种或多种：目标路径的时延、目标路径的离开角 AOD、目标路径的多普勒频移。

一种可能的设计中，处理模块，还用于确定第一位置和第二位置；其中，第一位置为 R 矩阵的前 L 行中，满足对应对角线上的元素在子载波维度正负号一致的元素在 R 矩阵中的位置；第二位置为 R 矩阵的前 L 行中，满足对应对角线上的元素在样本维度正负号一致的元素在 R 矩阵中的位置；L 为目标路径的数目。

- 10 一种可能的设计中，处理模块根据 Q 矩阵进行目标路径感知，包括下述一种或多种：根据第一位置，选取 Q 矩阵中第一位置的元素所在的列，进行角度感知；根据第二位置，选取 Q 矩阵中第二位置的元素所在的列，进行角度感知；根据第一位置，选取 Q 矩阵中第一位置的元素所在的列，沿样本维度进行多普勒频移感知；根据第二位置，选取 Q 矩阵中第二位置的元素所在的列，沿子载波维度进行时延感知。

一种可能的设计中，收发模块，还用于接收来自第一设备的第一位置的信息和第二位置的信息；或者，第一位置和第二位置是预定义的；或者，第一位置和第二位置是第二设备自定义的。

- 20 一种可能的设计中，收发模块接收来自第一设备的 Q 矩阵之前，还用于向第一设备发送第一位置的信息和第二位置的信息。

一种可能的设计中，收发模块向第一设备发送第一帧之前，还用于接收来自第一设备的第一指示信息；其中，第一指示信息用于指示第一设备是否支持下述一种或多种反馈：基于子载波维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈、基于样本维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈。

- 25 一种可能的设计中，第一指示信息位于下述一种或多种字段中：关联请求帧的感知能力字段、增强型定向多千兆比特 EDMG 感知能力字段的核心能力字段、EDMG 感知能力字段的可选子元素字段。

- 30 一种可能的设计中，收发模块向第一设备发送第一帧之前，还用于向第一设备发送第二指示信息；其中，第二指示信息用于指示第二设备是否支持下述一种或多种反馈：基于子载波维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈、基于样本维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈。

一种可能的设计中，第二指示信息位于下述一种或多种字段中：关联响应帧的感知能力字段、信标帧的感知能力字段、EDMG 感知能力字段的核心能力字段、EDMG 感知能力字段的可选子元素字段。

- 35 一种可能的设计中，收发模块向第一设备发送第一帧之前，还用于向第一设备发送感知请求帧；其中，感知请求帧包括反馈类型指示，反馈类型指示用于指示反馈可实现感知的信道状态信息。

一种可能的设计中，收发模块向第一设备发送第一帧之前，还用于接收来自第一设备的感知响应帧；其中，感知响应帧包括反馈类型指示，反馈类型指示用于指示反馈可实现

感知的信道状态信息。

一种可能的设计中，收发模块接收来自第一设备的 Q 矩阵之前，还用于向第一设备发送第三指示信息；其中，第三指示信息用于指示采用下述一种或多种反馈：基于子载波维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈、基于样本维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈。

一种可能的设计中，第三指示信息位于下述一种或多种帧中：感知 NDPA、感知触发帧、波束优化协议 BRP。

一种可能的设计中，第三指示信息位于下述一种或多种字段中：感知 NDPA 的用户信息字段、感知 NDPA 的公共信息字段、感知触发帧的公共信息字段、感知触发帧的用户信息字段、BRP 的预留字段。

需要说明的是，第五方面中通信装置的具体实现方式可参考第四方面或第四方面的任一种可能的设计提供的通信方法中第二设备的行为功能。

第六方面，本申请实施例提供了一种通信装置，该通信装置可以为第二设备中的芯片或者片上系统。该通信装置可以实现上述各方面或者各可能的设计中第二设备所执行的功能，所述功能可以通过硬件实现。一种可能的设计中，该通信装置可以包括：收发器和处理器。收发器和处理器可以用于支持通信装置实现上述第四方面或者第四方面的任一种可能的设计中所涉及的功能。例如：收发器可以用于向第一设备发送用于信道测量的第一帧；收发器还可以用于接收来自第一设备的 Q 矩阵；其中，Q 矩阵是根据信道状态信息确定的，Q 矩阵用于指示目标路径的属性信息；目标路径为第一设备与第二设备之间的路径；处理器可以用于根据 Q 矩阵进行目标路径感知。在又一种可能的设计中，所述通信装置还可以包括存储器，存储器，用于保存通信装置必要的计算机执行指令和数据。当该通信装置运行时，该收发器和处理器执行该存储器存储的该计算机执行指令，以使该通信装置执行如上述第四方面或者第四方面的任一种可能的设计所述的通信方法。

其中，第六方面中通信装置的具体实现方式可参考第四方面或第四方面的任一种可能的设计提供的通信方法中第二设备的行为功能。

第七方面，本申请实施例提供一种通信方法，该方法可以包括：第一设备接收来自第二设备的用于信道测量的第一帧；第一设备根据第一帧，确定信道状态信息；其中，信道状态信息的维度为 $N_r \times N_t \times K$ ， N_r 为第一设备的天线数目， N_t 为第二设备的天线数目， K 为承载第一帧的子载波数目， N_r 、 N_t 、 K 均为正整数；第一设备对信道状态信息进行共轭转置和 QR 分解，得到右上三角矩阵 R 矩阵和 Q 矩阵；第一设备向第二设备发送 Q 矩阵和第一信息；其中，第一信息包括下述一种或多种：第一参考元素的正负号、第二参考元素的正负号，第一参考元素为 R 矩阵的对角线上前 L 个元素中的任一元素，第二参考元素为 R 矩阵的对角线上前 L 个元素中的任一元素，第一参考元素的正负号用于指示基于子载波维度对 Q 矩阵进行旋转，第二参考元素的正负号用于指示基于样本维度对 Q 矩阵进行旋转，L 为第一设备和第二设备之间的目标路径数，样本为沿时间维度进行多次信道测量得到的多个信道状态信息，样本维度为多个信道状态信息对应的样本维度。

基于第七方面，第一设备可以对信道状态信息进行共轭转置和 QR 分解，得到 Q 矩阵和右上三角矩阵 R 矩阵，并向第二设备发送 Q 矩阵和第一信息，以使第二设备根据第一信息对 Q 矩阵进行旋转，由于旋转后的 Q 矩阵可以保留子载波与子载波之间以及脉冲与脉

冲之间的相对相位信息，即 Q 矩阵中可以保留目标路径的时延、AOD、多普勒频移等属性信息，第二设备根据旋转后的 Q 矩阵可以实现目标路径感知。

一种可能的设计中，Q 矩阵为酉矩阵；或者，对 Q 矩阵的至少一行进行归一化的矩阵为酉矩阵。

- 5 一种可能的设计中，第一设备确定第三位置和第四位置；其中，第三位置为第一参考元素在 R 矩阵中的位置，第四位置为第二参考元素在 R 矩阵中的位置。

一种可能的设计中，第一设备接收来自第二设备的第三位置的信息和第四位置的信息；或者，第三位置和第四位置是预定义的；或者，第三位置和第四位置是第一设备自定义的。

一种可能的设计中，第一设备向第二设备发送第三位置的信息和第四位置的信息。

- 10 基于上述三种可能的设计，第三位置和第四位置可以是第二设备指定的，也可以是协议规定的，也可以是第一设备自定义的，当是第一设备自定义的时，第一设备还可以向第二设备指示第三位置和第四位置，为第三位置和第四位置的确定提供了多种可行性方案。

一种可能的设计中，第一设备接收来自第二设备的第一帧之前，第一设备向第二设备发送第四指示信息；其中，第四指示信息用于指示第一设备是否支持基于 QR 分解的压缩的波束成形矩阵和第一信息的反馈。

- 15 基于该可能的设计，第一设备可以通过第四指示信息向第二设备指示第一设备是否支持基于 QR 分解的压缩的波束成形矩阵和第一信息的反馈，当第一设备支持时，第一设备可以采用本申请实施例提供的方法向第二设备反馈压缩后的波束成形矩阵和第一信息。

- 20 一种可能的设计中，第四指示信息位于下述一种或多种字段中：关联请求帧的感知能力字段、EDMG 感知能力字段的感知能力字段、EDMG 感知能力字段的可选子元素字段。

基于该可能的设计，为第四指示信息的设计提供了多种可行性方案。

一种可能的设计中，第一设备接收来自第二设备的第一帧之前，第一设备接收来自第二设备的第五指示信息；其中，第五指示信息用于指示第二设备是否支持基于 QR 分解的压缩的波束成形矩阵和第一信息的反馈。

- 25 基于该可能的设计，第二设备可以通过第五指示信息向第一设备指示第二设备是否支持基于 QR 分解的压缩的波束成形矩阵和第一信息的反馈，当第二设备支持时，第二设备可以参照本申请实施例提供的方法中第一设备所执行的功能，向第一设备反馈压缩后的波束成形矩阵和第一信息，由第一设备实现对目标路径的感知。

- 30 一种可能的设计中，第五指示信息位于下述一种或多种字段中：关联响应帧的感知能力字段、信标帧的感知能力字段、EDMG 感知能力字段的感知能力字段、EDMG 感知能力字段的可选子元素字段。

基于该可能的设计，为第五指示信息的设计提供了多种可行性方案。

- 35 一种可能的设计中，第一设备接收来自第二设备的第一帧之前，第一设备接收来自第二设备的感知请求帧；其中，感知请求帧包括反馈类型指示，反馈类型指示用于指示反馈可实现感知的信道状态信息。

一种可能的设计中，第一设备接收来自第二设备的第一帧之前，第一设备向第二设备发送感知响应帧；其中，感知响应帧包括反馈类型指示，反馈类型指示用于指示反馈可实现感知的信道状态信息。

基于上述两种可能的设计，第一设备和第二设备可以通过感知请求帧或感知响应帧，

指示在反馈信道状态信息时，反馈可实现感知的信道状态信息，从而根据反馈的信道状态信息实现对目标路径的感知。

一种可能的设计中，第一设备向第二设备发送 Q 矩阵之前，第一设备接收来自第二设备的第六指示信息；其中，第六指示信息用于指示采用基于 QR 分解的压缩的波束成形矩阵和第一信息的反馈。

基于该可能的设计，第一设备还可以根据第二设备发送的第六指示信息，采用基于 QR 分解的压缩的波束成形矩阵和第一信息的反馈，便于第二设备根据第一设备反馈的压缩的波束成形矩阵和第一信息实现对目标路径的感知。

一种可能的设计中，第六指示信息位于下述一种或多种帧中：感知 NDPA、感知触发帧、波束优化协议 BRP。

一种可能的设计中，第六指示信息位于下述一种或多种字段中：感知 NDPA 的用户信息字段、感知 NDPA 的公共信息字段、感知触发帧的公共信息字段、感知触发帧的用户信息字段、BRP 的预留字段。

基于上述两种可能的设计，为第六指示信息的设计提供多种可行性方案。

第八方面，本申请实施例提供了一种通信装置，通信装置可以实现上述第七方面或者第七方面可能的设计中第一设备所执行的功能，所述功能可以通过硬件执行相应的软件实现。所述硬件或软件包括一个或多个上述功能相应的模块。如，收发模块和处理模块。收发模块，用于接收来自第二设备的用于信道测量的第一帧；处理模块，用于根据第一帧，确定信道状态信息；其中，信道状态信息的维度为 $N_r \times N_t \times K$ ， N_r 为第一设备的天线数目， N_t 为第二设备的天线数目， K 为承载第一帧的子载波数目， N_r 、 N_t 、 K 均为正整数；处理模块，还用于对信道状态信息进行共轭转置和 QR 分解，得到右上三角矩阵 R 矩阵和 Q 矩阵；收发模块，还用于向第二设备发送 Q 矩阵和第一信息；其中，第一信息包括下述一种或多种：第一参考元素的正负号、第二参考元素的正负号，第一参考元素为 R 矩阵的对角线上前 L 个元素中的任一元素，第二参考元素为 R 矩阵的对角线上前 L 个元素中的任一元素，第一参考元素的正负号用于指示基于子载波维度对 Q 矩阵进行旋转，第二参考元素的正负号用于指示基于样本维度对 Q 矩阵进行旋转，L 为第一设备和第二设备之间的目标路径数，样本为沿时间维度进行多次信道测量得到的多个信道状态信息，样本维度为多个信道状态信息对应的样本维度。

一种可能的设计中，Q 矩阵为酉矩阵；或者，对 Q 矩阵的至少一列进行归一化的矩阵为酉矩阵。

一种可能的设计中，处理模块，还用于确定第三位置和第四位置；其中，第三位置为第一参考元素在 R 矩阵中的位置，第四位置为第二参考元素在 R 矩阵中的位置。

一种可能的设计中，收发模块，还用于接收来自第二设备的第三位置的信息和第四位置的信息；或者，第三位置和第四位置是预定义的；或者，第三位置和第四位置是第一设备自定义的。

一种可能的设计中，收发模块，还用于向第二设备发送第三位置的信息和第四位置的信息。

一种可能的设计中，收发模块接收来自第二设备的第一帧之前，还用于向第二设备发送第四指示信息；其中，第四指示信息用于指示第一设备是否支持基于 QR 分解的压缩的

波束成形矩阵和第一信息的反馈。

一种可能的设计中，第四指示信息位于下述一种或多种字段中：关联请求帧的感知能力字段、EDMG 感知能力字段的核心能力字段、EDMG 感知能力字段的可选子元素字段。

一种可能的设计中，收发模块接收来自第二设备的第一帧之前，还用于接收来自第二设备的第五指示信息；其中，第五指示信息用于指示第二设备是否支持基于 QR 分解的压缩的波束成形矩阵和第一信息的反馈。

一种可能的设计中，第五指示信息位于下述一种或多种字段中：关联响应帧的感知能力字段、信标帧的感知能力字段、EDMG 感知能力字段的核心能力字段、EDMG 感知能力字段的可选子元素字段。

一种可能的设计中，收发模块接收来自第二设备的第一帧之前，还用于接收来自第二设备的感知请求帧；其中，感知请求帧包括反馈类型指示，反馈类型指示用于指示反馈可实现感知的信道状态信息。

一种可能的设计中，收发模块接收来自第二设备的第一帧之前，还用于向第二设备发送感知响应帧；其中，感知响应帧包括反馈类型指示，反馈类型指示用于指示反馈可实现感知的信道状态信息。

一种可能的设计中，收发模块向第二设备发送 Q 矩阵之前，还用于接收来自第二设备的第六指示信息；其中，第六指示信息用于指示采用基于 QR 分解的压缩的波束成形矩阵和第一信息的反馈。

一种可能的设计中，第六指示信息位于下述一种或多种帧中：感知 NDPA、感知触发帧、波束优化协议 BRP。

一种可能的设计中，第六指示信息位于下述一种或多种字段中：感知 NDPA 的用户信息字段、感知 NDPA 的公共信息字段、感知触发帧的公共信息字段、感知触发帧的用户信息字段、BRP 的预留字段。

需要说明的是，第八方面中通信装置的具体实现方式可参考第七方面或第七方面的任一种可能的设计提供的通信方法中第一设备的行为功能。

第九方面，本申请实施例提供一种通信装置，该通信装置可以为第一设备或者第一设备中的芯片或者片上系统。该通信装置可以实现上述各方面或者各可能的设计中第一设备所执行的功能，所述功能可以通过硬件实现。一种可能的设计中，该通信装置可以包括：收发器和处理器。收发器和处理器可以用于支持通信装置实现上述第七方面或者第七方面的任一种可能的设计中所涉及的功能。例如：收发器可以用于接收来自第二设备的用于信道测量的第一帧；处理器可以用于根据第一帧，确定信道状态信息；其中，信道状态信息的维度为 $N_r \times N_t \times K$ ， N_r 为第一设备的天线数目， N_t 为第二设备的天线数目， K 为承载第一帧的子载波数目， N_r 、 N_t 、 K 均为正整数；处理模块，还用于对信道状态信息进行共轭转置和 QR 分解，得到右上三角矩阵 R 矩阵和 Q 矩阵；收发器还可以用于向第二设备发送 Q 矩阵和第一信息；其中，第一信息包括下述一种或多种：第一参考元素的正负号、第二参考元素的正负号，第一参考元素为 R 矩阵的对角线上前 L 个元素中的任一元素，第二参考元素为 R 矩阵的对角线上前 L 个元素中的任一元素，第一参考元素的正负号用于指示基于子载波维度对 Q 矩阵进行旋转，第二参考元素的正负号用于指示基于样本维度对 Q 矩阵进行旋转，L 为第一设备和第二设备之间的目标路径数，样本为沿时间维度进行多次信道

测量得到的多个信道状态信息，样本维度为多个信道状态信息对应的样本维度。在又一种可能的设计中，所述通信装置还可以包括存储器，存储器，用于保存通信装置必要的计算机执行指令和数据。当该通信装置运行时，该收发器和处理器执行该存储器存储的该计算机执行指令，以使该通信装置执行如上述第七方面或者第七方面的任一种可能的设计所述的通信方法。

其中，第九方面中通信装置的具体实现方式可参考第七方面或第七方面的任一种可能的设计提供的通信方法中第一设备的行为功能。

第十方面，本申请实施例提供了一种通信方法，该方法可以包括：第二设备向第一设备发送用于信道测量的第一帧；第二设备接收来自第一设备的 Q 矩阵和第一信息；其中，Q 矩阵是根据信道状态信息确定的；第一信息包括下述一种或多种：第一参考元素的正负号、第二参考元素的正负号，第一参考元素的正负号用于指示基于子载波维度对 Q 矩阵进行旋转，第二参考元素的正负号用于指示基于样本维度对 Q 矩阵进行旋转，样本为沿时间维度进行多次信道测量得到的多个信道状态信息，样本维度为多个信道状态信息对应的样本维度；第二设备根据第一信息，对 Q 矩阵进行旋转，得到旋转后的 Q 矩阵；其中，旋转后的 Q 矩阵的前 L 列中，第一参考元素对应的列向量在子载波维度上正负号一致，或者，第二参考元素对应的列向量在样本维度上正负号一致，L 为第一设备和第二设备之间的目标路径的数目；旋转后的 Q 矩阵用于指示目标路径的属性信息；第二设备根据旋转后的 Q 矩阵进行目标路径感知。

基于第十方面，第二设备可以根据第一信息对 Q 矩阵进行旋转，由于旋转后的 Q 矩阵可以保留子载波与子载波之间以及脉冲与脉冲之间的相对相位信息，即 Q 矩阵中可以保留目标路径的时延、AOD、多普勒频移等属性信息，第二设备根据旋转后的 Q 矩阵可以实现目标路径感知。

一种可能的设计中，Q 矩阵为酉矩阵；或者，对 Q 矩阵的至少一列进行归一化的矩阵为酉矩阵。

一种可能的设计中，信道状态信息的维度为 $N_r \times N_t \times K$ ， N_r 为第一设备的天线数目， N_t 为第二设备的天线数目， K 为承载第一帧的子载波数目， N_r 、 N_t 、 K 均为正整数。

一种可能的设计中，当第一信息包括第一参考元素的正负号时，第二设备根据第一参考元素的正负号，基于子载波维度对 Q 矩阵进行旋转，得到旋转后的 Q 矩阵；其中，旋转后的 Q 矩阵的前 L 列中，第一参考元素对应的列向量在子载波维度上正负号一致；当第一信息包括第二参考元素的正负号时，第二设备根据第二参考元素的正负号，基于样本维度对 Q 矩阵进行旋转，得到旋转后的 Q 矩阵；其中，旋转后的 Q 矩阵的前 L 列中，第二参考元素对应的列向量在样本维度上正负号一致。

基于该可能的设计，为第二设备根据第一信息对 Q 矩阵进行旋转提供了多种可行性方案。

一种可能的设计中，目标路径的属性信息包括下述一种或多种：目标路径的时延、目标路径的离开角 AOD、目标路径的多普勒频移。

基于该可能的设计，Q 矩阵中可以保留目标路径的时延、AOD、多普勒频移等属性信息，第二设备可以根据该属性信息实现对目标路径的感知。

一种可能的设计中，第二设备确定第三位置和第四位置；其中，第三位置为第一参考

元素在 R 矩阵中的位置, 第四位置为第二参考元素在 R 矩阵中的位置。

一种可能的设计中, 第二设备根据旋转后的 Q 矩阵进行目标路径感知, 包括下述一种或多种: 第二设备根据第三位置, 选取基于子载波维度根据第一参考元素的正负号旋转后的 Q 矩阵中第三位置的元素所在的列, 进行角度感知; 第二设备根据第四位置, 选取基于

5 样本维度根据第二参考元素的正负号旋转后的 Q 矩阵中第四位置的元素所在的列, 进行角度感知; 第二设备根据第三位置, 选取基于子载波维度根据第一参考元素的正负号旋转后的 Q 矩阵中第三位置的元素所在的列, 沿样本维度进行多普勒频移感知; 第二设备根据第四位置, 选取基于样本维度根据第二参考元素的正负号旋转后的 Q 矩阵中第四位置的元素所在的列, 沿子载波维度进行时延感知。

10 基于上述两种可能的设计, 第二设备可以基于 Q 矩阵, 根据第三位置和第四位置实现角度感知、多普勒频移感知和时延感知, 为第二设备根据 Q 矩阵实现目标路径感知提供了多种可行性方案。

一种可能的设计中, 第二设备接收来自第一设备的第三位置的信息和第四位置的信息; 或者, 第三位置和第四位置是预定义的; 或者, 第三位置和第四位置是第二设备自定义的。

15 一种可能的设计中, 第二设备向第一设备发送第三位置的信息和第四位置的信息。

基于上述两种可能的设计, 第三位置和第四位置可以是第一设备指定的, 也可以是协议规定的, 也可以是第二设备自定义的, 当是第二设备自定义的时, 第二设备还可以向第一设备指示第三位置和第四位置, 为第三位置和第四位置的确定提供了多种可行性方案。

20 一种可能的设计中, 第二设备向第一设备发送第一帧之前, 第二设备接收来自第一设备的第四指示信息; 其中, 第四指示信息用于指示第一设备是否支持基于 QR 分解的压缩的波束成形矩阵和第一信息的反馈。

基于该可能的设计, 第一设备可以通过第四指示信息向第二设备指示第一设备是否支持基于 QR 分解的压缩的波束成形矩阵和第一信息的反馈, 当第一设备支持时, 第一设备可以采用本申请实施例提供的方法向第二设备反馈压缩后的波束成形矩阵和第一信息。

25 一种可能的设计中, 第四指示信息位于下述一种或多种字段中: 关联请求帧的感知能力字段、EDMG 感知能力字段的核心能力字段、EDMG 感知能力字段的可选子元素字段。

基于该可能的设计, 为第四指示信息的设计提供了多种可行性方案。

30 一种可能的设计中, 第二设备向第一设备发送第一帧之前, 第二设备向第一设备发送第五指示信息; 其中, 第五指示信息用于指示第二设备是否支持基于 QR 分解的压缩的波束成形矩阵和第一信息的反馈。

基于该可能的设计, 第二设备可以通过第五指示信息向第一设备指示第二设备是否支持基于 QR 分解的压缩的波束成形矩阵和第一信息的反馈, 当第二设备支持时, 第二设备可以参照本申请实施例提供的方法中第一设备所执行的功能, 向第一设备反馈压缩后的波束成形矩阵和第一信息, 由第一设备实现对目标路径的感知。

35 一种可能的设计中, 第五指示信息位于下述一种或多种字段中: 关联响应帧的感知能力字段、信标帧的感知能力字段、EDMG 感知能力字段的核心能力字段、EDMG 感知能力字段的可选子元素字段。

基于该可能的设计, 为第五指示信息的设计提供了多种可行性方案。

一种可能的设计中, 第二设备向第一设备发送第一帧之前, 第二设备向第一设备发送

感知请求帧；其中，感知请求帧包括反馈类型指示，反馈类型指示用于指示反馈可实现感知的信道状态信息。

一种可能的设计中，第二设备向第一设备发送第一帧之前，第二设备接收来自第一设备的感知响应帧；其中，感知响应帧包括反馈类型指示，反馈类型指示用于指示反馈可实现感知的信道状态信息。

基于上述两种可能的设计，第一设备和第二设备可以通过感知请求帧或感知响应帧，指示在反馈信道状态信息时，反馈可实现感知的信道状态信息，从而根据反馈的信道状态信息实现对目标路径的感知。

一种可能的设计中，第二设备接收来自第一设备的 Q 矩阵和第一信息之前，第二设备接收来自第一设备的第六指示信息；其中，第六指示信息用于指示采用基于 QR 分解的压缩的波束成形矩阵和第一信息的反馈。

基于该可能的设计，第一设备还可以根据第二设备发送的第六指示信息，采用基于 QR 分解的压缩的波束成形矩阵和第一信息的反馈，便于第二设备根据第一设备反馈的压缩的波束成形矩阵和第一信息实现对目标路径的感知。

一种可能的设计中，第六指示信息位于下述一种或多种帧中：感知 NDPA、感知触发帧、波束优化协议 BRP。

一种可能的设计中，第六指示信息位于下述一种或多种字段中：感知 NDPA 的用户信息字段、感知 NDPA 的公共信息字段、感知触发帧的公共信息字段、感知触发帧的用户信息字段、BRP 的预留字段。

基于上述两种可能的设计，为第六指示信息的设计提供多种可行性方案。

第十一方面，本申请实施例提供了一种通信装置，通信装置可以实现上述第十方面或者第十方面可能的设计中第二设备所执行的功能，所述功能可以通过硬件执行相应的软件实现。所述硬件或软件包括一个或多个上述功能相应的模块。如，收发模块和处理模块。收发模块，用于向第一设备发送用于信道测量的第一帧；收发模块，还用于接收来自第一设备的 Q 矩阵和第一信息；其中，Q 矩阵是根据信道状态信息确定的；第一信息包括下述一种或多种：第一参考元素的正负号、第二参考元素的正负号，第一参考元素的正负号用于指示基于子载波维度对 Q 矩阵进行旋转，第二参考元素的正负号用于指示基于样本维度对 Q 矩阵进行旋转，样本为沿时间维度进行多次信道测量得到的多个信道状态信息，样本维度为多个信道状态信息对应的样本维度；处理模块，用于根据第一信息，对 Q 矩阵进行旋转，得到旋转后的 Q 矩阵；其中，旋转后的 Q 矩阵的前 L 列中，第一参考元素对应的列向量在子载波维度上正负号一致，或者，第二参考元素对应的列向量在样本维度上正负号一致，L 为第一设备和第二设备之间的目标路径的数目；旋转后的 Q 矩阵用于指示目标路径的属性信息；处理模块，还用于根据旋转后的 Q 矩阵进行目标路径感知。

一种可能的设计中，Q 矩阵为酉矩阵；或者，对 Q 矩阵的至少一列进行归一化的矩阵为酉矩阵。

一种可能的设计中，信道状态信息的维度为 $N_r \times N_t \times K$ ， N_r 为第一设备的天线数目， N_t 为第二设备的天线数目， K 为承载第一帧的子载波数目， N_r 、 N_t 、 K 均为正整数。

一种可能的设计中，当第一信息包括第一参考元素的正负号时，处理模块根据第一参考元素的正负号，基于子载波维度对 Q 矩阵进行旋转，得到旋转后的 Q 矩阵；其中，旋转

后的 Q 矩阵的前 L 列中, 第一参考元素对应的列向量在子载波维度上正负号一致; 当第一信息包括第二参考元素的正负号时, 处理模块根据第二参考元素的正负号, 基于样本维度对 Q 矩阵进行旋转, 得到旋转后的 Q 矩阵; 其中, 旋转后的 Q 矩阵的前 L 列中, 第二参考元素对应的列向量在样本维度上正负号一致。

- 5 一种可能的设计中, 目标路径的属性信息包括下述一种或多种: 目标路径的时延、目标路径的离开角 AOD、目标路径的多普勒频移。

一种可能的设计中, 处理模块, 还用于确定第三位置和第四位置; 其中, 第三位置为第一参考元素在 R 矩阵中的位置, 第四位置为第二参考元素在 R 矩阵中的位置。

- 10 一种可能的设计中, 处理模块根据旋转后的 Q 矩阵进行目标路径感知, 包括下述一种或多种: 根据第三位置, 选取基于子载波维度根据第一参考元素的正负号旋转后的 Q 矩阵中第三位置的元素所在的列, 进行角度感知; 根据第四位置, 选取基于样本维度根据第二参考元素的正负号旋转后的 Q 矩阵中第四位置的元素所在的列, 进行角度感知; 根据第三位置, 选取基于子载波维度根据第一参考元素的正负号旋转后的 Q 矩阵中第三位置的元素所在的列, 沿样本维度进行多普勒频移感知; 根据第四位置, 选取基于样本维度根据第二参考元素的正负号旋转后的 Q 矩阵中第四位置的元素所在的列, 沿子载波维度进行时延感知。

一种可能的设计中, 收发模块, 还用于接收来自第一设备的第三位置的信息和第四位置的信息; 或者, 第三位置和第四位置是预定义的; 或者, 第三位置和第四位置是第二设备自定义的。

- 20 一种可能的设计中, 第二设备向第一设备发送第三位置的信息和第四位置的信息。

一种可能的设计中, 收发模块向第一设备发送第一帧之前, 还接收来自第一设备的第四指示信息; 其中, 第四指示信息用于指示第一设备是否支持基于 QR 分解的压缩的波束成形矩阵和第一信息的反馈。

- 25 一种可能的设计中, 第四指示信息位于下述一种或多种字段中: 关联请求帧的感知能力字段、EDMG 感知能力字段的感知能力字段、EDMG 感知能力字段的可选子元素字段。

一种可能的设计中, 收发模块向第一设备发送第一帧之前, 还向第一设备发送第五指示信息; 其中, 第五指示信息用于指示第二设备是否支持基于 QR 分解的压缩的波束成形矩阵和第一信息的反馈。

- 30 一种可能的设计中, 第五指示信息位于下述一种或多种字段中: 关联响应帧的感知能力字段、信标帧的感知能力字段、EDMG 感知能力字段的感知能力字段、EDMG 感知能力字段的可选子元素字段。

一种可能的设计中, 收发模块向第一设备发送第一帧之前, 还向第一设备发送感知请求帧; 其中, 感知请求帧包括反馈类型指示, 反馈类型指示用于指示反馈可实现感知的信道状态信息。

- 35 一种可能的设计中, 收发模块向第一设备发送第一帧之前, 还接收来自第一设备的感知响应帧; 其中, 感知响应帧包括反馈类型指示, 反馈类型指示用于指示反馈可实现感知的信道状态信息。

一种可能的设计中, 收发模块接收来自第一设备的 Q 矩阵和第一信息之前, 还接收来自第一设备的第六指示信息; 其中, 第六指示信息用于指示采用基于 QR 分解的压缩的波

束成形矩阵和第一信息的反馈。

一种可能的设计中，第六指示信息位于下述一种或多种帧中：感知 NDPA、感知触发帧、波束优化协议 BRP。

一种可能的设计中，第六指示信息位于下述一种或多种字段中：感知 NDPA 的用户信息字段、感知 NDPA 的公共信息字段、感知触发帧的公共信息字段、感知触发帧的用户信息字段、BRP 的预留字段。

需要说明的是，第十一方面中通信装置的具体实现方式可参考第十方面或第十方面的任一种可能的设计提供的通信方法中第二设备的行为功能。

第十二方面，本申请实施例提供了一种通信装置，该通信装置可以为第二设备中的芯片或者片上系统。该通信装置可以实现上述各方面或者各可能的设计中第二设备所执行的功能，所述功能可以通过硬件实现。一种可能的设计中，该通信装置可以包括：收发器和处理器。收发器和处理器可以用于支持通信装置实现上述第十方面或者第十方面的任一种可能的设计中所涉及的功能。例如：收发器可以用于向第一设备发送用于信道测量的第一帧；收发器还可以用于接收来自第一设备的 Q 矩阵和第一信息；其中，Q 矩阵是根据信道状态信息确定的；第一信息包括下述一种或多种：第一参考元素的正负号、第二参考元素的正负号，第一参考元素的正负号用于指示基于子载波维度对 Q 矩阵进行旋转，第二参考元素的正负号用于指示基于样本维度对 Q 矩阵进行旋转，样本为沿时间维度进行多次信道测量得到的多个信道状态信息，样本维度为多个信道状态信息对应的样本维度；处理器可以用于根据第一信息，对 Q 矩阵进行旋转，得到旋转后的 Q 矩阵；其中，旋转后的 Q 矩阵的前 L 列中，第一参考元素对应的列向量在子载波维度上正负号一致，或者，第二参考元素对应的列向量在样本维度上正负号一致，L 为第一设备和第二设备之间的目标路径的数目；旋转后的 Q 矩阵用于指示目标路径的属性信息；处理器还可以用于根据旋转后的 Q 矩阵进行目标路径感知。在又一种可能的设计中，所述通信装置还可以包括存储器，存储器，用于保存通信装置必要的计算机执行指令和数据。当该通信装置运行时，该收发器和处理器执行该存储器存储的该计算机执行指令，以使该通信装置执行如上述第十方面或者第十方面的任一种可能的设计所述的通信方法。

其中，第十二方面中通信装置的具体实现方式可参考第十方面或第十方面的任一种可能的设计提供的通信方法中第二设备的行为功能。

第十三方面，提供了一种通信装置，该通信装置包括一个或多个处理器；一个或多个处理器，用于运行计算机程序或指令，当一个或多个处理器执行计算机指令或指令时，使得通信装置执行如第一方面或者第一方面的任一可能的设计所述的通信方法，或者执行如第四方面或者第四方面的任一可能的设计所述的通信方法，或者执行如第七方面或者第七方面的任一可能的设计所述的通信方法，或者执行如第十方面或者第十方面的任一可能的设计所述的通信方法。

一种可能的设计中，该通信装置还包括一个或多个存储器，一个或多个存储器与一个或多个处理器耦合，一个或多个存储器用于存储上述计算机程序或指令。在一种可能的实现方式中，存储器位于所述通信装置之外。在另一种可能的实现方式中，存储器位于所述通信装置之内。本申请实施例中，处理器和存储器还可能集成于一个器件中，即处理器和存储器还可以被集成在一起。在一种可能的实现方式中，所述通信装置还包括收发器，所

述收发器，用于接收信息和/或发送信息。

一种可能的设计中，该通信装置还包括一个或多个通信接口，一个或多个通信接口和一个或多个处理器耦合，一个或多个通信接口用于与通信装置之外的其它模块进行通信。

第十四方面，提供了一种通信装置，该通信装置包括输入输出接口和逻辑电路；输入输出接口，用于输入和/或输出信息；逻辑电路用于执行如第一方面或者第一方面的任一可能的设计所述的通信方法，或者执行如第四方面或者第四方面的任一可能的设计所述的通信方法，或者执行如第七方面或者第七方面的任一可能的设计所述的通信方法，或者执行如第十方面或者第十方面的任一可能的设计所述的通信方法，根据信息进行处理和/或生成信息。

第十五方面，提供了一种计算机可读存储介质，该计算机可读存储介质存储有计算机指令或程序，当计算机指令或程序在计算机上运行时，使得计算机执行如第一方面或者第一方面的任一可能的设计所述的通信方法，或者执行如第四方面或者第四方面的任一可能的设计所述的通信方法，或者执行如第七方面或者第七方面的任一可能的设计所述的通信方法，或者执行如第十方面或者第十方面的任一可能的设计所述的通信方法。

第十六方面，提供了一种包含计算机指令的计算机程序产品，当其在计算机上运行时，使得计算机执行如第一方面或者第一方面的任一可能的设计所述的通信方法，或者执行如第四方面或者第四方面的任一可能的设计所述的通信方法，或者执行如第七方面或者第七方面的任一可能的设计所述的通信方法，或者执行如第十方面或者第十方面的任一可能的设计所述的通信方法。

第十七方面，本申请实施例提供一种计算机程序，当其在计算机上运行时，使得计算机执行如第一方面或者第一方面的任一可能的设计所述的通信方法，或者执行如第四方面或者第四方面的任一可能的设计所述的通信方法，或者执行如第七方面或者第七方面的任一可能的设计所述的通信方法，或者执行如第十方面或者第十方面的任一可能的设计所述的通信方法。

其中，第十三方面至第十七方面中任一种设计方式所带来的技术效果可参见上述第一方面的任一种可能的设计所带来的技术效果，或者参见上述第四方面的任一种可能的设计所带来的技术效果，或者参见上述第七方面的任一种可能的设计所带来的技术效果，或者参见上述第十方面的任一种可能的设计所带来的技术效果。

第十八方面，提供了一种通信系统，该通信系统包括如第二方面至第三方面的任一方面所述的通信装置和如第五方面至第六方面的任一方面所述的通信装置，或者包括如第八方面至第九方面的任一方面所述的通信装置和如第十一方面至第十二方面的任一方面所述的通信装置。

附图说明

- 图1为本申请实施例提供的一种信道测量与反馈过程的示意图；
- 图2为本申请实施例提供的一种通信系统的示意图；
- 图3为本申请实施例提供的一种目标对应的发射角和接收角的示意图；
- 图4a为本申请实施例提供的一种 $\mathbf{r}$ 向量距离谱；
- 图4b为本申请实施例提供的一种 $\mathbf{r}$ 向量角度谱；
- 图4c为本申请实施例提供的一种 $\mathbf{r}$ 向量多普勒频移谱；

- 图 5a 为本申请实施例提供的一种 $\mathbf{q}$ 向量距离谱；
图 5b 为本申请实施例提供的一种 $\mathbf{q}$ 向量角度谱；
图 5c 为本申请实施例提供的一种 $\mathbf{q}$ 向量多普勒频移谱；
图 5d 为本申请实施例提供的一种 $\mathbf{q}_1$ 向量距离谱；
5 图 5e 为本申请实施例提供的一种 $\mathbf{q}_1$ 向量多普勒频移谱；
图 5f 为本申请实施例提供的一种 $\mathbf{q}_2$ 向量距离谱；
图 5g 为本申请实施例提供的一种 $\mathbf{q}_2$ 向量多普勒频移谱；
图 6a 为本申请实施例提供的一种 $\mathbf{q}_1$ 向量距离谱；
图 6b 为本申请实施例提供的一种 $\mathbf{q}_1$ 向量多普勒频移谱；
10 图 6c 为本申请实施例提供的一种 $\mathbf{q}_2$ 向量距离谱；
图 6d 为本申请实施例提供的一种 $\mathbf{q}_2$ 向量多普勒频移谱；
图 6e 为本申请实施例提供的一种 $\mathbf{q}_3$ 向量距离谱；
图 6f 为本申请实施例提供的一种 $\mathbf{q}_3$ 向量多普勒频移谱；
图 7a 为本申请实施例提供的一种信道矩阵的 STFT 谱；
15 图 7b 为本申请实施例提供的一种 $\mathbf{Q}$ 矩阵的 STFT 谱；
图 8 为本申请实施例提供的一种通信方法的流程图；
图 9 为本申请实施例提供的一种低频通信的典型流程图；
图 10 为本申请实施例提供的一种高频通信的典型流程图；
图 11 为本申请实施例提供的一种 EDMG 感知能力字段的帧结构示意图；
20 图 12 为本申请实施例提供的一种 NDPA 的帧结构示意图；
图 13 为本申请实施例提供的一种帧控制字段的帧结构示意图；
图 14 为本申请实施例提供的一种站点信息的帧结构示意图；
图 15 为本申请实施例提供的一种触发帧的帧结构示意图；
图 16 为本申请实施例提供的一种 HE 公共信息字段的帧结构示意图；
25 图 17 为本申请实施例提供的一种 EHT 公共信息字段的帧结构示意图；
图 18 为本申请实施例提供的一种 BRP 请求元素字段的帧结构示意图；
图 19 为本申请实施例提供的一种通信方法的流程图；
图 20 为本申请实施例提供的一种第一设备的示意图；
图 21 为本申请实施例提供的一种第二设备的示意图。

30 具体实施方式

在描述本申请实施例之前，对本申请实施例涉及的技术术语进行描述。

1、无线局域网（wireless local area network，WLAN）感知（sensing）

- WLAN sensing 是一种利用无线信号进行目标感知的技术。其中，目标可以指周围环境中的事物，例如：人、物等。基于无线电测量或采样环境的能力，WLAN sensing 可以为两个物理设备之间的每个通信路径提供提取其周围环境信息的机会。

2、WLAN 标准

WLAN 标准可以包括电气和电子工程师协会（institute of electrical and electronics engineers，IEEE）802.11 系列标准。其中，IEEE 802.11 系列标准可以包括主流低频段（例如：2.4GHz，5GHz 和 6GHz）相关标准（例如：802.11n，802.11ac，802.11ax，802.11be

等)与高频段(例如: 60GHz)相关标准(例如: 802.11ad/定向多千兆比特(directional multi-gigabit, DMG), 802.11ay/增强型定向多千兆比特(enhanced directional multi-gigabit, EDMG))。

- 5 WLAN sensing 可以基于 WLAN 标准进行感知。其中, 高频信号(60GHz)的波长短, 对运动目标敏感, 传输带宽大, 距离分辨率高, 具备良好的感知优势。

3、波束成形

- 波束成形, 源于自适应天线的一个概念, 接收设备可以通过对多天线阵元接收到的各路信号进行加权合成, 形成所需要的理想信号。若采用波束成形技术, 需采用多天线系统, 例如: 多输入多出输出(multiple input multiple output, MIMO)系统, 不仅可以采用多接收天线, 还可以采用多发射天线。由于采用多组天线, 从发送设备到接收设备的无线信号对应的同一条空间流(spatial streams), 可以通过多条路径进行传输。接收设备可以采用一定的算法对通过多个接收天线接收到的信号进行处理, 改善信噪比。

- 15 基于上述对波束成形的描述, 发送设备可以向接收设备发送探测信号, 例如, 空数据包(null data packet, NDP)。接收设备可以根据接收到的探测信号进行信道测量(或者也可以描述为信道估计), 得到信道状态信息。接收设备还可以将信道状态信息反馈给发送设备, 发送设备根据接收到的信道状态信息可以生成导向矩阵, 以提高通信性能。

其中, 探测信号也可以为用于指示进行信道测量的帧。

- 20 示例性的, 如图 1 所示, 发送设备(例如: 接入点(access point, AP))可以生成前导码组成的 NDP, 经过正交频分复用(orthogonal frequency division multiplexing, OFDM)信号的快速傅里叶反变换(inverse fast fourier transform, IFFT)调制后, 可以得到基带数字信号, 对基带数字信号进行数模转换以及上变频调制, 可以得到射频信号, 通过空口向接收设备(例如, 站点(station, STA))发送射频信号。接收设备(例如, STA)可以经过下变频、采样、OFDM 解调, 得到发送设备发送的 NDP, 并基于 NDP 进行信道测量, 得到信道状态信息。

- 25 其中, NDP 可以包含短训练字段(short training field, STF)、长训练字段(long training field, LTF)等训练序列, 这些训练序列可以为已知的固定符号。

- 接收设备向发送设备反馈信道状态信息的方式可以包括隐式反馈和显示反馈。其中, 隐式反馈是指接收设备不反馈信道状态信息的具体信息, 而是向发送设备反馈一个响应数据包, 由发送设备根据接收到的响应数据包估计信道状态信息的具体信息。显示反馈是指接收设备进行信道测量, 生成信道状态信息的具体信息, 并将其反馈给发送设备。其中, 信道状态信息的具体信息可以包括承载探测信号的各个子载波的有效信道矩阵。

其中, 显示反馈作为主流的反馈方式, 根据显示反馈中反馈内容的不同, 显示反馈可以分为以下三种反馈方式:

(1) 反馈原始信道状态信息。

- 35 示例性的, 接收设备可以向发送设备反馈接收设备进行信道测量后得到的信道状态信息, 进行信道测量后得到的信道状态信息也可以描述为原始信道状态信息。

例如, 如图 1 所示, 接收设备(如 STA)可以根据发送设备(如 AP)发送的 NDP 进行信道测量, 得到信道状态信息, 即图 1 所示的 H 矩阵, 接收设备可以向发送设备反馈该 H 矩阵。

其中，H 矩阵的维度可以为接收设备的天线数目*发送设备的天线数目*承载 NDP 的子载波的数目；H 矩阵可以包括承载 NDP 的各个子载波的有效信道矩阵。

又一种示例中，接收设备也可以基于信道测量后得到的信道状态信息，去除循环移位时延（cyclic shift delay, CSD），抽取部分子载波的有效信道矩阵，将抽取出的部分子载波的有效信道矩阵反馈给发送设备，以降低反馈开销。

例如，如图 1 所示，接收设备可以从 H 矩阵中抽取部分子载波的有效信道矩阵，如抽取得到 $H_{eff,k}$ 矩阵，接收设备可以向发送设备反馈 $H_{eff,k}$ 矩阵。

其中，k 表示第 k 个子载波， $H_{eff,k}$ 矩阵表示第 k 个子载波的有效信道矩阵。

(2) 反馈没有压缩的波束成形矩阵。

其中，接收设备也可以对子载波的有效信道矩阵进行 QR 分解，得到该子载波的波束成形矩阵，并向发送设备反馈该子载波的波束成形矩阵。

例如，如图 1 所示，以子载波的有效信道矩阵为第 k 个子载波的 $H_{eff,k}$ 矩阵为例，接收设备可以对 $H_{eff,k}$ 矩阵进行 QR 分解，得到第 k 个子载波的波束成形矩阵 V_k ，接收设备可以向发送设备反馈第 k 个子载波的波束成形矩阵 V_k 。

需要说明的是，对 $H_{eff,k}$ 矩阵进行 QR 分解得到 V_k 的具体描述可以参照下述对“4、QR 分解”的描述，在此不予赘述。

另外，当接收设备向发送设备反馈子载波的波束成形矩阵时，可以对子载波的波束成形矩阵以虚部实部的顺序进行量化编码，形成显式反馈的数据帧，将该数据帧反馈给发送设备。

示例性的，以 802.11 标准为 802.11n 标准，接收设备为 STA，带宽为 20MHz 为例，参照下述表 1，对子载波的波束成形矩阵以虚部实部的顺序进行量化编码，形成显式反馈的数据帧，其中， N_b 表示实部和虚部的量化比特数， N_c 表示波束成形矩阵的列数， N_r 表示波束成形矩阵的行数：

表 1

字段	大小（比特 bits）	含义
第一个空时流的信噪比（SNR）	8	STA 发送的空时流 1 报告的平均信噪比
...	...	...
第 N_c 个空时流的信噪比（SNR）	8	STA 发送的空时流 N_c 报告的平均信噪比
子载波-28 的波束成形矩阵	$2 \times N_b \times N_c \times N_r$	波束成形矩阵 V
...	...	...
子载波-1 的波束成形矩阵	$2 \times N_b \times N_c \times N_r$	波束成形矩阵 V
子载波 1 的波束成形矩阵	$2 \times N_b \times N_c \times N_r$	波束成形矩阵 V
...	...	...
子载波 28 的波束成形	$2 \times N_b \times N_c \times N_r$	波束成形矩阵 V

矩阵		
----	--	--

(3) 反馈压缩后的吉文斯旋转 (givens rotation) 之后的角度值。

其中, 接收设备也可以对子载波的波束成形矩阵进行 givens rotation, 得到该子载波对应的角度值, 实现对子载波的波束成形矩阵的压缩, 以降低反馈开销。

例如, 如图 1 所示, 以子载波的波束成形矩阵为第 k 个子载波的 V_k 矩阵为例, 接收设备可以对 V_k 进行 givens rotation, 得到第 k 个子载波对应的角度值 ϕ 和角度值 ψ , 接收设备可以向发送设备反馈第 k 个子载波对应的角度值 ϕ 和角度值 ψ 。

其中, 角度值 ϕ 可以为 $\phi_{1,1} \cdots \phi_{N_c, N_c}$; 角度值 ψ 可以为 $\psi_{1,1} \cdots \psi_{N_r, N_c}$; N_r 表示 V_k 矩阵的行数, N_c 表示 V_k 矩阵的列数。

需要说明的是, 对子载波的波束成形矩阵进行 givens rotation, 得到该子载波对应的角度值的具体过程可以参照下述对“5、givens rotation”的描述, 在此不予赘述。

另外, 当接收设备向发送设备反馈压缩后的子载波的波束成形矩阵时, 可以对压缩得到的角度值 ϕ 和角度值 ψ 进行量化, 形成显式反馈的数据帧, 将该数据帧反馈给发送设备。

示例性的, 以 802.11 标准为 802.11n 标准, 接收设备为 STA, 带宽为 20MHz 为例, 参照下述表 2, 对压缩得到的角度值 ϕ 和角度值 ψ 进行量化, 形成显式反馈的数据帧, 其中, b_ϕ 表示量化 ϕ 的位数, b_ψ 表示量化 ψ 的位数, N_a 为 givens rotation 中的总的角度值的个数:

表 2

字段	大小 (比特 bits)	含义
第一个空时流的信噪比 (SNR)	8	STA 发送的空时流 1 报告的平均信噪比
...	...	...
第 N_c 个空时流的信噪比 (SNR)	8	STA 发送的空时流 N_c 报告的平均信噪比
子载波-28 的压缩的波束成形矩阵	$N_a \times (b_\phi + b_\psi) / 2$	压缩的波束成形矩阵
...	...	...
子载波-1 的压缩的波束成形矩阵	$N_a \times (b_\phi + b_\psi) / 2$	压缩的波束成形矩阵
子载波 1 的压缩的波束成形矩阵	$N_a \times (b_\phi + b_\psi) / 2$	压缩的波束成形矩阵
...	...	...
子载波 28 的压缩的波束成形矩阵	$N_a \times (b_\phi + b_\psi) / 2$	压缩的波束成形矩阵

4、QR 分解

其中, 接收设备可以采用下述方案一对子载波的等效信道矩阵进行分解, 得到该子载波的波束成形矩阵, 接收设备也可以采用下述方案二对子载波的等效信道矩阵的共轭转置矩阵进行分解, 得到该子载波的波束成形矩阵。

下面以对第 k 个子载波的 $H_{eff,k}$ 矩阵进行 QR 分解得到 V_k 矩阵为例, 对方案一和方案二进行描述。

(1) 方案一

其中,接收设备测量得到信道状态信息后,可以对第 k 个子载波的 $\mathbf{H}_{eff,k}$ 矩阵进行 QR 分解,得到下述式 (1.1):

$$\mathbf{H}_{eff,k} = \mathbf{H}_k \mathbf{Q}_{mapping,k} = \mathbf{Q}_k \mathbf{R}_k; \quad (1.1)$$

式 (1.1) 中, $\mathbf{Q}_{mapping,k}$ 是正交空间流映射矩阵,在信道监听时,默认为单位矩阵,
5 $\mathbf{H}_{eff,k} = \mathbf{H}_k \mathbf{Q}_{mapping,k} = \mathbf{H}_k$; $\mathbf{Q}_k$ 是酉矩阵; $\mathbf{R}_k$ 是一个右上三角矩阵,存在一个右上三角矩阵 $\mathbf{A}_k$ 使得 $\mathbf{R}_k$ 被对角化,即 $\mathbf{A}_k$ 是使得 $\mathbf{R}_k$ 对角化的矩阵,满足 $\mathbf{R}_k \mathbf{A}_k = \mathbf{\Sigma}_k$, $\mathbf{R}_k$ 也即是要反馈给发送设备的波束成形矩阵 $\mathbf{V}_k$ 。

对于第 k 个子载波,发送设备可以根据接收设备反馈的 $\mathbf{V}_k$ 构造如下述式 (1.2) 所示的导向矩阵:

$$\begin{aligned} \mathbf{Q}_{steer,k} &= \mathbf{Q}_{mapping,k} \mathbf{A}_k; \\ &= \mathbf{A}_k \end{aligned} \quad (1.2)$$

发送设备可以基于式 (1.2) 所示的导向矩阵对发送信号进行调制,得到如下述式 (1.3) 所示的调制后的发送信号:

$$\mathbf{s} = \mathbf{A}_k \mathbf{s}'; \quad (1.3)$$

式 (1.3) 中, $\mathbf{s}'$ 表示发送信号,该发送信号可以是发送设备向接收设备发送的任一信
15 号。

其中,发送设备可以对发送信号进行预编码,将预编码后的信号通过信道发送给接收设备,接收设备通过信道接收到的信号可以如下述式 (1.4) 所示:

$$\mathbf{r} = \mathbf{Q}_k \mathbf{R}_k \mathbf{A}_k \mathbf{s}' + \mathbf{n} = \mathbf{Q}_k \mathbf{\Sigma}_k \mathbf{s}' + \mathbf{n}; \quad (1.4)$$

式 (1.4) 中, $\mathbf{n}$ 表示噪声。

接收设备对接收到的信号左乘 $\mathbf{Q}_k^H$ 矩阵可以得到如下述式 (1.5) 所示的结果:

$$\mathbf{Q}_k^H \mathbf{r} = \mathbf{Q}_k^H \mathbf{Q}_k \mathbf{\Sigma}_k \mathbf{s}' + \mathbf{Q}_k^H \mathbf{n}; \quad (1.5)$$

记

$$\mathbf{r}' = \mathbf{Q}_k^H \mathbf{r}, \mathbf{n}' = \mathbf{Q}_k^H \mathbf{n}; \quad (1.6)$$

则

$$\mathbf{r}' = \mathbf{\Sigma}_k \mathbf{s}' + \mathbf{n}'; \quad (1.7)$$

(2) 方案二

其中,接收设备测量得到信道状态信息后,可以对第 k 个子载波的 $\mathbf{H}_{eff,k}$ 矩阵进行共轭转置,得到 $\mathbf{H}_{eff,k}^H$,对 $\mathbf{H}_{eff,k}^H$ 进行 QR 分解,得到下述式 (1.8):

$$\mathbf{H}_{eff,k}^H = (\mathbf{H}_k \mathbf{Q}_{mapping,k})^H = \mathbf{Q}_k \mathbf{R}_k; \quad (1.8)$$

式 (1.8) 中, $\mathbf{Q}_{mapping,k}$ 是正交空间流映射矩阵,在信道监听时,默认为单位矩阵,
30 $\mathbf{H}_{eff,k} = \mathbf{H}_k \mathbf{Q}_{mapping,k} = \mathbf{H}_k$; $\mathbf{Q}_k$ 是酉矩阵,也即是要反馈给发送设备的波束成形矩阵 $\mathbf{V}_k$; $\mathbf{R}_k$ 是一个右上三角矩阵,存在一个右上三角矩阵 $\mathbf{A}_k$ 使得 $\mathbf{R}_k$ 被对角化,即 $\mathbf{A}_k$ 是使得 $\mathbf{R}_k$ 对角化的矩阵,满足 $\mathbf{R}_k \mathbf{A}_k = \mathbf{\Sigma}_k$ 。

对于第 k 个子载波,发送设备可以根据接收设备反馈的 $\mathbf{V}_k$ 构造如下述式 (1.9) 所示的
35 导向矩阵:

$$\begin{aligned} \mathbf{Q}_{steer,k} &= \mathbf{Q}_{mapping,k} \mathbf{Q}_k; \\ &= \mathbf{Q}_k \end{aligned} \quad (1.9)$$

发送设备可以基于式 (1.9) 所示的导向矩阵对发送信号进行调制,得到如下述式 (1.10)

所示的调制后的发送信号：

$$\mathbf{s} = \mathbf{Q}_k \mathbf{s}'; \quad (1.10)$$

式 (1.10) 中, $\mathbf{s}'$ 表示发送信号, 该发送信号可以是发送设备向接收设备发送的任一信号。

- 5 其中, 发送设备可以对发送信号进行预编码, 将预编码后的信号通过信道发送给接收设备, 接收设备通过信道接收到的信号可以如下述式 (1.11) 所示:

$$\mathbf{r} = \mathbf{R}_k^H \mathbf{Q}_k^H \mathbf{Q}_k \mathbf{s}' + \mathbf{n} = \mathbf{R}_k^H \mathbf{s}' + \mathbf{n}'; \quad (1.11)$$

式 (1.11) 中, $\mathbf{n}'$ 表示噪声。

那么, 接收设备接收到的第 i 个数据流的信号可如下述式 (1.12) 所示:

$$10 \quad r_i = \phi_{ii}^H s_i' + \sum_{j>i} \phi_{ij}^H s_j' + n_i'; \quad (1.12)$$

接收设备按下述式 (1.13) 对接收信号从上到下进行解码, 完成连续干扰消除:

$$\hat{r}_i = r_i - \sum_{j>i} \phi_{ij}^H s_j = \phi_{ii}^H s_i + n_i'; \quad (1.13)$$

上述方案一和方案二所示的通过 QR 分解得到波束成形矩阵的过程, 本质上是实现迫零接收的过程, 式 (1.7) 中 Σ 是对角矩阵, 通过式 (1.13) 也可以完成连续干扰消除, 也就意味着, 经过变换后的 MIMO 系统等价于多个互不干扰的并行信道。

15

5、givens rotation

其中, 接收设备可以通过 givens rotation 对子载波的波束成形矩阵进行压缩, 得到一系列的角度值 ϕ 和角度值 ψ , 并向发送设备发送压缩得到的角度值 ϕ 和角度值 ψ , 实现压缩反馈, 降低反馈开销。发送设备可以根据接收到的角度值重构出波束成形矩阵, 利用波束成形矩阵完成 MIMO 预编码。

20

示例性的, 以波束成形矩阵的维度为 $N_r \times N_c$ 为例, 基于 givens rotation 的波束成形矩阵可以如下述式 (1.14) 所示:

$$\mathbf{V} = \left[\prod_{i=1}^{\min(N_c, N_r-1)} \left[\mathbf{D}_i \left(1_{i-1} e^{j\phi_{1,i}} \dots e^{j\phi_{N_r-1,i}} 1 \right) \prod_{l=i+1}^{N_r} \mathbf{G}_{li}^T(\psi_{li}) \right] \right] \tilde{\mathbf{I}}_{N_r \times N_c}; \quad (1.14)$$

式 (1.14) 中, $\mathbf{V}$ 可以为任一子载波的波束成形矩阵, 即每个子载波的波束成形矩阵均可以进行 givens rotation; N_r 表示 $\mathbf{V}$ 的行数; N_c 表示 $\mathbf{V}$ 的列数; 如下述式 (1.15) 所示, $\mathbf{D}_i(1_{i-1} e^{j\phi_{1,i}} \dots e^{j\phi_{N_r-1,i}} 1)$ 是一个 $N_r \times N_r$ 的对角矩阵; 1_{i-1} 表示长度为 $i-1$ 的 1 序列; 如下述式 (1.16) 所示, $\mathbf{G}_{li}(\psi)$ 表示 givens rotation 矩阵; 如下述式 (1.17) 所示, $\tilde{\mathbf{I}}_{N_r \times N_c}$ 表示一个广义的单位矩阵:

25

$$\mathbf{D}_i(1_{i-1} e^{j\phi_{1,i}} \dots e^{j\phi_{N_r-1,i}} 1) = \begin{bmatrix} I_{i-1} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & e^{j\phi_{1,i}} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & e^{j\phi_{N_r-1,i}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (1.15)$$

$$\mathbf{G}_H(\psi) = \begin{bmatrix} I_{i-1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\psi) & 0 & \sin(\psi) & 0 \\ 0 & 0 & I_{L-i-1} & 0 & 0 \\ 0 & -\sin(\psi) & 0 & \cos(\psi) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & I_{N_r-i} \end{bmatrix}; \quad (1.16)$$

$$\tilde{\mathbf{I}}_{N_r \times N_c} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 \\ 0 & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix}; \quad (1.17)$$

接收设备可以基于上述公式确定角度值 ϕ 和角度值 ψ ，并向发送设备发送压缩得到的角度值 ϕ 和角度值 ψ ，实现压缩反馈，降低反馈开销。

目前，接收设备对信道状态信息进行 QR 分解时，利用现有的 QR 分解规则会导致分解后的信道状态信息无法保留子载波与子载波之间以及脉冲与脉冲之间的相对相位信息，导致发送设备无法根据重构的信道状态信息提取到目标的属性信息，从而无法实现对目标的有效感知。

其中，脉冲也可以描述为样本，目标的属性信息可以包括：目标时延、目标角度、目标多普勒频移等信息，目标时延可以用于确定目标的距离，时延也可以描述为传播时延，本申请不予限制，目标角度可以用于确定目标的方向，目标多普勒频移可以用于确定目标的速度等。

综上，当接收设备向发送设备反馈信道状态信息时，如何在降低反馈开销的基础上，保留子载波与子载波之间以及脉冲与脉冲之间的相对相位信息，实现对目标的有效感知成为亟待解决的技术问题。

为解决上述技术问题，本申请实施例提供了一种通信方法，该方法可以包括：第一设备接收来自第二设备的用于信道测量的第一帧；第一设备根据第一帧，确定信道状态信息；其中，信道状态信息的维度为 $N_r \times N_t \times K$ ， N_r 为第一设备的天线数目， N_t 为第二设备的天线数目， K 为承载第一帧的子载波的数目， N_r 、 N_t 、 K 均为正整数；第一设备对信道状态信息进行共轭转置和 QR 分解，得到右上三角矩阵 R 矩阵和 Q 矩阵，第一设备向第二设备发送 Q 矩阵；其中，R 矩阵的前 L 行中，至少一行满足对应对角线上的元素在子载波维度上正负号一致，至少一行满足对应对角线上的元素在样本维度上正负号一致，L 为第一设备和第二设备之间的目标路径的数目，样本为沿时间维度进行多次信道测量得到的多个信道状态信息，样本维度即为多个信道状态信息对应的样本维度；Q 矩阵用于指示目标路径的属性信息。

本申请实施例中，第一设备可以对信道状态信息进行共轭转置和 QR 分解，得到 Q 矩阵和 R 矩阵，第一设备可以向第二设备发送 Q 矩阵。由于 R 矩阵的前 L 行中，至少一行满足对应对角线上的元素在子载波维度上正负号一致，至少一行满足对应对角线上的元素在样本维度上正负号一致，相应的，满足该 R 矩阵的 QR 分解得到的 Q 矩阵可以用于指示目标路径的属性信息，第二设备根据该 Q 矩阵可以确定目标路径的属性信息，进而实现对

目标路径的有效感知。

下面结合说明书附图对本申请实施例的实施方式进行详细描述。

本申请实施例提供的通信方法可以用于任一通信系统，该通信系统可以为采用 802.11 系列标准的系统。示例性的，802.11 系列标准包括但不限于：IEEE 802.11 系列标准中主流
5 低频段（例如：2.4GHz 和 5GHz）的相关标准（例如：802.11n, 802.11ac, 802.11ax, 802.11be 等），高频段（例如：60GHz）的相关标准（例如：802.11ad/DMG, 802.11ay/EDMG）以及未来的 WLAN 标准之中。

本申请实施例提供的通信方法还可以应用于蜂窝通信系统，例如，长期演进（long term evolution, LTE）系统，又可以为第五代（5th generation, 5G）通信系统中的新空口（new
10 radio, NR）系统、NR 车联网（vehicle to everything, V2X）系统，还可以应用于 LTE 和 5G 混合组网的系统中，或者设备到设备（device-to-device, D2D）通信系统、机器到机器（machine to machine, M2M）通信系统、物联网（internet of things, IoT）、窄带物联网（narrow band internet of thing, NB-IoT）、频分双工（frequency division duplex, FDD）系统、时分双工（time division duplex, TDD）系统、卫星通信系统、无线投屏通信系统、接入回传一体化通信系统，以及其他下一代通信系统（例如，6G 通信系统）等，本申请不予
15 限制。

本申请实施例提供的通信方法可以应用于下述通信场景中的一种或多种：第一设备与第二设备进行通信的通信场景、第一设备与第一设备进行通信的通信场景、第二设备与第二设备进行通信的通信场景。本申请实施例主要以第一设备与第二设备进行通信的通信场
20 景为例对本申请实施例提供的通信方法进行介绍，其他场景下的通信方法可以参考第一设备与第二设备进行通信的通信场景来实现。

示例性的，以通信系统为采用 802.11 系列标准的通信系统为例，图 2 为本申请实施例提供的一种通信系统的示意图，如图 2 所示，该通信系统可以包括至少一个第一设备和至少一个第二设备。

25 其中，第二设备可以为接入点设备，第一设备可以为站点设备。

其中，上述接入点设备可以是 AP，也可以是安装在 AP 中的芯片或处理系统。上述站点设备可以是 STA，也可以是安装在 STA 中的芯片或处理系统。

示例性的，AP 可以为支持 802.11 系列标准或更下一代的 802.11 标准等多种 WLAN 制式的设备。

30 其中，AP 可以是一种具有无线通信功能的装置，支持采用 WLAN 协议进行通信，具有与 WLAN 网络中其他设备（比如站点或其他接入点）通信的功能，当然，还可以具有与其他设备通信的功能。在 WLAN 通信系统中，接入点还可以称为接入点站点（AP STA）。该具有无线通信功能的装置可以为一个整机的设备，还可以是安装在整机设备中的芯片或处理系统等，安装这些芯片或处理系统的设备可以在芯片或处理系统的控制下，实现本申
35 请实施例的方法和功能。本申请实施例中的 AP 是为 STA 提供服务的装置，可以支持 802.11 系列协议。

例如，AP 可以为通信服务器、路由器、交换机、网桥等通信实体。AP 还可以为各种形式的宏基站，微基站，中继站等。AP 还可以为这些各种形式的设备中的芯片和处理系统。AP 还可以是带有 WiFi 芯片的终端设备或者网络设备。AP 还可以为移动用户进入有

线网络的接入点，主要部署于家庭、大楼内部以及园区内部，典型覆盖半径为几十米至上百米，当然，也可以部署于户外。AP 相当于一个连接有线网和无线网的桥梁，主要作用是将各个无线网络客户端连接到一起，然后将无线网络接入以太网。

5 示例性的，STA 可以为支持 802.11 系列标准或更下一代 802.11 标准等多种 WLAN 制式的设备。

其中，STA 可以是一种具有无线通信功能的装置，支持采用 WLAN 协议进行通信，具有与 WLAN 网络中的其他站点或接入点通信的能力。在 WLAN 系统中，站点可以称为非接入点站点（non-access point station, non-AP STA）。STA 可以是允许用户与 AP 通信进而与 WLAN 通信的任何用户通信设备，该具有无线通信功能的装置可以为一个整机的设备，还可以是安装在整机设备中的芯片或处理系统等，安装这些芯片或处理系统的设备可以在芯片或处理系统的控制下，实现本申请实施例的方法和功能。

10 例如，STA 可以为平板电脑、桌面型、膝上型、笔记本电脑、超级移动个人计算机（ultra-mobile personal computer, UMPC）、手持计算机、上网本、个人数字助理（personal digital assistant, PDA）、手机、机顶盒、智能电视、智能可穿戴设备等可以联网的用户设备，或物联网中的物联网节点，或车联网中的车载通信装置，或娱乐设备，游戏设备或系统，全球定位系统设备等，STA 还可以为上述这些终端中的芯片和处理系统。STA 还可以为无线通讯芯片、无线传感器或无线通信终端。

需要说明的是，本申请实施例提供的通信方法，可以适用于图 2 所示的第一设备与第二设备之间，具体实现可以参照后文所述的方法实施例，此处不再赘述。

20 应当指出的是，本申请实施例中的方案还可以应用于其他通信系统中，相应的名称也可以用其他通信系统中的对应功能的名称进行替代。

应理解，图 2 仅为便于理解而示例的简化示意图，该通信系统中还可以包括其他设备，图 2 中未予以画出。

下面在介绍本申请实施例提供的通信方法之前，先对本申请实施例提供的通信方法的仿真分析过程进行说明。

上述对 QR 分解的描述中，接收设备可以对子载波的信道矩阵进行 QR 分解，得到 Q 矩阵和 R 矩阵；接收设备也可以对子载波的信道矩阵的共轭转置矩阵进行 QR 分解，得到 Q 矩阵和 R 矩阵。

30 示例性的，接收设备可以采用下述方式一至方式四中的任一方式对子载波的信道矩阵或子载波的信道矩阵的共轭转置矩阵进行 QR 分解，得到 Q 矩阵和 R 矩阵，下面以接收设备对子载波的信道矩阵进行 QR 分解，得到 Q 矩阵和 R 矩阵为例，对方式一至方式四进行描述：

方式一：基于经典施密特正交化的 QR 分解

35 其中，该方式一所示的基于经典施密特正交化的 QR 分解适用于信道矩阵 $\mathbf{H}$ 列满秩的情况。

示例性的，以接收设备对第 k 个子载波的信道矩阵 $\mathbf{H}_k$ 进行 QR 分解为例，对基于经典施密特正交化的 QR 分解进行描述，其中， $\mathbf{H}_k$ 可以如下述式 (2.1) 所示：

$$\mathbf{H}_k = [\mathbf{h}_1, \dots, \mathbf{h}_n]; \quad (2.1)$$

式 (2.1) 中， $\mathbf{h}_n$ 表示信道矩阵 $\mathbf{H}_k$ 的第 n 个列向量。

根据 $\mathbf{H}_k$, 可以得到如下述式 (2.2) 和式 (2.3) 所示的 Q 矩阵的各个元素和 R 矩阵的各个元素:

$$R_{11} = \|\mathbf{h}_1\|; \quad \mathbf{q}_1 = \mathbf{h}_1 / R_{11}; \quad (2.2)$$

$$R_{jk} = \mathbf{q}_j^H \mathbf{h}_k, 1 \leq j \leq k-1, 2 \leq k \leq n$$

$$R_{kk} = \left\| \mathbf{h}_k - \sum_{j=1}^{k-1} \mathbf{q}_j R_{jk} \right\|; \quad (2.3)$$

$$\mathbf{q}_k = (\mathbf{h}_k - \sum_{j=1}^{k-1} \mathbf{q}_j R_{jk}) / R_{kk}$$

- 5 式 (2.2) 中, R_{11} 表示 R 矩阵 (1,1) 位置上的元素; $\mathbf{q}_1$ 表示 Q 矩阵的第一个列向量。
式 (2.3) 中, R_{jk} 表示 R 矩阵 (j,k) 位置上的元素, 即 R 矩阵非对角线上的元素; $\mathbf{q}_j$ 表示 Q 矩阵的第 j 个列向量; $\mathbf{h}_k$ 表示 $\mathbf{H}_k$ 的第 k 个列向量; R_{kk} 表示 R 矩阵 (k,k) 位置上的元素, 即 R 矩阵对角线上的元素; $\mathbf{q}_k$ 表示 Q 矩阵的第 k 个列向量。

- 10 基于经典施密特正交化的 QR 分解是按列计算 R 矩阵, 经典施密特正交化实际上是将信道矩阵按列维度投影到正交空间上。具体计算时, 如果以第一个列向量为参考项, 在求余下正交向量时, 可以依次减去与之前向量平行的分量, 最后再统一单位化即可得到 Q 矩阵, 然后根据求得的 Q 矩阵和信道矩阵得到 R 矩阵。

- 需要说明的是, 当对第 k 个子载波的信道矩阵 $\mathbf{H}_k$ 的共轭转置矩阵进行 QR 分解时, 可以将式 (2.1) 中的信道矩阵 $\mathbf{H}_k$ 替换为信道矩阵 $\mathbf{H}_k$ 的共轭转置矩阵, 然后参照上述式 (2.2) 和式 (2.3) 得到 Q 矩阵和 R 矩阵。

方式二: 基于修正的施密特正交化的 QR 分解

其中, 与上述方式一类似的, 该方式二所示的基于修正的施密特正交化的 QR 分解适用于信道矩阵 H 列满秩的情况。

- 20 示例性的, 以接收设备对第 k 个子载波的信道矩阵 $\mathbf{H}_k$ 进行 QR 分解为例, 对基于修正的施密特正交化的 QR 分解进行描述, 其中, $\mathbf{H}_k$ 可以如下述式 (2.1) 所示:

$$\mathbf{H}_k = [\mathbf{h}_1, \dots, \mathbf{h}_n]; \quad (2.1)$$

式 (2.1) 中, $\mathbf{h}_n$ 表示信道矩阵 $\mathbf{H}_k$ 的第 n 个列向量。

根据 $\mathbf{H}_k$, 可以得到如下述式 (2.4) 和式 (2.5) 所示的 Q 矩阵的各个元素和 R 矩阵的各个元素:

$$R_{11} = \|\mathbf{h}_1\|, \mathbf{q}_1 = \mathbf{h}_1 / R_{11}; \quad (2.4)$$

$$R_{1j} = \mathbf{q}_1^H \mathbf{h}_j, \mathbf{h}_j^{(1)} = \mathbf{h}_j - \mathbf{q}_1 R_{1j}, 2 \leq j \leq n$$

$$R_{22} = \|\mathbf{h}_2^{(1)}\|, \mathbf{q}_2 = \mathbf{h}_2^{(1)} / R_{22}; \quad (2.5)$$

$$R_{2j} = \mathbf{q}_2^H \mathbf{h}_j^{(1)}, \mathbf{h}_j^{(2)} = \mathbf{h}_j^{(1)} - \mathbf{q}_2 R_{2j}, 3 \leq j \leq n$$

式 (2.4) 中, R_{11} 表示 R 矩阵 (1,1) 位置上的元素; $\mathbf{q}_1$ 表示 Q 矩阵的第一个列向量; R_{1j} 表示 R 矩阵 (1,j) 位置上的元素; $\mathbf{h}_j$ 表示 $\mathbf{H}_k$ 的第 j 个列向量; $\mathbf{h}_j^{(1)}$ 表示第 1 次变换后的第 j 列向量。

- 30 式 (2.5) 中, R_{22} 表示 R 矩阵 (2,2) 位置上的元素; $\mathbf{h}_2^{(1)}$ 表示第 1 次变换后的第 2 列向量; $\mathbf{q}_2$ 表示 Q 矩阵的第 2 个列向量; $\mathbf{h}_2$ 表示 $\mathbf{H}_k$ 的第 2 个列向量; R_{2j} 表示 R 矩阵 (2,

j) 位置上的元素; $\mathbf{h}_j^{(2)}$ 表示第 2 次变换后的第 j 列向量。

基于修正的施密特正交化的 QR 分解是按行计算 R 矩阵, 与经典施密特正交化相比, 舍入误差更小。

需要说明的是, 当对第 k 个子载波的信道矩阵 $\mathbf{H}_k$ 的共轭转置矩阵进行 QR 分解时, 可以将式(2.1)中的信道矩阵 $\mathbf{H}_k$ 替换为信道矩阵 $\mathbf{H}_k$ 的共轭转置矩阵, 然后参照上述式(2.4)和式(2.5)得到 Q 矩阵和 R 矩阵。

方式三: 基于豪斯霍尔德 (householder) 变换的 QR 分解

其中, householder 变换本质上是对向量在特定超平面上进行镜面反射。

示例性的, 以接收设备对第 k 个子载波的信道矩阵 $\mathbf{H}_k$ 进行 QR 分解为例, 对基于 householder 变换的 QR 分解进行描述, 其中, $\mathbf{H}_k$ 可以如下述式(2.1)所示:

$$\mathbf{H}_k = [\mathbf{h}_1, \dots, \mathbf{h}_n]; \quad (2.1)$$

式(2.1)中, $\mathbf{h}_n$ 表示信道矩阵 $\mathbf{H}_k$ 的第 n 个列向量。

根据 $\mathbf{H}_k$, 可以对第一个列向量 $\mathbf{h}_1$ 进行变换, 得到如下述式(2.6)所示的变换后的向量 $\mathbf{h}_1^{(1)}$, 根据变换后的向量 $\mathbf{h}_1^{(1)}$, 可以得到如下述式(2.7)所示的 householder 变换矩阵 $\mathbf{H}_{h_1}$:

$$\mathbf{h}_1^{(1)} = \begin{pmatrix} \text{norm}(\mathbf{h}_1) \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}; \quad (2.6)$$

$$\mathbf{H}_{h_1} = \mathbf{I} + \frac{(\mathbf{h}_1 - \mathbf{h}_1^{(1)})(\mathbf{h}_1 - \mathbf{h}_1^{(1)})^H}{\mathbf{h}_1^H(\mathbf{h}_1 - \mathbf{h}_1^{(1)})} \text{ or } \mathbf{I} - \frac{(\mathbf{h}_1 - \mathbf{h}_1^{(1)})(\mathbf{h}_1 - \mathbf{h}_1^{(1)})^H}{(\mathbf{h}_1 - \mathbf{h}_1^{(1)})^H \mathbf{h}_1}; \quad (2.7)$$

参照上述式(2.6)和式(2.7)对 $\mathbf{H}_k$ 中的各个列向量进行变换, 可以得到如下述式(2.8)所示的变换后的信号矩阵 $\mathbf{H}_k^{(1)}$:

$$\mathbf{H}_k^{(1)} = \begin{bmatrix} \text{norm}(\mathbf{h}_1)^{(1)} & h_{12}^{(1)} & \dots & h_{1n}^{(1)} \\ 0 & & & \\ \vdots & & \mathbf{H}^{(1)} & \\ 0 & & & \end{bmatrix}; \quad (2.8)$$

取其中除第一行和第一列之外的元素为矩阵 $\mathbf{H}^{(1)}$, 然后再对该矩阵进行上述变换, 重复该过程直到完成 QR 分解, 得到如下述式(2.9)所示的 Q 矩阵和式(2.10)所示的 R 矩阵:

$$\mathbf{Q}_k = (\mathbf{H}_{h_{n-1}} \dots \mathbf{H}_{h_2} \mathbf{H}_{h_1})^{-1}; \quad (2.9)$$

$$\mathbf{R}_k = \mathbf{H}_k^{(n)}; \quad (2.10)$$

需要说明的是, 当对第 k 个子载波的信道矩阵 $\mathbf{H}_k$ 的共轭转置矩阵进行 QR 分解时, 可以将式(2.1)中的信道矩阵 $\mathbf{H}_k$ 替换为信道矩阵 $\mathbf{H}_k$ 的共轭转置矩阵, 然后参照上述式(2.6)至式(2.10)得到 Q 矩阵和 R 矩阵。

方式四: 基于 givens rotation 的 QR 分解

其中, 与 householder 变换类似, givens rotation 每次对信道矩阵的一个列向量进行操作, 不过, givens rotation 每次只把其中一个元素变换为零, 直到完成 QR 分解。

示例性的, 以接收设备对第 k 个子载波的信道矩阵 $\mathbf{H}_k$ 进行 QR 分解为例, 对基于 givens rotation 的 QR 分解进行描述, 假设信道矩阵 $\mathbf{H}_k$ 为下述式(2.11)所示的 4*4 的矩阵, givens rotation 矩阵可以为下述式(2.12)所示的矩阵:

$$\mathbf{H}_k = \begin{bmatrix} |h_{11}|e^{j\theta_{11}} & h_{12} & h_{13} & h_{14} \\ |h_{21}|e^{j\theta_{21}} & h_{22} & h_{23} & h_{24} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} & h_{34} \\ h_{41} & h_{42} & h_{43} & h_{44} \end{bmatrix}; \quad (2.11)$$

$$\mathbf{G}_{12} = \begin{bmatrix} ce^{j\theta_1} & se^{j\theta_2} & 0 & 0 \\ -se^{-j\theta_2} & ce^{-j\theta_1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (2.12)$$

式 (2.12) 中, c 和 s 可以为下述式 (2.13) 所示的结果, θ_1 和 θ_2 可以为下述式 (2.14) 所示的结果:

$$c = \frac{|h_{11}|}{\sqrt{|h_{11}|^2 + |h_{21}|^2}}, s = \frac{|h_{21}|}{\sqrt{|h_{11}|^2 + |h_{21}|^2}}; \quad (2.13)$$

$$\theta_1 = -\arg h_{11}, \theta_2 = -\arg h_{21}; \quad (2.14)$$

对信道矩阵 $\mathbf{H}_k$ 进行第一次 givens rotation 之后可以得到如下述式 (2.15) 所示的矩阵 $\mathbf{H}_k^{(1)}$:

$$\mathbf{H}_k^{(1)} = \begin{bmatrix} h_{11}^{(1)} & h_{12}^{(1)} & h_{13}^{(1)} & h_{14}^{(1)} \\ 0 & h_{22}^{(1)} & h_{23}^{(1)} & h_{24}^{(1)} \\ h_{31}^{(1)} & h_{32}^{(1)} & h_{33}^{(1)} & h_{34}^{(1)} \\ h_{41}^{(1)} & h_{42}^{(1)} & h_{43}^{(1)} & h_{44}^{(1)} \end{bmatrix}; \quad (2.15)$$

式 (2.15) 中, $h_{ij}^{(k)}$ 表示第 k 次旋转后的 (i, j) 位置上的元素。

对式 (2.15) 中的第一列元素进行 givens rotation 之后可以得到如下述式 (2.16) 所示的矩阵 $\mathbf{G}_{14}\mathbf{G}_{13}\mathbf{G}_{12}\mathbf{H}$ 和如下述式 (2.17) 所示的矩阵 $\mathbf{G}_1$:

$$\mathbf{G}_{14}\mathbf{G}_{13}\mathbf{G}_{12}\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \sqrt{|h_{11}|^2 + |h_{21}|^2 + |h_{31}|^2 + |h_{41}|^2} & h_{12}^{(4)} & h_{13}^{(4)} & h_{14}^{(4)} \\ 0 & h_{22}^{(1)} & h_{23}^{(1)} & h_{24}^{(1)} \\ 0 & h_{32}^{(2)} & h_{33}^{(2)} & h_{34}^{(2)} \\ 0 & h_{42}^{(3)} & h_{43}^{(3)} & h_{44}^{(3)} \end{bmatrix}; \quad (2.16)$$

$$\mathbf{G}_1 = \mathbf{G}_{14}\mathbf{G}_{13}\mathbf{G}_{12}; \quad (2.17)$$

然后参照上述变换对该矩阵的子矩阵进行变换, 重复该过程直至完成 QR 分解, 得到如下述式 (2.18) 所示的 Q 矩阵和如下述式 (2.19) 所示的 R 矩阵:

$$\mathbf{Q} = (\mathbf{G}_3\mathbf{G}_2\mathbf{G}_1)^{-1}; \quad (2.18)$$

$$\mathbf{R} = \mathbf{G}_3\mathbf{G}_2\mathbf{G}_1\mathbf{H}; \quad (2.19)$$

需要说明的是, 当对第 k 个子载波的信道矩阵 $\mathbf{H}_k$ 的共轭转置矩阵进行 QR 分解时, 可以将式 (2.11) 中的信道矩阵 $\mathbf{H}_k$ 替换为信道矩阵 $\mathbf{H}_k$ 的共轭转置矩阵, 然后参照上述式 (2.12) 至式 (2.19) 得到 Q 矩阵和 R 矩阵。

基于上述方式一至方式四所示的 QR 分解, 以信道矩阵为下述式 (2.20) 所示的由目标距离、角度、多普勒频移等参数引起的信道响应矩阵为例, 对上述对信道矩阵进行 QR 分解的方案一和对信道矩阵的共轭转置矩阵进行 QR 分解的方案二进行对比分析:

$$\mathbf{H}_{k,i} = \sum_{l=1}^L \underbrace{\exp(-j2\pi k \Delta f \tau_l) \exp(j2\pi f_{dl} i \Delta t)}_{\text{距离, 多普勒对应的线性相位}} \cdot \tilde{\mathbf{H}}_l; \quad (2.20)$$

式 (2.20) 中, k 表示第 k 个子载波; i 表示第 i 个脉冲; L 表示目标的数目; τ_l 表示第 l 个目标的时延; f_{dl} 表示第 l 个目标的多普勒频率; $\tilde{\mathbf{H}}_l$ 是第 l 个目标对应的 MIMO 信道矩阵, 具体可以表示为下述式 (2.21):

$$\tilde{\mathbf{H}}_l = \underbrace{\exp[-j2\pi d \sin \theta_{tl} \cdot (1:N_t)/\lambda]}_{\text{发射, 接收角张成的二维导向矢量}} \otimes \exp[-j2\pi d \sin \theta_{rl} \cdot (1:N_r)/\lambda]; \quad (2.21)$$

式 (2.21) 中, d 表示天线间距; θ_{tl} 表示第 l 个目标对应的发射角; N_t 为发射天线的数目; θ_{rl} 表示第 l 个目标对应的接收角; N_r 表示发射天线个数; λ 表示载频波长。其中, 目标对应的发射角和接收角可以为图 3 所示的发射角和接收角, θ_t 表示该目标对应的发射角; θ_r 表示该目标对应的接收角。

15 假设信道响应矩阵为下述式 (2.22) 所示的 2×2 的 $\mathbf{H}$ 矩阵, 以采用基于 householder 变换的 QR 分解为例, 根据下述式 (2.23) 至式 (2.29) 采用方案一对信道响应矩阵进行 QR 分解:

$$\mathbf{H} = (\mathbf{h}_1 \quad \mathbf{h}_2) = \begin{pmatrix} A & C \\ B & D \end{pmatrix} = \sum_{l=1}^L \underbrace{\alpha_l e^{-j2\pi(\tau_l k \Delta f + f_{dl} i \Delta t)}}_{\text{多普勒和时延信息}} \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & e^{-j2\pi \sin \theta_t \Delta d} \\ e^{-j2\pi \sin \theta_r \Delta d} & e^{-j2\pi \Delta d (\sin \theta_t + \sin \theta_r)} \end{pmatrix}}_{\text{AOD 和 AOA 信息}}; \quad (2.22)$$

式 (2.22) 中, $\mathbf{H}$ 矩阵可以包括离开角 (angle of departure, AOD) 和到达角 (angle of arrival, AOA) 的相关信息。

采用方案一基于 householder 变换的 QR 分解过程如下:

$$\mathbf{h}_1^{(1)} = \begin{pmatrix} \text{norm}(\mathbf{h}_1) \\ 0 \end{pmatrix}; \quad (2.23)$$

式 (2.23) 中, $\mathbf{h}_1^{(1)}$ 表示对第一个列向量 $\mathbf{h}_1$ 进行变换后得到的向量, 或者也可以描述为第一次 householder 变换后的第一个列向量, 则第一个 householder 变换矩阵 $\mathbf{H}_{h_1}$ 可以如下

$$\mathbf{H}_{h_1} = \mathbf{I} + \frac{(\mathbf{h}_1 - \mathbf{h}_1^{(1)})(\mathbf{h}_1 - \mathbf{h}_1^{(1)})^H}{\mathbf{h}_1^H(\mathbf{h}_1 - \mathbf{h}_1^{(1)})} = \frac{1}{\text{norm}(\mathbf{h}_1)} \begin{pmatrix} A^H & B^H \\ \frac{BA^H - \text{norm}(\mathbf{h}_1)B}{A - \text{norm}(\mathbf{h}_1)} & \frac{BB^H + \text{norm}(\mathbf{h}_1)A - \text{norm}^2(\mathbf{h}_1)}{A - \text{norm}(\mathbf{h}_1)} \end{pmatrix}; \quad (2.24)$$

第一次 householder 变换后, $\mathbf{H}$ 矩阵可以变换为如下述式 (2.25) 所示的矩阵 $\mathbf{H}_{h_1} \mathbf{H}$:

$$\mathbf{H}_{h_1} \mathbf{H} = \begin{pmatrix} h_1^{(1)} & h_3^{(1)} \\ h_2^{(1)} & h_4^{(1)} \end{pmatrix} = \frac{1}{\text{norm}(\mathbf{h}_1)} \begin{pmatrix} \text{norm}^2(\mathbf{h}_1) & A^H C + B^H D \\ 0 & \frac{B(A^H - \text{norm}(\mathbf{h}_1))C + (BB^H + \text{norm}(\mathbf{h}_1)A - \text{norm}^2(\mathbf{h}_1))D}{A - \text{norm}(\mathbf{h}_1)} \end{pmatrix}; \quad (2.25)$$

下述式 (2.26) 所示的 $\mathbf{h}_4^{(2)}$ 为第二次 householder 变换后的子矩阵的第一个列向量:

$$\mathbf{h}_4^{(2)} = \begin{pmatrix} \text{norm}(\mathbf{h}_4^{(1)}) \end{pmatrix}; \quad (2.26)$$

根据式 (2.26) 可以确定第二个 householder 变换矩阵为下述 (2.27) 所示的矩阵 $\mathbf{H}_{h_2}$:

$$\mathbf{H}_{h_2} = \mathbf{I} + \frac{(\mathbf{h}_4^{(1)} - \mathbf{h}_4^{(2)})(\mathbf{h}_4^{(1)} - \mathbf{h}_4^{(2)})^H}{\mathbf{h}_4^{H(2)}(\mathbf{h}_4^{(1)} - \mathbf{h}_4^{(2)})} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 + \frac{(\mathbf{h}_4^{(1)} - \mathbf{h}_4^{(2)})^H}{\mathbf{h}_4^{(2)}} \end{pmatrix}; \quad (2.27)$$

进而得到如下述式 (2.28) 所示的 $\mathbf{Q}$ 矩阵和式 (2.29) 所示的 $\mathbf{R}$ 矩阵:

$$\mathbf{Q} = (\mathbf{q}_1 \quad \mathbf{q}_2) = (\mathbf{H}_{h_2} * \mathbf{H}_{h_1})^H = \frac{1}{\text{norm}(\mathbf{h}_1)} \begin{pmatrix} A & \frac{B^H A - \text{norm}(\mathbf{h}_1) B^H}{A^H - \text{norm}(\mathbf{h}_1)} (1 + \frac{h_4^{(1)} - h_4^{(2)}}{\text{norm}(h_4^{(1)})}) \\ B & \frac{B^H B + \text{norm}(\mathbf{h}_1) A^H - \text{norm}^2(\mathbf{h}_1)}{A^H - \text{norm}(\mathbf{h}_1)} (1 + \frac{h_4^{(1)} - h_4^{(2)}}{\text{norm}(h_4^{(1)})}) \end{pmatrix}; \quad (2.28)$$

$$\mathbf{R} = \frac{1}{\text{norm}(\mathbf{h}_1)} \begin{pmatrix} \text{norm}^2(\mathbf{h}_1) & A^H C + B^H D \\ 0 & \text{norm}(\mathbf{h}_1) \text{norm}(h_4^{(1)}) \end{pmatrix}; \quad (2.29)$$

其中, $A^H C + B^H D = a_1^2 e^{-j2\pi \sin \varphi_1 \Delta d} (1 + e^{j2\pi \sin \varphi_1 \Delta d}) + a_2^2 e^{-j2\pi \sin \varphi_2 \Delta d} (1 + e^{j2\pi \sin \varphi_2 \Delta d}) + a_1 a_2 e^{-j2\pi (\Delta \tau \Delta f + \Delta f_d \Delta \tau)} e^{-j2\pi \sin \varphi_1 \Delta d} (1 + e^{j2\pi \sin \varphi_2 \Delta d})$ 。

根据上述式 (2.28) 所述的 Q 矩阵和式 (2.29) 所示的 R 矩阵, 可知, 在对 H 矩阵进行 QR 分解的方案一中, Q 矩阵可以完整保留 H 矩阵中的第一个列向量, 故根据 Q 矩阵可以得到多普勒频移、时延和 AOA; R 矩阵可以保留 AOD、多普勒频移差和时延差。

相应的, 由于方案二是对 H 矩阵的共轭转置矩阵进行 QR 分解, 当采用方案二进行 QR 分解时, 由于 H 矩阵经过共轭转置, 原先的第一个行向量可以被完整的保留在 Q 矩阵的第一个列向量中, 即 Q 矩阵可以保留多普勒频移、时延和 AOD, R 矩阵可以保留 AOA、多普勒频移差和时延差。

其中, 多普勒频移差为多个目标中, 任意两个目标之间的多普勒频移的差值; 时延差为多个目标中, 任意两个目标之间的时延的差值。

类似的, 如下述表 3 所示, 对于基于不同方式的 QR 分解, 接收设备采用方案一得到的 R 矩阵保留的信息和采用方案二得到的 Q 矩阵保留的信息可以如下述表 3 所示:

表 3

	方案一	方案二
基于施密特正交化的 QR 分解	R 中包含 Δf_d 、 $\Delta \tau$	Q 中包含 f_d 、 τ
基于 householder 变换的 QR 分解	R 中包含 Δf_d 、 $\Delta \tau$ 、 AOD	Q 中包含 f_d 、 τ 、 AOD
基于 givens rotation 的 QR 分解	R 中包含 Δf_d 、 $\Delta \tau$ 、 AOD	Q 中包含 f_d 、 τ 、 AOD
反馈矩阵	R	Q

其中, Δf_d 表示目标与目标之间的多普勒频移的差值, $\Delta \tau$ 表示目标与目标之间的时延的差值; f_d 表示目标的多普勒频移, τ 表示目标的时延。

由表 3 可知, 采用方案一得到的 R 矩阵中保留的多普勒频移差、时延差和 AOD, 采用方案二得到的 Q 矩阵中保留的是多普勒频移、时延和 AOD, 即采用方案二可以直接获得目标的属性信息。

下面以发送设备和接收设备之间包括一条视距 (line of sight, LOS) 径和一条非视距 (non-line of sight, NLOS) 径为例, 其中, 信号可以在发送设备与接收设备之间通过 LOS 径直线传输, 也可以通过 NLOS 径反射传输或衍射传输, 当信号通过 NLOS 径反射传输时, 该 NLOS 径也可以描述为反射径。基于下述表 4 所示的仿真参数表 4, 对上述方案一和方案二进行仿真分析:

表 4 仿真参数表 4

参数	符号	数值
发送天线数	N_t	4
接收天线数	N_r	4

带宽	B	20MHz
子载波数	N	256
脉冲重复周期	PRF	1KHz
LOS 径距离	d	15m
LOS 径角度	(θ_t, θ_r)	$45^\circ, -40^\circ$
LOS 径多普勒频移	f_d	20Hz
LOS 径衰减因子	a	1
目标距离	d	45m
目标角度	(θ_t, θ_r)	$-30^\circ, 50^\circ$
目标多普勒频移	f_d	50Hz
目标径衰减因子	a	0.1

当发送天线数为 4, 接收天线数为 4, 子载波数为 256 时, 接收设备测量得到的信道矩阵可以为 $4 \times 4 \times 256$ 的矩阵, 其中, 第 k 个子载波的信道矩阵可以为 4×4 的矩阵。当采用上述方案一和方案二对子载波的信道矩阵进行 QR 分解时, 分解得到的 $\mathbf{Q}_{k,i}$ 矩阵可以包括 4 个正交向量, 取前两个列向量分别记为 $\mathbf{q}_1$ 和 $\mathbf{q}_2$; 分解得到的 $\mathbf{R}_{k,i}$ 是一个右上三角矩阵, 取第一个行向量和第四个列向量分别记为 $\mathbf{r}_1$ 和 $\mathbf{r}_2$; 对方案一得到的 $\mathbf{r}$ 向量提取目标距离、目标角度、目标多普勒频移, 结果可以如图 4a 至图 4c 所示; 对方案二得到的 $\mathbf{q}$ 向量提取目标距离、目标角度、目标多普勒频移, 结果可以如图 5a 至图 5g 所示。

其中, 图 4a 表示 $\mathbf{r}$ 向量距离谱; 图 4b 表示 $\mathbf{r}$ 向量角度谱; 图 4c 表示 $\mathbf{r}$ 向量多普勒频移谱。

其中, 图 5a 表示 $\mathbf{q}$ 向量距离谱; 图 5b 表示 $\mathbf{q}$ 向量角度谱; 图 5c 表示 $\mathbf{q}$ 向量多普勒频移谱; 图 5d 表示 $\mathbf{q}_1$ 向量距离谱; 图 5e 表示 $\mathbf{q}_1$ 向量多普勒频移谱; 图 5f 表示 $\mathbf{q}_2$ 向量距离谱; 图 5g 表示 $\mathbf{q}_2$ 向量多普勒频移谱。

可选的, 可以采用多信号分类算法 (multiple signal classification, MUSIC) 提取目标距离、目标角度、目标多普勒频移, 采用 IFFT 算法提取 $\mathbf{q}_1$ 向量距离谱、 $\mathbf{q}_1$ 向量多普勒频移谱、 $\mathbf{q}_2$ 向量距离谱、 $\mathbf{q}_2$ 向量多普勒频移谱。

对比图 4a 至图 4c 和图 5a 至图 5g 的处理结果, 可知, 方案一的 QR 分解无法从 $\mathbf{R}$ 矩阵中提取有效的目标距离、目标多普勒频移。而方案二的 QR 分解, 当目标和 LOS 径的个数小于信道矩阵的维度时, $\mathbf{Q}$ 矩阵中每个向量对应一个目标, 且能有效的提取出目标的距离、角度、多普勒频移。

又一种示例中, 以发送设备和接收设备之间包括一条 LOS 径和两条目标路径为例, 基于下述表 5 所示的仿真参数表 5, 对上述方案一和方案二进行仿真分析:

表 5 仿真参数表 5

参数	符号	数值
发送天线数	N_t	8
接收天线数	N_r	8
带宽	B	20MHz
子载波数	N	256
脉冲重复周期	PRF	1KHz

LOS 径距离	d	15m
LOS 径角度	(θ_i, θ_r)	$45^\circ, -40^\circ$
LOS 径多普勒频移	f_d	20Hz
LOS 径衰减因子	a	1
目标 1 距离	d	45m
目标 1 角度	(θ_i, θ_r)	$-30^\circ, 50^\circ$
目标 1 多普勒	f_d	50Hz
目标 1 衰减因子	a	0.1
目标 2 距离	d	60m
目标 2 角度	(θ_i, θ_r)	$75^\circ, 0^\circ$
目标 2 多普勒	f_d	70Hz
目标 2 衰减因子	a	0.1

参照上述对表 4 的仿真参数的处理，对表 5 中的仿真参数进行类似处理，此时由于信道中有 3 条有效路径，整个信道矩阵的秩为 3，将分解得到的 $\mathbf{Q}_{k,i}$ 中的前 3 个正交向量，记为 $\mathbf{q}_1, \mathbf{q}_2, \mathbf{q}_3$ 。对方案二的 QR 分解方式下得到的前 3 个正交向量提取目标距离、目标角度、目标多普勒频移，结果可以如图 6a 至图 6f 所示。

5 其中，图 6a 表示 $\mathbf{q}_1$ 向量距离谱；图 6b 表示 $\mathbf{q}_1$ 向量多普勒频移谱；图 6c 表示 $\mathbf{q}_2$ 向量距离谱；图 6d 表示 $\mathbf{q}_2$ 向量多普勒频移谱；图 6e 表示 $\mathbf{q}_3$ 向量距离谱；图 6f 表示 $\mathbf{q}_3$ 向量多普勒频移谱。

根据图 6a 至图 6f 的处理结果，方案二的 QR 分解可以有效的提取出目标距离、目标角度、目标多普勒频移。

10 再一种示例中，以实测数据为例，假设信道矩阵的短时傅里叶变换（short-time fourier transform, STFT）谱如图 7a 所示，采用方案二的 QR 分解得到的 Q 矩阵的 STFT 谱可以如图 7b 所示，其中，实测条件下，Q 矩阵可以完整保留信道矩阵中的第一个列向量，在去除 CSD 的条件下可以用于发送设备天线共轭相除去消除相偏。即方案二的 QR 分解可以有效的提取出目标距离、目标角度、目标多普勒频移。

15 基于上述分析，可知，当接收设备采用方案二所示的 QR 分解对信道矩阵的共轭转置矩阵进行分解时，分解得到的 Q 矩阵可以完整保留信道矩阵的第一个列向量，根据该 Q 矩阵可以有效提取出目标距离、目标角度和目标多普勒频移。

基于此，本申请实施例提供了一种通信方法，接收设备可以将对子载波的信道矩阵进行共轭转置和 QR 分解后得到的 Q 矩阵反馈给发送设备，发送设备根据该 Q 矩阵可以有效

20 提取出目标距离、目标角度和目标多普勒频移，实现目标感知。

下面以发送设备为第二设备，接收设备为第一设备为例，参照下述图 8，对本申请实施例提供的通信方法进行具体描述。

图 8 为本申请实施例提供的一种通信方法的流程图，如图 8 所示，该方法可以包括：

步骤 801、第二设备向第一设备发送第一帧。相应的，第一设备接收来自第二设备的

25 第一帧。

其中，第一帧可以用于信道测量。

示例性的，第一帧可以为信道探测帧、具有触发功能的帧、NDP、波束优化协议（beam

refinement protocol, BRP) 等, 本申请不予限制。

其中, 当第一帧为具有触发功能的帧时, 第一帧可以为触发帧(trigger frame), 也可以为下述表 17 所示的感知触发帧, 或其他具有触发功能的帧, 在此不予赘述。当第一帧为 NDP 时, 第二设备向第一设备发送 NDP 之前, 还可以向第一设备发送 NDPA, 第一设备在接收到 NDP 进行信道测量时, 可以根据 NDPA 中的相关信息进行信道测量。

步骤 802、第一设备根据第一帧, 确定信道状态信息。

其中, 第一设备可以根据第一帧, 进行信道测量, 得到信道状态信息。

示例性的, 第一设备在进行信道测量时, 可以基于采样得到的样本进行信道测量, 得到每个样本对应的信道状态信息。

例如, 以信道测量过程中采样得到的样本的数量为 8 为例, 第一设备可以基于该 8 个样本进行信道测量, 得到每个样本对应的信道状态信息。

其中, 信道状态信息的维度可以为 $N_r \times N_t \times K$, N_r 为第一设备的天线数目, N_t 为第二设备的天线数目, K 为承载第一帧的子载波的数目, N_r 、 N_t 、 K 均为正整数。信道状态信息可以包括承载第一帧的各个子载波的信道矩阵。

需要说明的是, 对第一设备进行信道测量, 得到信道状态信息的描述可以参照现有技术中对信道测量的相关描述, 在此不予赘述。

步骤 803、第一设备对信道状态信息进行共轭转置和 QR 分解, 得到右上三角矩阵 R 矩阵和 Q 矩阵。

其中, 由于信道状态信息可以包括承载第一帧的各个子载波的信道矩阵, 第一设备可以从信道状态信息中去除 CSD, 抽取部分或全部子载波的信道矩阵, 对抽取出的子载波的信道矩阵采用上述方案二进行共轭转置和 QR 分解, 得到每个子载波对应的 R 矩阵和 Q 矩阵。Q 矩阵也可以描述为子载波对应的波束成形矩阵。

具体的, 第一设备在对子载波的信道矩阵的共轭转置矩阵进行 QR 分解得到 R 矩阵和 Q 矩阵时, 使得 R 矩阵中的前 L 行中, 至少一行满足对应对角线上的元素在子载波维度上正负号一致, 至少一行满足对应对角线上的元素在样本维度上正负号一致。

其中, L 为第一设备和第二设备之间的目标路径的数目。正负号一致即均为正号或者均为负号。样本为沿时间维度进行多次信道测量得到的多个信道状态信息, 样本维度为多个信道状态信息对应的样本维度。

第一种可能的设计中, Q 矩阵为酉矩阵。

其中, 当 Q 矩阵为酉矩阵时, Q 矩阵的第一列可以保留 CSI 矩阵中第一行的放缩版本, 其中, 放缩因子可以为 R 矩阵中第一行第一列所在位置的元素的倒数。此时, 可以将该 Q 矩阵用于上述通信中的 beamforming 程序。

第二种可能的设计中, 对 Q 矩阵的至少一行进行归一化的矩阵为酉矩阵。

其中, 当 Q 矩阵为酉矩阵时, 在每个 beamforming 权重 (beamforming weight) 中都乘了随机的放缩因子, 这将使得幅度信息不能应用于感知。基于此, 可以对 R 矩阵进行变换/规定, 以使得 R 矩阵中至少一行至少一列的元素为 1, 此时, 得到的 Q 矩阵的至少一行可以完整保留 CSI 矩阵中的至少一行, 以在保留相位中可用于感知的参数信息的前提下, 进一步保留可用于感知的原始的幅度信息。

另外, 通过对 Q 矩阵的至少一行进行归一化, 可以得到酉矩阵, 该酉矩阵可以进一步

用于通信的预编码。

示例性的，可以对 R 矩阵进行变换/规定，以使得 R 矩阵中第一行第一列的元素为 1。此时，得到的 Q 矩阵的第一列可以完整保留 CSI 矩阵中的第一行。因此，得以保留下来的幅度信息也可以进一步用于感知。在对 Q 矩阵的第一列进行归一化后，Q 矩阵可以恢复成酉矩阵，可进一步用于通信的预编码。

5 酉矩阵，可进一步用于通信的预编码。

示例性的，第一设备对子载波的信道矩阵的共轭转置矩阵进行 QR 分解得到 R 矩阵和 Q 矩阵时，可以根据第一位置和第二位置对子载波的信道矩阵的共轭转置矩阵进行 QR 分解，使得 R 矩阵中的前 L 行中，至少一行满足对应对角线上的元素在子载波维度上正负号一致，至少一行满足对应对角线上的元素在样本维度上正负号一致。

10 其中，第一位置为 R 矩阵的前 L 行中，满足对应对角线上的元素在子载波维度正负号一致的元素在 R 矩阵中的位置；第二位置为 R 矩阵的前 L 行中，满足对应对角线上的元素在样本维度正负号一致的元素在 R 矩阵中的位置。

例如，第一设备可以根据第一位置对子载波的信道矩阵的共轭转置矩阵进行 QR 分解，使得 R 矩阵中的前 L 行中，第一位置对应的行满足对应对角线上的元素在子载波维度上正负号一致，第一设备也可以根据第二位置对子载波的信道矩阵的共轭转置矩阵进行 QR 分解，使得 R 矩阵中的前 L 行中，第二位置对应的行满足对应对角线上的元素在样本维度上正负号一致。

15 可选的，第一位置和第二位置可以是第二设备确定并发送给第一设备的，也可以是协议预定义的，也可以是第一设备自定义的，本申请不予限制。

20 需要说明的是，当第一位置和第二位置是第一设备自定义时，第一设备可以将第一位置的信息和第二位置的信息发送给第二设备，第二设备根据第一位置和第二位置进行目标路径感知。

R 矩阵的前 L 行中，至少一行满足对应对角线上的元素在子载波维度上正负号一致也可以描述为：R 矩阵的前 L 行中，至少一行的对角线元素在子载波维度上正负号一致。R 25 矩阵的前 L 行中，至少一行满足对应对角线上的元素在样本维度上正负号一致也可以描述为：R 矩阵的前 L 行中，至少一行的对角线元素在样本维度上正负号一致。

示例性的，以第一设备和第二设备之间的目标路径的数量 L 为 2，信道测量过程中采样得到的样本包括样本 1、样本 2、样本 3、样本 4，承载第一帧的子载波的数量为 256 为例，第一设备可以对每个样本的信道状态信息进行共轭转置和 QR 分解，假设第一设备抽取的子载波为子载波 1、子载波 2、...、子载波 64，则第一设备可以得到每个样本对应的 30 64 个子载波的 R 矩阵和 Q 矩阵，其中，对于每个子载波而言，4 个样本对应的 4 个 R 矩阵的前 2 行中，至少一行的对角线元素在当前子载波上正负号一致。对于每个样本而言，64 个子载波对应的 64 个 R 矩阵的前 2 行中，至少一行的对角线元素在当前样本上正负号一致。

35 例如，以子载波 1 为例，假设 4 个样本对应的 4 个 R 矩阵的前 2 行中，第一行的对角线元素在子载波 1 上正负号一致，即表示：样本 1 中子载波 1 对应的 R 矩阵的第一行的对角线元素的正负号、与样本 2 中子载波 1 对应的 R 矩阵的第一行的对角线元素的正负号、与样本 3 中子载波 1 对应的 R 矩阵的第一行的对角线元素的正负号、与样本 4 中子载波 1 对应的 R 矩阵的第一行的对角线元素的正负号一致，均为正号，或者均为负号。

又例如，以样本 1 为例，假设 64 个子载波对应的 64 个 R 矩阵的前 2 行中，第二行的对角线元素在样本 1 上正负号一致，即表示：样本 1 中子载波 1 对应的 R 矩阵的第二行的对角线元素的正负号、与样本 1 中子载波 2 对应的 R 矩阵的第二行的对角线元素的正负号、...、与样本 1 中子载波 64 对应的 R 矩阵的第二行的对角线元素的正负号一致，均为正号，或者均为负号。

需要说明的是，当只进行多普勒频移的感知的时候，对于不同的子载波，子载波对应的正负号可以一致，也可以不一致，本申请不予限制。

其中，子载波对应的正负号，即对于当前子载波，满足 R 矩阵的前 L 行中，至少一行的对角线元素在子载波维度上正负号一致时，该至少一行的对角线元素对应的正负号。

示例性的，以子载波 1 为例，假设各个样本对应的 R 矩阵的前 L 行中，至少一行的对角线元素在子载波 1 上正负号一致，则该至少一行的对角线元素对应的正负号即子载波 1 对应的正负号。当该至少一行的对角线元素对应正号时，子载波 1 对应正号，该至少一行的对角线元素对应负号时，子载波 1 对应负号。

示例性的，以不同的子载波为子载波 1 和子载波 2 为例，子载波 1 对应的正负号可以为各个样本对应的 R 矩阵的前 L 行中，至少一行的对角线元素在子载波 1 上正负号一致时，该至少一行的对角线元素对应的正负号；子载波 2 对应的正负号可以为各个样本对应的 R 矩阵的前 L 行中，至少一行的对角线元素在子载波 2 上正负号一致时，该至少一行的对角线元素对应的正负号。子载波 1 对应的正负号与子载波 2 对应的正负号可以一致，也可以不一致，即子载波 1 和子载波 2 均对应正号；或者子载波 1 和子载波 2 均对应负号；或者子载波 1 对应正号，子载波 2 对应负号；或者子载波 1 对应负号，子载波 2 对应正号，本申请不予限制。

类似的，当只进行时延的感知的时候，对于不同的样本，样本对应的正负号可以一致，也可以不一致，本申请不予限制。

其中，样本对应的正负号，即对于当前样本，满足 R 矩阵的前 L 行中，至少一行的对角线元素在样本维度上正负号一致时，该至少一行的对角线元素对应的正负号。

示例性的，以样本 1 为例，假设各个子载波对应的 R 矩阵的前 L 行中，至少一行的对角线元素在样本 1 上正负号一致，则该至少一行的对角线元素对应的正负号即样本 1 对应的正负号。当该至少一行的对角线元素对应正号时，样本 1 对应正号，该至少一行的对角线元素对应负号时，样本 1 对应负号。

示例性的，以不同的样本为样本 1 和样本 2 为例，样本 1 对应的正负号可以为各个子载波对应的 R 矩阵的前 L 行中，至少一行的对角线元素在样本 1 上正负号一致时，该至少一行的对角线元素对应的正负号；样本 2 对应的正负号可以为各个子载波对应的 R 矩阵的前 L 行中，至少一行的对角线元素在样本 2 上正负号一致时，该至少一行的对角线元素对应的正负号。样本 1 对应的正负号与样本 2 对应的正负号可以一致，也可以不一致，即样本 1 和样本 2 均对应正号；或者样本 1 和样本 2 均对应负号；或者样本 1 对应正号，样本 2 对应负号；或者样本 1 对应负号，样本 2 对应正号，本申请不予限制。

另外，R 矩阵中的前 L 行中，满足对应对角线上的元素在子载波维度上正负号一致的行，可以与满足对应对角线上的元素在样本维度上正负号一致的行是相同的行，也可以是不同的行，本申请不予限制。

例如，以 R 矩阵中的前 L 行中，存在某一行满足对应对角线上的元素在子载波维度上正负号一致，存在另外一行满足对应对角线上的元素在样本维度上正负号一致，该某一行与该另外一行可以是相同的行，也可以是不同的行，本申请不予限制。

第一设备采用方案二对子载波的信道矩阵进行共轭转置和 QR 分解时，当 R 矩阵满足子载波维度一致性和样本维度一致性时，Q 矩阵可以用于指示目标路径的属性信息。

其中，子载波维度一致性即 R 矩阵的前 L 行中，至少一行满足对应对角线上的元素在子载波维度上正负号一致。样本维度一致性即 R 矩阵的前 L 行中，至少一行满足对应对角线上的元素在样本维度上正负号一致。目标路径可以为第一设备与第二设备之间的路径。

其中，目标路径的属性信息可以包括下述一种或多种：目标路径的时延、目标路径的 AOD、目标路径的多普勒频移。

步骤 804、第一设备向第二设备发送 Q 矩阵。相应的，第二设备接收来自第一设备的 Q 矩阵。

其中，Q 矩阵也可以描述为波束成形矩阵，第一设备向第二设备发送 Q 矩阵时，可以直接向第二设备发送 Q 矩阵，也可以对 Q 矩阵进行压缩，向第二设备发送压缩后的 Q 矩阵，以降低反馈开销。

示例性的，第一设备可以采用 givens rotation 对 Q 矩阵进行压缩，得到一系列的角度值 ϕ 和角度值 ψ ，并向第二设备发送压缩得到的角度值 ϕ 和角度值 ψ ，实现压缩反馈，降低反馈开销。

其中，对基于 givens rotation 对 Q 矩阵进行压缩的描述可以参照上述“5、givens rotation”中通过 givens rotation 对子载波的波束成形矩阵进行压缩的相关描述，在此不予赘述。

步骤 805、第二设备根据 Q 矩阵进行目标路径感知。

示例性的，第二设备可以根据第一位置和第二位置，对接收到的 Q 矩阵进行目标路径感知，得到目标路径的属性信息。

其中，第一位置可以为 R 矩阵的前 L 行中，满足对应对角线上的元素在子载波维度正负号一致的元素在 R 矩阵中的位置；第二位置可以为 R 矩阵的前 L 行中，满足对应对角线上的元素在样本维度正负号一致的元素在 R 矩阵中的位置。

第一位置与第二位置可以是相同的位置，也可以是不同的位置，本申请不予限制。

例如，当 R 矩阵的前 L 行中，满足对应对角线上的元素在子载波维度正负号一致的元素为 R 矩阵中第一行的对角线元素时，第一位置可以为 (1,1)。当 R 矩阵的前 L 行中，满足对应对角线上的元素在样本维度正负号一致的元素为 R 矩阵中第一行的对角线元素时，第二位置可以为 (1,1)。或者，当 R 矩阵的前 L 行中，满足对应对角线上的元素在样本维度正负号一致的元素为 R 矩阵中第二行的对角线元素时，第二位置可以为 (2,2)。

可选的，第一位置和第二位置可以是第二设备确定的，也可以是协议预定义的，也可以是第一设备自定义的，本申请不予限制。

需要说明的是，当第一位置和第二位置是第二设备确定时，第二设备可以在第一设备进行信道测量之前，将第一位置的信息和第二位置的信息发送给第一设备，第一设备根据第一位置和第二位置，对信道状态信息进行处理得到 Q 矩阵。

当第一位置和第二位置是第一设备自定义时，第一设备可以将第一位置的信息和第二位置的信息发送给第二设备，第二设备根据第一位置和第二位置进行目标路径感知。

示例性的,第二设备根据Q矩阵进行目标路径感知时,可以根据第一位置和第二位置,选取Q矩阵中相应的列进行角度感知,沿子载波维度进行时延感知,沿样本维度进行多普勒频移感知。

例如,第二设备可以根据Q矩阵,采用下述方法一至方法四中的一种或多种进行目标
5 路径感知,得到目标路径的属性信息:

方法一、第二设备可以根据第一位置,选取Q矩阵中第一位置的元素所在的列,进行角度感知。

其中,第二设备可以选取任意一个子载波,沿样本维度取出每一个样本中该子载波对应的Q矩阵中第一位置的元素所在的列,构成一个维度为 $T \times S$ 的信号矩阵,其中,T表示发射天线的数量,或者也可以描述为第二设备的天线数目;S表示样本的数量。第二设备根据该信号矩阵可以采用参数估计算法进行角度感知,得到目标路径的AOD。
10

其中,参数估计算法可以为MUSIC算法等可以进行参数估计的算法。

例如,以第一位置为(1,1)为例,该第一位置的元素所在的列即第一列,第二设备可以选取任意一个子载波,沿样本维度取出每一个样本中该子载波对应的Q矩阵的第一列元素,构成一个维度为 $T \times S$ 的信号矩阵,进而实现角度感知。
15

方法二、第二设备可以根据第二位置,选取Q矩阵中第二位置的元素所在的列,进行角度感知。

其中,第二设备可以选取任意一个样本,沿子载波维度取出该样本中每一个子载波对应的Q矩阵中第二位置的元素所在的列,构成一个维度为 $T \times K$ 的信号矩阵,其中,T表示发射天线的数量,或者也可以描述为第二设备的天线数目;K表示子载波的数量。第二设备根据该信号矩阵可以采用参数估计算法进行角度感知,得到目标路径的AOD。
20

其中,参数估计算法可以为MUSIC算法等可以进行参数估计的算法。

例如,以第二位置为(1,1)为例,该第二位置的元素所在的列即第一列,第二设备可以选取任意一个样本,沿子载波维度取出该样本中每一个子载波对应的Q矩阵的第一列元素,构成一个维度为 $T \times K$ 的信号矩阵,进而实现角度感知。
25

方法三、第二设备可以根据第一位置,选取Q矩阵中第一位置的元素所在的列,沿样本维度进行多普勒频移感知。

其中,第二设备可以选取任意一个子载波,沿样本维度取出每一个样本中该子载波对应的Q矩阵中第一位置的元素所在的列,构成一个维度为 $S \times T$ 的信号矩阵,其中,S表示样本的数量;T表示发射天线的数量,或者也可以描述为第二设备的天线数目。第二设备根据该信号矩阵可以采用参数估计算法进行多普勒频移感知,得到目标路径的多普勒频移。
30

其中,参数估计算法可以为MUSIC算法等可以进行参数估计的算法。

例如,以第一位置为(1,1)为例,该第一位置的元素所在的列即第一列,第二设备可以选取任意一个子载波,沿样本维度取出每一个样本中该子载波对应的Q矩阵的第一列元素,构成一个维度为 $S \times T$ 的信号矩阵,进而实现多普勒频移感知。
35

方法四、第二设备可以根据第二位置,选取Q矩阵中第二位置的元素所在的列,沿子载波维度进行时延感知。

其中,第二设备可以选取任意一个样本,沿子载波维度取出该样本中每一个子载波对

应的 Q 矩阵中第二位置的元素所在的列，构成一个维度为 $K \times T$ 的信号矩阵，其中，K 表示子载波的数量；T 表示发射天线的数量，或者也可以描述为第二设备的天线数目。第二设备根据该信号矩阵可以采用参数估计算法进行时延感知，得到目标路径的时延。

其中，参数估计算法可以为 MUSIC 算法等可以进行参数估计的算法。

- 5 例如，以第二位置为 (1,1) 为例，该第二位置的元素所在的列即第一列，第二设备可以选取任意一个样本，沿子载波维度取出该样本中每一个子载波对应的 Q 矩阵的第一列元素，构成一个维度为 $K \times T$ 的信号矩阵，进而实现时延感知。

- 需要说明的是，时延信息和多普勒频移信息分别承载在多个子载波和多个样本上，为了保证正确保留时延信息和多普勒频移信息，第一设备对信道状态信息进行共轭转置和 QR 分解时，需使得 R 矩阵的前 L 行中，至少一行满足对应对角线上的元素在子载波维度上正负号一致，以及至少一行满足对应对角线上的元素在样本维度上正负号一致，这样，第二设备可以根据相应的 Q 矩阵获取时延信息和多普勒频移信息。

- 可以理解的是，为了保证正确保留时延信息，第一设备对信道状态信息进行共轭转置和 QR 分解时，需使得 R 矩阵的前 L 行中，至少一行满足对应对角线上的元素在子载波维度上正负号一致，这样，第二设备可以根据相应的 Q 矩阵获取时延信息。此时，第一设备分解得到的 R 矩阵的前 L 行中，可以满足“至少一行满足对应对角线上的元素在样本维度上正负号一致”，也可以不用满足“至少一行满足对应对角线上的元素在样本维度上正负号一致”。

- 为了保证正确保留多普勒频移信息，第一设备对信道状态信息进行共轭转置和 QR 分解时，需使得 R 矩阵的前 L 行中，至少一行满足对应对角线上的元素在样本维度上正负号一致，这样，第二设备可以根据相应的 Q 矩阵获取多普勒频移信息。此时，第一设备分解得到的 R 矩阵的前 L 行中，可以满足“至少一行满足对应对角线上的元素在子载波维度上正负号一致”，也可以不用满足“至少一行满足对应对角线上的元素在子载波维度上正负号一致”。

- 25 另外，基于上述步骤 805 中对角度感知的描述，可知，第二设备可以基于样本维度进行角度感知，也可以基于子载波维度进行角度感知。

可选的，第二设备还可以将 Q 矩阵作为预编码矩阵，对发送给第一设备的信号进行预编码，将预编码后的信号发送给第一设备。

- 基于图 8 所示的通信方法，第一设备可以对信道状态信息进行共轭转置和 QR 分解，得到 Q 矩阵和右上三角矩阵 R 矩阵，并向第二设备发送 Q 矩阵，第二设备根据该 Q 矩阵可以实现目标路径感知。由于 R 矩阵的前 L 行中，至少一行满足对应对角线上的元素在子载波维度上正负号一致，至少一行满足对应对角线上的元素在样本维度上正负号一致，相应的，满足该 R 矩阵的 QR 分解得到的 Q 矩阵可以用于指示目标路径的属性信息，即 Q 矩阵中可以保留目标路径的时延、AOD、多普勒频移等属性信息，第二设备根据该 Q 矩阵可以确定目标路径的属性信息，进而在满足信道矩阵对角化原则的基础上实现对目标路径的有效感知。

上述图 8 主要描述了第一设备进行信道测量并反馈 Q 矩阵，以及第二设备根据 Q 矩阵进行目标路径感知的过程，可选的，在第一设备进行信道测量之前，第一设备可以向第二设备发送第一指示信息。

其中，第一指示信息可以用于指示第一设备是否支持下述一种或多种反馈：基于子载波维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈、基于样本维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈。

其中，当第一设备支持基于子载波维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈时，第一设备对信道状态信息进行共轭转置和 QR 分解时，得到的 R 矩阵满足：R 矩阵的前 L 行中，至少一行满足对应对角线上的元素在子载波维度上正负号一致；第一设备向第二设备反馈 Q 矩阵时，向第二设备反馈压缩后的 Q 矩阵。

当第一设备支持基于样本维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈时，第一设备对信道状态信息进行共轭转置和 QR 分解时，得到的 R 矩阵满足：R 矩阵的前 L 行中，至少一行满足对应对角线上的元素在样本维度上正负号一致；第一设备向第二设备反馈 Q 矩阵时，向第二设备反馈压缩后的 Q 矩阵。

当第一设备支持基于子载波维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈，以及支持基于样本维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈时，第一设备对信道状态信息进行共轭转置和 QR 分解时，得到的 R 矩阵满足：R 矩阵的前 L 行中，至少一行满足对应对角线上的元素在子载波维度上正负号一致，至少一行满足对应对角线上的元素在样本维度上正负号一致；第一设备向第二设备反馈 Q 矩阵时，向第二设备反馈压缩后的 Q 矩阵。

下面以低频场景为例，对第一指示信息的帧结构进行描述。

其中，图 9 为低频通信的典型流程图，如图 9 所示，通信过程可以包括关联阶段、协商阶段、测量阶段和反馈阶段。在关联阶段中，第一设备与第二设备可以交互设备信息、基本能力等信息。在协商阶段中，第一设备与第二设备可以协商后续感知的参数，设定其测量带宽，周期，方向等等。在测量阶段中，第二设备可以向第一设备发送 NDPA、NDP，第一设备接收到 NDP 后可以进行信道测量。在反馈阶段中，第一设备可以向第二设备反馈压缩后的波束成形矩阵。

一种可能的设计中，第一设备将第一指示信息携带在感知能力字段在关联阶段发送给第二设备。

也即，在关联阶段中，第一设备可以向第二设备发送感知能力字段，该感知能力字段可以包括上述第一指示信息。

示例性的，第一设备可以通过将第一指示信息的比特值设置为不同的取值，以指示第一设备是否支持上述一种或多种反馈。例如，以第一指示信息为 1 比特为例，可以通过将该比特设置为 0 以指示第一设备支持上述一种或多种反馈，通过将该比特设置为 1 以指示第一设备不支持上述一种或多种反馈；或者，如下述表 6 所示，通过将该比特设置为 1 以指示第一设备支持上述一种或多种反馈，通过将该比特设置为 0 以指示第一设备不支持上述一种或多种反馈。

表 6 感知能力字段中的第一指示信息的比特位示例

比特	含义（或者称为：信息、描述等）
x	当该比特设置为 1 时，指示支持下述一种或多种反馈：基于子载波维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈、基于样本维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈；当该比特设置为 0 时，指示不支持下述一种或多种反馈：

	基于子载波维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈、 基于样本维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈
--	--

其中，第一指示信息可以占用一个比特，如上述表 6 所示的占用感知能力字段中的第 x 个比特，第一指示信息也可以占用多个比特，本申请不予限制。

可选的，第一设备可以将感知能力字段携带在关联请求帧或其他可以携带感知能力字段的相关帧中发送给第二设备，本申请实施例不予限制。

5 下面以高频场景为例，对第一指示信息的帧结构进行描述。

其中，图 10 为高频通信的典型流程图，如图 10 所示，通信过程可以包括关联阶段、协商阶段、测量阶段和反馈阶段。在关联阶段中，第一设备与第二设备可以交互设备信息、基本能力等信息。在协商阶段中，第一设备与第二设备可以协商后续感知的参数，设定其测量带宽，周期，方向等等。在测量阶段中，第二设备可以向第一设备发送 BRP，第一设备接收到 BRP 后可以进行信道测量。在反馈阶段中，第一设备可以向第二设备反馈压缩后的波束成形矩阵。

在关联阶段中，第一设备可以向第二设备发送 EDMG 感知能力字段，该 EDMG 感知能力字段可以包括上述第一指示信息。

示例性的，第一设备可以通过将第一指示信息的比特值设置为不同的取值，以指示第一设备是否支持上述一种或多种反馈。例如，以第一指示信息为 1 比特为例，可以通过将该比特设置为 0 以指示第一设备支持上述一种或多种反馈，通过将该比特设置为 1 以指示第一设备不支持上述一种或多种反馈；或者，如下述表 7 所示，通过将该比特设置为 1 以指示第一设备支持上述一种或多种反馈，通过将该比特设置为 0 以指示第一设备不支持上述一种或多种反馈。

20 表 7 EDMG 感知能力字段中的第一指示信息的比特位示例

比特	含义
x	当该比特设置为 1 时，指示支持下述一种或多种反馈： 基于子载波维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈、 基于样本维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈；当 该比特设置为 0 时，指示不支持下述一种或多种反馈： 基于子载波维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈、 基于样本维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈

其中，第一指示信息可以占用一个比特，如上述表 7 所示的占用 EDMG 感知能力字段中的第 x 个比特，第一指示信息也可以占用多个比特，本申请不予限制。

可选的，如图 11 所示，第一设备可以将第一指示信息携带在 EDMG 感知能力字段的
25 核心能力字段或者 EDMG 感知能力字段的可选子元素字段中发送给第二设备，本申请实施例不予限制。

当第一指示信息携带在 EDMG 感知能力字段的
核心能力字段中时，可以使用核心能力字段的预留比特指示第一指示信息。

当第一指示信息携带在 EDMG 感知能力字段的可选子元素字段中时，如下述表 8 所示，可以设计一个新的字段来携带所述第一指示信息，该新的字段示例性的命名为感知能力 (sensing capability) 的子元素 (subelement) 字段，该新的字段还可以有其他的命名，本
30

申请实施例不予限制。

表 8 可选子元素字段

子元素 ID	名称	可扩展
0	波束成形能力	是
1	天线极化能力	是
...		
4	MAC 能力	是
5	感知能力	是
6-255	预留	

可选的，在高频场景下，还可以设计一个新的字段，该字段可以承载感知相关的多种能力指示信息（如第一指示信息），该字段可以为能力元素字段（如感知能力字段（sensing capability element））。

可选的，第一设备向第二设备发送第一指示信息时，还可以向第二设备发送第七指示信息。

其中，第七指示信息可以用于指示第一设备是否支持基于奇异值分解（singular value decomposition, SVD）的压缩的波束成形矩阵的反馈。

当第一设备支持基于 SVD 分解的压缩的波束成形矩阵的反馈时，第一设备可以对子载波的信道矩阵的协方差矩阵进行特征值分解，得到特征向量矩阵和特征值矩阵，根据子载波的信道矩阵、特征向量矩阵、特征值矩阵确定波束成形矩阵，该波束成形矩阵可以用于指示目标路径的属性信息，第一设备可以向第二设备发送压缩后的波束成形矩阵。

对于 SVD 分解，为保证正确保留时延信息和多普勒信息，对于不同第一帧中的不同子载波所对应的信道矩阵进行 SVD 分解的情况下，计算特征向量矩阵中的列向量时，需要选取相同位置的元素作为参考项，例如：假设将特征向量矩阵中的第 1 个列向量中的第 a 个元素作为参考项，那么对于其它的列向量，也应该选取第 a 个作为参考项。并且还需要为这些参考项赋予相同的数值。例如：可以将特征向量矩阵中的所有列向量的第 1 个元素作为参考项，并将其赋值 1，进行特征向量矩阵中列向量的求解。

其中，为参考项赋予相同的数值也可以描述为：为参考项赋予相同的正负号。

下面以低频场景为例，对第一指示信息和第七指示信息的帧结构进行描述。

一种可能的设计中，第一设备将第一指示信息和第七指示信息携带在感知能力字段在关联阶段发送给第二设备。

示例性的，第一设备可以通过将第七指示信息的比特值设置为不同的取值，以指示第一设备是否支持基于 SVD 分解的压缩的波束成形矩阵的反馈。例如，以第七指示信息为 1 比特为例，可以通过将该比特设置为 0 以指示第一设备支持基于 SVD 分解的压缩的波束成形矩阵的反馈，通过将该比特设置为 1 以指示第一设备不支持基于 SVD 分解的压缩的波束成形矩阵的反馈；或者，如下述表 9 所示，通过将该比特设置为 1 以指示第一设备支持基于 SVD 分解的压缩的波束成形矩阵的反馈，通过将该比特设置为 0 以指示第一设备不支持基于 SVD 分解的压缩的波束成形矩阵的反馈。

表 9 感知能力字段中的第一指示信息和第七指示信息的比特位示例

比特	含义
x	当该比特设置为 1 时，指示支持下述一种或多种反馈： 基于子载波维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈、 基于样本维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈；当 该比特设置为 0 时，指示不支持下述一种或多种反馈： 基于子载波维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈、 基于样本维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈
x+1	当该比特设置为 1 时，指示支持基于 SVD 分解的压缩 的波束成形矩阵的反馈； 当该比特设置为 0 时，指示不支持基于 SVD 分解的压 缩的波束成形矩阵的反馈

其中，第一指示信息可以占用一个比特，如上述表 9 所示的占用感知能力字段中的第 x 个比特，第七指示信息可以占用一个比特，如上述表 9 所示的占用感知能力字段中的第 x+1 个比特。第一指示信息也可以占用多个比特，第七指示信息也可以占用多个比特，本申请不予限制。

可选的，第一设备可以将感知能力字段携带在关联请求帧或其他可以携带感知能力字段的相关帧中发送给第二设备，本申请不予限制。

下面以高频场景为例，对第一指示信息和第七指示信息的帧结构进行描述。

在关联阶段中，第一设备可以向第二设备发送 EDMG 感知能力字段，该 EDMG 感知能力字段可以包括上述第一指示信息和第七指示信息。

示例性的，第一设备可以通过将第七指示信息的比特值设置为不同的取值，以指示第一设备是否支持基于 SVD 分解的压缩的波束成形矩阵的反馈。例如，以第七指示信息为 1 比特为例，可以通过将该比特设置为 0 以指示第一设备支持基于 SVD 分解的压缩的波束成形矩阵的反馈，通过将该比特设置为 1 以指示第一设备不支持基于 SVD 分解的压缩的波束成形矩阵的反馈；或者，如下述表 10 所示，通过将该比特设置为 1 以指示第一设备支持基于 SVD 分解的压缩的波束成形矩阵的反馈，通过将该比特设置为 0 以指示第一设备不支持基于 SVD 分解的压缩的波束成形矩阵的反馈。

表 10 EDMG 感知能力字段中的第一指示信息和第七指示信息的比特位示例

比特	含义
x	当该比特设置为 1 时，指示支持下述一种或多种反馈： 基于子载波维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈、 基于样本维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈；当 该比特设置为 0 时，指示不支持下述一种或多种反馈： 基于子载波维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈、 基于样本维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈
x+1	当该比特设置为 1 时，指示支持基于 SVD 分解的压缩 的波束成形矩阵的反馈； 当该比特设置为 0 时，指示不支持基于 SVD 分解的压

缩的波束成形矩阵的反馈

- 其中，第一指示信息可以占用一个比特，如上述表 10 所示的占用 EDMG 感知能力字段中的第 x 个比特，第七指示信息可以占用一个比特，如上述表 10 所示的占用 EDMG 感知能力字段中的第 x+1 个比特。第一指示信息也可以占用多个比特，第七指示信息也可以占用多个比特，本申请不予限制。
- 5 可选的，如图 11 所示，第一设备可以将第一指示信息和第七指示信息携带在 EDMG 感知能力字段的核心能力字段或者 EDMG 感知能力字段的可选子元素字段中发送给第二设备，本申请不予限制。
- 当第一指示信息和第七指示信息携带在 EDMG 感知能力字段的核心能力字段中时，可以使用核心能力字段的预留比特指示第一指示信息。
- 10 当第一指示信息和第七指示信息携带在 EDMG 感知能力字段中时，如上述表 8 所示，可以在名为感知能力的子元素字段携带第一指示信息和第七指示信息。
- 可选的，在高频场景下，还可以设计一个字段可以承载感知相关的多种能力指示信息（如第一指示信息、第七指示信息），该字段可以为能力元素字段（如感知能力字段（sensing capability element））。
- 15 可选的，在第一设备进行信道测量之前，第一设备还可以向第二设备发送第八指示信息，其中，第八指示信息可以用于指示第一设备是否支持可实现感知的压缩的波束成形矩阵的反馈。
- 当第一设备支持可实现感知的压缩的波束成形矩阵的反馈时，第一设备可以采用上述图 8 所示的方法向第二设备反馈压缩后的波束成形矩阵，或者，第一设备可以基于上述 SVD
- 20 分解向第二设备反馈压缩后的波束成形矩阵。
- 下面以低频场景为例，对第八指示信息的帧结构进行描述。
- 一种可能的设计中，第一设备将第八指示信息携带在感知能力字段在关联阶段发送给第二设备。
- 在关联阶段中，第一设备可以向第二设备发送感知能力字段，该感知能力字段可以包括上述第八指示信息。
- 25 示例性的，第一设备可以通过将第八指示信息的比特值设置为不同的取值，以指示第一设备是否支持可实现感知的压缩的波束成形矩阵的反馈。例如，以第八指示信息为 1 比特为例，可以通过将该比特设置为 0 以指示第一设备支持可实现感知的压缩的波束成形矩阵的反馈，通过将该比特设置为 1 以指示第一设备不支持可实现感知的压缩的波束成形矩阵的反馈；或者，如下述表 11 所示，通过将该比特设置为 1 以指示第一设备支持可实现感知的压缩的波束成形矩阵的反馈，通过将该比特设置为 0 以指示第一设备不支持可实现感知的压缩的波束成形矩阵的反馈。
- 30

表 11 感知能力字段中的第八指示信息的比特位示例

比特	含义
x	当该比特设置为 1 时，指示支持可实现感知的压缩的波束成形矩阵的反馈； 当该比特设置为 0 时，指示不支持可实现感知的压缩的波束成形矩阵的反馈

其中，第八指示信息可以占用一个比特，如上述表 11 所示的占用感知能力字段中的第 x 个比特，第八指示信息也可以占用多个比特，本申请不予限制。

可选的，第一设备可以将感知能力字段携带在关联请求帧或其他可以携带感知能力字段的相关帧中发送给第二设备，本申请不予限制。

5 下面以高频场景为例，对第八指示信息的帧结构进行描述。

在关联阶段中，第一设备可以向第二设备发送 EDMG 感知能力字段，该 EDMG 感知能力字段可以包括上述第八指示信息。

10 示例性的，第一设备可以通过将第八指示信息的比特值设置为不同的取值，以指示第一设备是否支持可实现感知的压缩的波束成形矩阵的反馈。例如，以第八指示信息为 1 比特为例，可以通过将该比特设置为 0 以指示第一设备支持可实现感知的压缩的波束成形矩阵的反馈，通过将该比特设置为 1 以指示第一设备不支持可实现感知的压缩的波束成形矩阵的反馈；或者，如下述表 12 所示，通过将该比特设置为 1 以指示第一设备支持可实现感知的压缩的波束成形矩阵的反馈，通过将该比特设置为 0 以指示第一设备不支持可实现感知的压缩的波束成形矩阵的反馈。

15 表 12 EDMG 感知能力字段中的第八指示信息的比特位示例

比特	含义
x	当该比特设置为 1 时，指示支持可实现感知的压缩的波束成形矩阵的反馈； 当该比特设置为 0 时，指示不支持可实现感知的压缩的波束成形矩阵的反馈

其中，第八指示信息可以占用一个比特，如上述表 12 所示的占用 EDMG 感知能力字段中的第 x 个比特，第八指示信息也可以占用多个比特，本申请不予限制。

20 可选的，如图 11 所示，第一设备可以将第八指示信息携带在 EDMG 感知能力字段的感知能力字段或者 EDMG 感知能力字段的可选子元素字段中发送给第二设备，本申请不予限制。

当将第八指示信息携带在 EDMG 感知能力字段的感知能力字段中时，可以使用感知能力字段的预留比特指示第八指示信息。

当将第八指示信息携带在 EDMG 感知能力字段的可选子元素字段中时，可以在名为感知能力的子元素字段中携带第八指示信息。

25 可选的，在高频场景下，还可以设计一个字段承载感知相关的多种能力指示信息（如第八指示信息），该字段可以是能力元素字段（如感知能力字段（sensing capability element））。

可选的，第二设备可以向第一设备发送第二指示信息。

30 其中，第二指示信息可以用于指示第二设备是否支持下述一种或多种反馈：基于子载波维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈、基于样本维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈。

需要说明的是，对上述一种或多种反馈的描述可以参照上述第一指示信息中对一种或多种反馈的描述，在此不予赘述。

第二设备可以在关联阶段向第一设备发送第二指示信息，当第二设备进行信道测量并向第一设备反馈信道状态信息时，若第二设备支持上述一种或多种反馈，第二设备可以参

照上述图 8 中第一设备执行的动作进行信道测量，并向第一设备反馈压缩后的波束成形矩阵；第一设备可以参照上述图 8 中第二设备执行的动作进行目标路径感知。

下面以低频场景为例，对第二指示信息的帧结构进行描述。

一种可能的设计中，第二设备将第二指示信息携带在感知能力字段在关联阶段发送给第一设备。

其中，对第二指示信息携带在感知能力字段的描述可以参照上述对第一指示信息携带在感知能力字段的描述，在此不予赘述。

可选的，第二设备可以将感知能力字段携带在关联响应帧或信标帧或其他可以携带感知能力字段的相关帧中发送给第一设备，本申请不予限制。

下面以高频场景为例，对第二指示信息的帧结构进行描述。

在关联阶段中，第二设备可以向第一设备发送 EDMG 感知能力字段，该 EDMG 感知能力字段可以包括上述第二指示信息。

其中，对 EDMG 感知能力字段包括第二指示信息的描述可以参照上述对 EDMG 感知能力字段包括第一指示信息的相关描述，在此不予赘述。

可选的，如图 11 所示，第二设备可以将第二指示信息携带在 EDMG 感知能力字段的核心能力字段或者 EDMG 感知能力字段的可选子元素字段中发送给第一设备，本申请不予限制。

当将第二指示信息携带在 EDMG 感知能力字段的核心能力字段中时，可以使用核心能力字段的预留比特指示第二指示信息。

当将第二指示信息携带在 EDMG 感知能力字段的可选子元素字段中时，如上述表 8 所示，可以在名为感知能力的子元素字段中携带第二指示信息。

可选的，在高频场景下，还可以设计一个字段承载感知相关的多种能力指示信息（如第二指示信息），该字段可以是能力元素字段（如感知能力字段（sensing capability element））。

可选的，第二设备向第一设备发送第二指示信息时，还可以向第一设备发送第九指示信息。

其中，第九指示信息可以用于指示第二设备是否支持基于 SVD 分解的压缩的波束成形矩阵的反馈。

其中，对基于 SVD 分解的压缩的波束成形矩阵的反馈的描述可以参照上述第七指示信息中对基于 SVD 分解的压缩的波束成形矩阵的反馈的描述，在此不予赘述。

下面以低频场景为例，对第二指示信息和第九指示信息的帧结构进行描述。

一种可能的设计中，第二设备将第二指示信息和第九指示信息携带在感知能力字段在关联阶段发送给第二设备。

其中，对将第二指示信息和第九指示信息携带在感知能力字段的描述可以参照上述对第一指示信息和第七指示信息携带在感知能力字段的描述，在此不予赘述。

可选的，第二设备可以将感知能力字段携带在关联响应帧或信标帧或其他可以携带感知能力字段的相关帧中发送给第一设备，本申请不予限制。

下面以高频场景为例，对第二指示信息和第九指示信息的帧结构进行描述。

在关联阶段中，第二设备可以向第一设备发送 EDMG 感知能力字段，该 EDMG 感知能力字段可以包括上述第二指示信息和第九指示信息。

其中，对 EDMG 感知能力字段包括第二指示信息和第九指示信息的描述可以参照上述对 EDMG 感知能力字段包括第一指示信息和第七指示信息的描述，在此不予赘述。

可选的，如图 11 所示，第二设备可以将第二指示信息和第九指示信息携带在 EDMG 感知能力字段的核心能力字段或者 EDMG 感知能力字段的可选子元素字段中发送给第一设备，本申请不予限制。

当将第二指示信息和第九指示信息携带在 EDMG 感知能力字段的核心能力字段中时, 可以使用核心能力字段的预留比特指示第二指示信息。

当将第二指示信息和第九指示信息携带在 EDMG 感知能力字段中时, 如上述表 8 所示, 可以在名为感知能力的子元素字段携带第二指示信息和第九指示信息。

10 可选的，在高频场景下，还可以设计一个字段承载感知相关的多种能力指示信息（如第二指示信息、第九指示信息），该字段可以是能力元素字段（如感知能力字段（sensing capability element））。

可选的，第二设备还可以向第一设备发送第十指示信息，其中，第十指示信息可以用于指示第二设备是否支持可实现感知的压缩的波束成形矩阵的反馈。

15 其中，对第二设备是否支持可实现感知的压缩的波束成形矩阵的反馈可以参照上述第八指示信息中对第一设备是否支持可实现感知的压缩的波束成形矩阵的反馈的描述，在此不予赘述。

下面以低频场景为例，对第十指示信息的帧结构进行描述。

一种可能的设计中，第二设备将第十指示信息携带在感知能力字段在关联阶段发送给第一设备。

其中，对将第十指示信息携带在感知能力字段的描述可以参照上述将第八指示信息携带在感知能力字段的描述，在此不再赘述。

可选的，第二设备可以将感知能力字段携带在关联响应帧或信标帧或其他可以携带感知能力字段的相关帧中发送给第一设备，在此不再赘述。

25 下面以高频场景为例，对第十指示信息的帧结构进行描述。

在关联阶段中，第二设备可以向第一设备发送 EDMG 感知能力字段，该 EDMG 感知能力字段可以包括上述第十指示信息。

其中，对 EDMG 感知能力字段包括第十指示信息的描述可以参照上述对 EDMG 感知能力字段包括第八指示信息的描述，在此不再赘述。

30 可选的,如图 11 所示,第二设备可以将第十指示信息携带在 EDMG 感知能力字段的核心能力字段或者 EDMG 感知能力字段的可选子元素字段中发送给第一设备,本申请不予限制。

当将第十指示信息携带在 EDMG 感知能力字段的核心能力字段中时，可以使用核心能力字段的预留比特指示第十指示信息。

35 当将第十指示信息携带在 EDMG 感知能力字段的可选子元素字段中时，可以在名为感知能力的子元素字段中携带第十指示信息。

可选的，在高频场景下，还可以设计一个字段，该字段可以承载感知相关的多种能力指示信息（如第十指示信息）。示例性的，该字段可以为能力元素字段（如感知能力字段（sensing capability element））。

可选的，第一设备进行信道测量之前，第二设备可以向第一设备发送感知请求帧。

其中，感知请求帧可以包括反馈类型指示，反馈类型指示可以用于指示反馈可实现感知的信道状态信息。

其中，当反馈类型指示用于指示反馈可实现感知的信道状态信息时，第一设备可以采用上述图 8 所述的方法向第二设备反馈压缩后的波束成形矩阵，第二设备根据接收到的压缩后的波束成形矩阵可以进行感知。

下面以低频场景为例，对感知请求帧的帧结构进行描述。高频场景中感知请求帧的帧结构与低频场景中类似，在此不予赘述。

其中，第二设备可以在协商阶段向第一设备发送感知请求帧，该感知请求帧可以包括反馈类型指示字段，该反馈类型指示字段也可以描述为感知反馈类型子字段，如表 13 所示，可以通过将感知反馈类型子字段设置为 00，以指示反馈可实现感知的信道状态信息；也可以通过将感知反馈类型子字段设置为 01-11 中的一种，以指示其他反馈类型。

表 13 感知反馈类型子字段

比特	含义
00	反馈可实现感知的压缩的波束成形矩阵
01-11	其他 WLAN sensing 中的反馈类型

上述表 13 仅为示例性描述，本申请实施例对感知反馈类型子字段占用的比特的具体取值以及占用的比特数并不做限定。例如，也可以将感知反馈类型子字段设置为 01，以指示反馈可实现感知的信道状态信息；也可以通过将感知反馈类型子字段设置为 00、10、11 中的一种，以指示其他反馈类型。或者，也可以将感知反馈类型子字段设置为 10，以指示反馈可实现感知的信道状态信息；也可以通过将感知反馈类型子字段设置为 00、01、11 中的一种，以指示其他反馈类型等，本申请不予限制。

需要说明的是，感知请求帧也可以描述为测量建立请求（measurement setup request）帧，或者描述为感知建立请求（sensing setup request）帧，本申请不予限制。

可选的，第一设备在进行信道测量之前，第一设备可以向第二设备发送感知响应帧。

其中，感知响应帧可以包括反馈类型指示，反馈类型指示可以用于指示反馈可实现感知的信道状态信息。

其中，当反馈类型指示用于指示反馈可实现感知的信道状态信息时，第一设备可以采用上述图 8 所述的方法向第二设备反馈压缩后的波束成形矩阵，第二设备根据接收到的压缩后的波束成形矩阵可以进行感知。

下面以低频场景为例，对感知响应帧的帧结构进行描述。高频场景中感知响应帧的帧结构与低频场景中类似，在此不予赘述。

其中，第一设备可以在协商阶段向第二设备发送感知响应帧，该感知响应帧可以包括如上述表 13 所示的反馈类型指示字段，反馈类型指示字段也可以描述为感知反馈类型子字段，如表 13 所示，可以通过将反馈类型指示字段设置为 00，以指示反馈用于可实现感知的信道状态信息；也可以通过将反馈类型指示字段设置为 01-11 中的一种，以指示其他反馈类型。

上述表 13 仅为示例性描述，本申请实施例对感知反馈类型子字段占用的比特的具体取值以及占用的比特数并不做限定。例如，也可以将感知反馈类型子字段设置为 01，以指

示反馈可实现感知的信道状态信息；也可以通过将感知反馈类型子字段设置为 00、10、11 中的一种，以指示其他反馈类型。或者，也可以将感知反馈类型子字段设置为 10，以指示反馈可实现感知的信道状态信息；也可以通过将感知反馈类型子字段设置为 00、01、11 中的一种，以指示其他反馈类型等，本申请不予限制。

5 需要说明的是，感知响应帧也可以描述为测量建立响应（measurement setup response）帧，或者描述为感知建立响应（sensing setup response）帧，本申请不予限制。

 可选的，第一设备在进行信道测量之前，第二设备可以向第一设备发送第三指示信息。

 其中，第三指示信息可以用于指示采用下述一种或多种反馈：基于子载波维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈、基于样本维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈。

10 当第三指示信息用于指示采用基于子载波维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈时，第一设备对信道状态信息进行共轭转置和 QR 分解时，得到的 R 矩阵满足：R 矩阵的前 L 行中，至少一行满足对应对角线上的元素在子载波维度上正负号一致；第一设备向第二设备反馈 Q 矩阵时，向第二设备反馈压缩后的 Q 矩阵。

 当第三指示信息用于指示采用基于样本维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈时，
15 第一设备对信道状态信息进行共轭转置和 QR 分解时，得到的 R 矩阵满足：R 矩阵的前 L 行中，至少一行满足对应对角线上的元素在样本维度上正负号一致；第一设备向第二设备反馈 Q 矩阵时，向第二设备反馈压缩后的 Q 矩阵。

 当第三指示信息用于指示采用基于子载波维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈，以及采用基于样本维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈时，第一设备对信道状态信息进行共轭转置和 QR 分解时，得到的 R 矩阵满足：R 矩阵的前 L 行中，至少一行满足对应对角线上的元素在子载波维度上正负号一致，至少一行满足对应对角线上的元素在样本维度上正负号一致；第一设备向第二设备反馈 Q 矩阵时，向第二设备反馈压缩后的 Q 矩阵。

 下面以低频场景为例，对第三指示信息的帧结构进行描述。

 一种可能的设计中，第三指示信息位于感知 NDPA 中。

25 其中，第二设备可以在测量阶段向第一设备发送如图 12 所示的 NDPA，该 NDPA 可以包括 MAC 头（MAC Header）、探测对话令牌字段、站点信息字段、帧校验序列字段，MAC 头可以包括帧控制字段、持续时间字段、接收端地址字段、发射端地址字段。

 第二设备可以通过对帧控制字段、或者探测对话令牌字段、或者站点信息字段进行调整，使该 NDPA 成为感知 NDPA。

30 当第二设备对帧控制字段进行调整，使 NDPA 成为感知 NDPA 时，如图 13 所示，第二设备可以在帧控制字段通过调整类型字段和子类型字段的取值指示一个新的类型，以指示该 NDPA 为感知 NDPA。

 示例性的，如表 14 所示，可以通过将类型字段设置为 01，将子类型字段设置为 0010 或其他值以指示该 NDPA 为新的 NDPA（该新的 NDPA 可以为感知 NDPA）；可以通过将
35 类型字段设置为 01，将子类型字段设置为 0101 以指示该 NDPA 为 VHT NDPA。

表 14

类型字段	含义	子类型字段	含义
01	控制帧	0101	VHT NDPA
01	控制帧	0010 或其他值	新的 NDPA

			该帧中可以包含一个 NDPA 变种 (variation) 字段。其中一个变种为感知 NDPA，该感知 NDPA 中的相关字段 (感知反馈类型子字段) 可以用来指示第三指示信息。
--	--	--	---

当第二设备对探测对话令牌字段进行调整，使 NDPA 成为感知 NDPA 时，如下述表 15 所示，第二设备可以将探测对话令牌字段的前两个比特与其他方式结合，以指示该 NDPA 为新的 NDPA，通过在新的 NDPA 添加一个字段 (如 4bit) 进行 NDPA 类型的划分，以指示该 NDPA 为感知 NDPA。

- 5
- 可选的，该感知 NDPA 中可以包含一个公共信息字段 (common info field) 和/或多个用户信息字段 (user info field)。表 13 所示的感知反馈类型子字段可以包含在公共信息字段或对应的用户信息字段中。例如，如果多个第一设备的反馈类型相同时，感知反馈类型子字段可以包含在第二设备发送的感知 NPDA 中的公共信息字段中；如果多个第一设备的反馈类型不不同时，各个第一设备对应的感知反馈类型子字段可以包含在第二设备发送的感知 NPDA 中的各个与第一设备一一对应的用户信息字段中。
- 10

表 15

字段名称	含义
探测对话令牌字段	前两个比特的含义： 00 表示 VHT NDPA 01 表示 HE NDPA 10 表示 Ranging NDPA 11 表示 EHT NDPA 本申请实施例中，可以通过将该字段设置为 00，此时所有设备会识别该 NDPA 为结果 VHT NDPA (VHT NDPA 的站点信息字段长度为 2byte)。再通过对每个 2byte (16bit) 中对应的 B11 位置添加消歧比特，来完成对于新的 NDPA 类型的指示。 另外的，可以在新的 NDPA 中添加一个字段 (如 4bit) 进行 NDPA 类型的划分，当选择其中一个新的扩展类型的 NDPA 为感知 NDPA 时，可以利用其中的感知反馈类型子字段携带第三指示信息。

可选的，该感知 NDPA 中可以包含一个公共信息字段 (common info field) 和/或多个用户信息字段 (user info field)。表 13 所示的感知反馈类型子字段可以包含在公共信息字段或对应的用户信息字段中。例如，如果多个第一设备的反馈类型相同时，感知反

馈类型子字段可以包含在第二设备发送的感知 NPDA 中的公共信息字段中；如果多个第一设备的反馈类型不相同，各个第一设备对应的感知反馈类型子字段可以包含在第二设备发送的感知 NPDA 中的各个与第一设备一一对应的用户信息字段中。

当第二设备对站点信息字段进行调整，使 NDPA 成为感知 NDPA 时，如下述表 16 所示，第二设备可以通过图 14 所示的站点信息中的特殊 AID（special AID）来指示该 NDPA 为感知 NDPA。

表 16

字段名称	含义
站点信息 1	一种方式中，可以在站点信息 1 中，通过 special AID（如 AID=2045，或者其他 AID，特殊 AID 的取值范围为 [2008, 2047]）表示该 NDPA 为对应版本下（HE/Ranging/EHT）的感知 NDPA，该感知 NDPA 的相关比特位可以用以携带第三指示信息。 另一种方式中，探测对话令牌字段的前两个比特，可以为 01(HE NDPA)/10(Ranging NDPA)/11(EHT NDPA)，通过 special AID（取值范围同上）指示一个通用的 NDPA，在该通用 NDPA 下添加一个字段（如，NDPA 变种，4bits）区分 NDPA 的类型。该通用 NDPA 下的一种 NDPA 为感知 NDPA。此时，该感知 NDPA 中的感知反馈类型子字段可以携带第三指示信息。

可选的，第三指示信息位于感知 NDPA 的用户信息字段中的感知反馈类型子字段。

需要说明的是，如果第二设备指示多个第一设备采用不同的反馈类型，则各个第一设备的第三指示信息可以位于各个第一设备对应的用户信息字段（user info field）之中；如果指示多个第一设备采用相同的反馈类型，则第三指示信息可以出现在一个以 special AID 开头的用户信息字段中，此时该用户信息字段可以作为一个公共信息字段使用，即所有的第一设备均根据该公共信息字段中的第三指示信息进行反馈。

又一种可能的设计，第三指示信息位于感知触发帧中。

其中，第二设备可以在反馈阶段向第一设备发送如图 15 所示的触发帧，该触发帧可以包括 MAC 头（MAC Header）、公共信息字段、站点信息字段、填充字段、帧校验序列字段，MAC 头可以包括帧控制字段、持续时间字段、接收端地址字段、发射端地址字段。

第二设备可以通过对公共信息字段进行调整，使该触发帧成为感知触发帧。

示例性的，如下述表 17 所示，第二设备可以在公共信息字段中的触发类型中新增一种类型，如通过将触发类型字段取值设置为 8，以指示感知波束形成报告轮询，来指示该触发帧为感知触发帧；或者，也可以直接复用已经存在的波束形成报告轮询来指示该触发帧为感知触发帧。

例如，以图 16 所示的 HE 公共信息字段和图 17 所示的 EHT 公共信息字段为例，可以通过在触发类型中新增一种类型，以指示该触发帧为感知触发帧。

表 17

触发类型字段取值	触发帧含义
----------	-------

0	Basic/基本
1	Beamforming report poll/波束形成报告轮询
...	...
7	NDP feedback report poll/空数据包反馈报告轮询
8	Sensing beamforming report poll/感知波束形成报告轮询
9-15	预留

可选的，第三指示信息可以位于感知触发帧的公共信息字段或感知触发帧的用户信息字段，本申请不予限制。

需要说明的是，如果第二设备指示多个第一设备采用不同的反馈类型，则各个第一设备的第三指示信息可以位于感知触发帧中各个第一设备对应的用户信息字段（user info field）之中；如果指示多个第一设备采用相同的反馈类型，则第三指示信息可以出现在感知触发帧的公共信息字段，即所有的第一设备均根据该公共信息字段中的第三指示信息进行反馈。

下面以高频场景为例，对第三指示信息的帧结构进行描述。

一种可能的设计中，第三指示信息位于 BRP 中。

其中，第二设备可以在反馈阶段向第一设备发送 BRP，该 BRP 可以包括 BRP 请求字段和 BRP 请求元素字段。BRP 请求字段是 802.11ad 中设计的，BRP 请求元素字段是 802.11ay 中新增加的字段，用来承载额外的 BRP 相关信息。如图 18 所示，BRP 请求元素字段可以包括元素 ID 字段、长度字段、元素 ID 扩展字段、数字波束成形请求字段、反馈类型字段、列索引字段、预留字段。

可选的，第三指示信息位于 BRP 的预留字段。

示例性的，当反馈类型字段为 1 时，代表 MU 场景，且此时 ay 为 OFDM 的 PHY。在反馈类型字段为 1 的情况下，如下述表 18 所示，使用一个预留比特（B91-B95 中任何一个）表示第三指示信息。

表 18

B91-B95 中任何一个比特	含义
1	第三指示信息
0	其他

需要说明的是，当 WLAN sensing 在高频中存在新的用来进行感知信息指示的帧，第三指示信息也可以位于该新的帧中，本申请实施例不予限制。

基于上述对第一指示信息至第十指示信息，以及对感知请求帧和感知响应帧的描述，上述各个指示信息以及感知请求帧和感知响应帧可以独立使用，也可以结合使用，本申请不予限制。

与上述图 8 至图 17 所示的方法中第一设备进行 QR 分解时需要满足子载波维度一致性、或者满足样本维度一致性不同，如图 19 所示，第一设备进行 QR 分解时，也可以不用满足子载波维度一致性和样本维度一致性。

图 19 为本申请实施例提供的一种通信方法的流程图，如图 19 所示，该方法可以包括：

步骤 1901、第二设备向第一设备发送第一帧。相应的，第一设备接收来自第二设备的第一帧。

其中，对步骤 1901 的描述可以参照上述对步骤 801 的描述，在此不予赘述。

步骤 1902、第一设备根据第一帧，确定信道状态信息。

其中，对步骤 1902 的描述可以参照上述对步骤 802 的描述，在此不予赘述。

步骤 1903、第一设备对信道状态信息进行共轭转置和 QR 分解，得到右上三角矩阵 R
5 矩阵和 Q 矩阵。

其中，由于信道状态信息可以包括承载第一帧的各个子载波的信道矩阵，第一设备可以从信道状态信息中去除 CSD，抽取部分或全部子载波的信道矩阵，对抽取出的子载波的信道矩阵采用上述方案二进行共轭转置和 QR 分解，得到每个子载波对应的 R 矩阵和 Q 矩阵。Q 矩阵也可以描述为子载波对应的波束成形矩阵。

10 步骤 1904、第一设备向第二设备发送 Q 矩阵和第一信息。相应的，第二设备接收 Q 矩阵和第一信息。

其中，第一信息可以包括下述一种或多种：第一参考元素的正负号、第二参考元素的正负号。第一参考元素为 R 矩阵的对角线上前 L 个元素中的任一元素，第二参考元素为 R 矩阵的对角线上前 L 个元素中的任一元素，第一参考元素的正负号用于指示基于子载波维
15 度对 Q 矩阵进行旋转，第二参考元素的正负号用于指示基于样本维度对 Q 矩阵进行旋转，L 为第一设备和第二设备之间的目标路径数，样本为沿时间维度进行多次信道测量得到的多个信道状态信息，样本维度为多个信道状态信息对应的样本维度。

其中，参考元素的正负号可以用于指示 Q 矩阵中对应列向量的正负号。当参考元素的正负号为正时，Q 矩阵中对应的列向量的正负号为正，当参考元素的正负号为负时，Q 矩阵中对应的列向量的正负号为负。
20

示例性的，以第一设备和第二设备之间的目标路径的数量 L 为 2，信道测量过程中采样得到的样本包括样本 1、样本 2、样本 3、样本 4，承载第一帧的子载波的数量为 256 为例，第一设备可以对每个样本的信道状态信息进行共轭转置和 QR 分解，假设第一设备抽取的子载波为子载波 1、子载波 2、...、子载波 64，则第一设备可以向第二设备发送每个
25 样本对应的 64 个子载波的 Q 矩阵、每个 Q 矩阵对应的第一参考元素的正负号和/或每个 Q 矩阵对应的第二参考元素的正负号。

需要说明的是，第一参考元素与第二参考元素可以是同一个元素，本申请实施例不予限制。

可选的，第一设备可以根据第三位置和第四位置确定第一参考元素和第二参考元素；
30 其中，第三位置为第一参考元素在 R 矩阵中的位置，第四位置为第二参考元素在 R 矩阵中的位置。

其中，第三位置和第四位置可以是第二设备确定并发送给第一设备的，也可以是协议预定义的，也可以是第一设备自定义的，本申请不予限制。

需要说明的是，当第三位置和第四位置是第一设备自定义时，第一设备可以将第三位置的信息和第四位置的信息发送给第二设备，第二设备根据第三位置和第四位置进行目标
35 路径感知。

步骤 1905、第二设备根据第一信息对 Q 矩阵进行旋转，得到旋转后的 Q 矩阵。

其中，对 Q 矩阵进行旋转可以理解为对 Q 矩阵中列向量的正负号进行旋转，即对 Q 矩阵进行旋转可以理解为对 Q 矩阵的列向量乘以正 1，使该列向量的正负号保持不变，或

者也可以理解对 Q 矩阵的列向量乘以负 1, 使该列向量的正负号由正号变为负号, 或者由负号变为正号。

其中, 第二设备根据第一信息对 Q 矩阵进行旋转时, 旋转后的 Q 矩阵的前 L 列中, 第一参考元素对应的列向量满足在子载波维度上正负号一致, 和/或, 第二参考元素对应的列向量满足在样本维度上正负号一致。

旋转后的 Q 矩阵可以用于指示目标路径的属性信息, 目标路径的属性信息可以包括下述一种或多种: 目标路径的时延、目标路径的 AOD、目标路径的多普勒频移。

具体的, 当第一信息包括第一参考元素的正负号时, 第二设备可以根据第一参考元素的正负号, 基于子载波维度对 Q 矩阵进行旋转, 得到旋转后的 Q 矩阵; 其中, 旋转后的 Q 矩阵的前 L 列中, 第一参考元素对应的列向量满足在子载波维度上正负号一致。当第一信息包括第二参考元素的正负号时, 第二设备可以根据第二参考元素的正负号, 基于样本维度对 Q 矩阵进行旋转, 得到旋转后的 Q 矩阵; 其中, 旋转后的 Q 矩阵的前 L 列中, 第二参考元素对应的列向量在样本维度上正负号一致。

示例性的, 以第一设备和第二设备之间的目标路径的数量 L 为 2, 信道测量过程中采样得到的样本包括样本 1、样本 2、样本 3、样本 4, 承载第一帧的子载波的数量为 256 为例, 第一设备可以对每个样本的信道状态信息进行共轭转置和 QR 分解, 假设第一设备抽取的子载波为子载波 1、子载波 2、...、子载波 64, 则第一设备可以向第二设备发送每个样本对应的 64 个子载波的 Q 矩阵、每个 Q 矩阵对应的第一参考元素的正负号、每个 Q 矩阵对应的第二参考元素的正负号。

第二设备可以根据每个 Q 矩阵对应的第一参考元素的正负号基于子载波维度对 Q 矩阵进行旋转, 得到每个样本对应的 64 个子载波的旋转后的 Q 矩阵, 假设第一参考元素对应的第三位置为 (1,1), 则对于每个子载波而言, 4 个样本对应的 4 个旋转后的 Q 矩阵的前 2 列中, 第一个列向量在当前子载波上正负号一致。第二设备可以根据每个 Q 矩阵对应的第二参考元素的正负号基于样本维度对接收到的 Q 矩阵进行旋转, 得到每个样本对应的 64 个子载波的旋转后的 Q 矩阵, 假设第二参考元素对应的第四位置为 (2,2), 则对于每个样本而言, 64 个子载波对应的 64 个旋转后的 Q 矩阵的前 2 列中, 第二个列向量在当前样本上正负号一致。

例如, 以子载波 1 为例, 假设 4 个样本对应的 4 个旋转后的 Q 矩阵的前 2 列中, 第一个列向量在子载波 1 上正负号一致, 即表示: 样本 1 中子载波 1 对应的旋转后的 Q 矩阵的第一个列向量的正负号、与样本 2 中子载波 1 对应的旋转后的 Q 矩阵的第一个列向量的正负号、与样本 3 中子载波 1 对应的旋转后的 Q 矩阵的第一个列向量的正负号、与样本 4 中子载波 1 对应的旋转后的 Q 矩阵的第一个列向量的正负号一致, 均为正号, 或者均为负号。

又例如, 以样本 1 为例, 假设 64 个子载波对应的 64 个旋转后的 Q 矩阵的前 2 列中, 第二个列向量在样本 1 上正负号一致, 即表示: 样本 1 中子载波 1 对应的旋转后的 Q 矩阵的第二个列向量的正负号、与样本 1 中子载波 2 对应的旋转后的 Q 矩阵的第二个列向量的正负号、...、与样本 1 中子载波 64 对应的旋转后的 Q 矩阵的第二个列向量的正负号一致, 均为正号, 或者均为负号。

可选的, 旋转后的 Q 矩阵的前 L 列中, 第一参考元素对应的列向量满足在子载波维度上正负号一致, 和/或, 第二参考元素对应的列向量满足在样本维度上正负号一致, 也可以

描述为：旋转后的 Q 矩阵的前 L 列中，第一参考元素对应的列向量满足对应的第一参考元素在子载波维度上正负号一致，和/或，第二参考元素对应的列向量满足对应的第二参考元素在样本维度上正负号一致。

其中，第二设备根据第一参考元素的正负号对 Q 矩阵进行旋转时，可以根据第一参考元素的正负号对 Q 矩阵进行旋转，也可以根据第一参考元素的正负号对第一参考元素进行旋转。第二设备根据第二参考元素的正负号对 Q 矩阵进行旋转时，可以根据第二参考元素的正负号对 Q 矩阵进行旋转，也可以根据第二参考元素的正负号对第二参考元素进行旋转。

对参考元素进行旋转可以理解是对参考元素的正负号进行旋转，即对参考元素进行旋转可以理解是对参考元素乘以正 1，使该参考元素的正负号保持不变，或者也可以理解对参考元素乘以负 1，使该参考元素的正负号由正号变为负号，或者由负号变为正号。

需要说明的是，上述第一参考元素对应的列向量满足对应的第一参考元素在子载波维度上正负号一致中，该正负号一致指的是该列向量对应的第一参考元素在旋转后，该旋转后的第一参考元素的正负号一致。上述第二参考元素对应的列向量满足对应的第二参考元素在子载波维度上正负号一致中，该正负号一致指的是列向量对应的第二参考元素在旋转后，该旋转后的第二参考元素的正负号一致。

其中，第二设备可以根据正负号为负号的第一参考元素对该第一参考元素对应的 Q 矩阵和第一参考元素进行旋转，以使旋转后的 Q 矩阵的前 L 列中，第一参考元素对应的列向量满足对应的第一参考元素在子载波维度上均为正号，此时，第二设备可以不用根据正负号为正号的第一参考元素对该第一参考元素对应的 Q 矩阵和第一参考元素进行旋转，即对于正负号为正号的第一参考元素对应的 Q 矩阵，该 Q 矩阵与该 Q 矩阵对应的旋转后的 Q 矩阵相同。

或者，第二设备可以根据正负号为正号的第一参考元素对该第一参考元素对应的 Q 矩阵和第一参考元素进行旋转，以使旋转后的 Q 矩阵的前 L 列中，第一参考元素对应的列向量满足对应的第一参考元素在子载波维度上均为负号，此时，第二设备可以不用根据正负号为负号的第一参考元素对该第一参考元素对应的 Q 矩阵和第一参考元素进行旋转，即对于正负号为负号的第一参考元素对应的 Q 矩阵，该 Q 矩阵与该 Q 矩阵对应的旋转后的 Q 矩阵相同。

类似的，对第二设备根据第二参考元素对接收到的各个 Q 矩阵进行旋转的描述可以参照上述对第二设备根据第一参考元素对接收到的各个 Q 矩阵进行旋转的描述，在此不予赘述。

示例性的，以第一设备和第二设备之间的目标路径的数量 L 为 2，信道测量过程中采样得到的样本包括样本 1、样本 2、样本 3、样本 4，承载第一帧的子载波的数量为 256 为例，第一设备可以对每个样本的信道状态信息进行共轭转置和 QR 分解，假设第一设备抽取的子载波为子载波 1、子载波 2、...、子载波 64，则第一设备可以向第二设备发送每个样本对应的 64 个子载波的 Q 矩阵、每个 Q 矩阵对应的第一参考元素的正负号、每个 Q 矩阵对应的第二参考元素的正负号。

第二设备可以根据每个 Q 矩阵对应的第一参考元素的正负号基于子载波维度对 Q 矩阵和第一参考元素进行旋转，得到每个样本对应的 64 个子载波的旋转后的 Q 矩阵和每个旋转后的 Q 矩阵对应的旋转后的第一参考元素，假设第一参考元素对应的第三位置为(1,1)，

则对于每个子载波而言，4个样本对应的4个旋转后的Q矩阵的前2列中，第一个列向量对应的旋转后的第一参考元素在当前子载波上正负号一致。第二设备可以根据每个Q矩阵对应的第二参考元素的正负号基于样本维度对接收到的Q矩阵进行旋转，得到每个样本对应的64个子载波的旋转后的Q矩阵和每个旋转后的Q矩阵对应的旋转后的第二参考元素，假设第二参考元素对应的第四位置为(2,2)，则，对于每个样本而言，64个子载波对应的64个旋转后的Q矩阵的前2列中，第二个列向量对应的旋转后的第二参考元素在当前样本上正负号一致。

例如，以子载波1为例，假设4个样本对应的4个旋转后的Q矩阵的前2列中，第一个列向量对应的旋转后的第一参考元素在子载波1上正负号一致，即表示：样本1中子载波1对应的旋转后的Q矩阵的第一个列向量对应的旋转后的第一参考元素的正负号、与样本2中子载波1对应的旋转后的Q矩阵的第一个列向量对应的旋转后的第一参考元素的正负号、与样本3中子载波1对应的旋转后的Q矩阵的第一个列向量对应的旋转后的第一参考元素的正负号、与样本4中子载波1对应的旋转后的Q矩阵的第一个列向量对应的旋转后的第一参考元素的正负号一致，均为正号，或者均为负号。

又例如，以样本1为例，假设64个子载波对应的64个旋转后的Q矩阵的前2列中，第二个列向量对应的旋转后的第二参考元素在样本1上正负号一致，即表示：样本1中子载波1对应的旋转后的Q矩阵的第二个列向量对应的旋转后的第二参考元素的正负号、与样本1中子载波2对应的旋转后的Q矩阵的第二个列向量对应的旋转后的第二参考元素的正负号、...、与样本1中子载波64对应的旋转后的Q矩阵的第二个列向量对应的旋转后的第二参考元素的正负号一致，均为正号，或者均为负号。

需要说明的是，当只进行多普勒频移的感知的时候，对于不同的子载波，子载波对应的正负号可以一致，也可以不一致，本申请不予限制。

其中，子载波对应的正负号，即对于当前子载波，满足旋转后的Q矩阵的前L列中，第一参考元素对应的列向量在子载波维度上正负号一致时，该第一参考元素对应的列向量对应的正负号。

示例性的，以子载波1为例，假设各个样本对应的旋转后的Q矩阵的前L列中，第一参考元素对应的列向量在子载波1上正负号一致，则该第一参考元素对应的列向量对应的正负号即子载波1对应的正负号。当该第一参考元素对应的列向量对应正号时，子载波1对应正号，该第一参考元素对应的列向量对应负号时，子载波1对应负号。

示例性的，以不同的子载波为子载波1和子载波2为例，子载波1对应的正负号可以为各个样本对应的旋转后的Q矩阵的前L列中，第一参考元素对应的列向量在子载波1上正负号一致时，该第一参考元素对应的列向量对应的正负号；子载波2对应的正负号可以为各个样本对应的旋转后的Q矩阵的前L列中，第一参考元素对应的列向量在子载波2上正负号一致时，该第一参考元素对应的列向量对应的正负号。子载波1对应的正负号与子载波2对应的正负号可以一致，也可以不一致，即子载波1和子载波2均对应正号；或者子载波1和子载波2均对应负号；或者子载波1对应正号，子载波2对应负号；或者子载波1对应负号，子载波2对应正号，本申请不予限制。

类似的，当只进行时延的感知的时候，对于不同的样本，样本对应的正负号可以一致，也可以不一致，本申请不予限制。

其中，样本对应的正负号，即对于当前样本，满足Q矩阵的前L列中，第二参考元素对应的列向量在样本维度上正负号一致时，该第二参考元素对应的列向量对应的正负号。

示例性的，以样本1为例，假设各个子载波对应的Q矩阵的前L列中，第二参考元素对应的列向量在样本1上正负号一致，则该第二参考元素对应的列向量对应的正负号即样本1对应的正负号。当该第二参考元素对应的列向量对应正号时，样本1对应正号，该第二参考元素对应的列向量对应负号时，样本1对应负号。

示例性的，以不同的样本为样本1和样本2为例，样本1对应的正负号可以为各个子载波对应的Q矩阵的前L列中，第二参考元素对应的列向量在样本1上正负号一致时，该第二参考元素对应的列向量对应的正负号；样本2对应的正负号可以为各个子载波对应的Q矩阵的前L列中，第二参考元素对应的列向量在样本2上正负号一致时，该第二参考元素对应的列向量对应的正负号。样本1对应的正负号与样本2对应的正负号可以一致，也可以不一致，即样本1和样本2均对应正号；或者样本1和样本2均对应负号；或者样本1对应正号，样本2对应负号；或者样本1对应负号，样本2对应正号，本申请不予限制。

另外，旋转后的Q矩阵中的前L列中，满足第一参考元素对应的列向量在子载波维度上正负号一致的列，可以与满足第二参考元素对应的列向量在样本维度上正负号一致的列是相同的列，也可以是不同的列，本申请不予限制。

例如，以旋转后的Q矩阵中的前L列中，存在某一列满足第一参考元素对应的列向量在子载波维度上正负号一致，存在另外一列满足第二参考元素对应的列向量在样本维度上正负号一致，该某一列与该另外一列可以是相同的列，也可以是不同的列，本申请不予限制。

步骤1906、第二设备根据旋转后的Q矩阵进行目标路径感知。

示例性的，第二设备可以根据第三位置和第四位置，对旋转后的Q矩阵进行目标路径感知，得到目标路径的属性信息。

其中，第三位置可以为第一参考元素在R矩阵中的位置，第四位置为第二参考元素在R矩阵中的位置。第三位置与第四位置可以是相同的位置，也可以是不同的位置，本申请不予限制。

可选的，第三位置与第四位置可以是第二设备确定的，也可以是协议预定义的，也可以是第一设备自定义的，本申请不予限制。

需要说明的是，当第三位置与第四位置是第二设备确定的时，第二设备可以在第一设备进行信道测量之前，将第三位置的信息和第四位置的信息发送给第一设备，第一设备根据第三位置与第四位置，确定第一参考元素的正负号和第二参考元素的正负号。

当第三位置与第四位置是第一设备自定义时，第一设备可以将第三位置的信息和第四位置的信息发送给第二设备，第二设备根据第三位置与第四位置进行目标路径感知。

示例性的，第二设备根据旋转后的Q矩阵进行目标路径感知时，可以根据第三位置和第四位置，选取旋转后的Q矩阵中相应的列进行角度感知，沿子载波维度进行时延感知，沿样本维度进行多普勒频移感知。

例如，第二设备可以根据旋转后的Q矩阵，采用下述方法一至方法四中的一种或多种进行目标路径感知，得到目标路径的属性信息：

方法一、第二设备可以根据第三位置，选取基于子载波维度根据第一参考元素的正负

号旋转后的 Q 矩阵中第三位置的元素所在的列, 进行角度感知。

其中, 第二设备可以选取任意一个子载波, 沿样本维度取出每一个样本中该子载波对应的根据第一参考元素的正负号旋转后的 Q 矩阵中第三位置的元素所在的列, 构成一个维度为 $T \times S$ 的信号矩阵, 其中, T 表示发射天线的数量, 或者也可以描述为第二设备的天线数目; S 表示样本的数量。第二设备根据该信号矩阵可以采用参数估计算法进行角度感知, 得到目标路径的 AOD。

其中, 参数估计算法可以为 MUSIC 算法等可以进行参数估计的算法。

例如, 以第三位置为 (1,1) 为例, 该第三位置的元素所在的列即第一列, 第二设备可以选取任意一个子载波, 沿样本维度取出每一个样本中该子载波对应的旋转后的 Q 矩阵的第一列元素, 构成一个维度为 $T \times S$ 的信号矩阵, 进而实现角度感知。

方法二、第二设备可以根据第四位置, 选取基于样本维度根据第二参考元素的正负号旋转后的 Q 矩阵中第四位置的元素所在的列, 进行角度感知。

其中, 第二设备可以选取任意一个样本, 沿子载波维度取出该样本中每一个子载波对应的根据第二参考元素的正负号旋转后的 Q 矩阵中第四位置的元素所在的列, 构成一个维度为 $T \times K$ 的信号矩阵, 其中, T 表示发射天线的数量, 或者也可以描述为第二设备的天线数目; K 表示子载波的数量。第二设备根据该信号矩阵可以采用参数估计算法进行角度感知, 得到目标路径的 AOD。

其中, 参数估计算法可以为 MUSIC 算法等可以进行参数估计的算法。

例如, 以第四位置为 (1,1) 为例, 该第四位置的元素所在的列即第一列, 第二设备可以选取任意一个样本, 沿子载波维度取出该样本中每一个子载波对应的旋转后的 Q 矩阵的第一列元素, 构成一个维度为 $T \times K$ 的信号矩阵, 进而实现角度感知。

方法三、第二设备可以根据第三位置, 选取基于子载波维度根据第一参考元素的正负号旋转后的 Q 矩阵中第三位置的元素所在的列, 沿样本维度进行多普勒频移感知。

其中, 第二设备可以选取任意一个子载波, 沿样本维度取出每一个样本中该子载波对应的根据第一参考元素的正负号旋转后的 Q 矩阵中第三位置的元素所在的列, 构成一个维度为 $S \times T$ 的信号矩阵, 其中, S 表示样本的数量; T 表示发射天线的数量, 或者也可以描述为第二设备的天线数目。第二设备根据该信号矩阵可以采用参数估计算法进行多普勒频移感知, 得到目标路径的多普勒频移。

其中, 参数估计算法可以为 MUSIC 算法等可以进行参数估计的算法。

例如, 以第三位置为 (1,1) 为例, 该第三位置的元素所在的列即第一列, 第二设备可以选取任意一个子载波, 沿样本维度取出每一个样本中该子载波对应的旋转后的 Q 矩阵的第一列元素, 构成一个维度为 $S \times T$ 的信号矩阵, 进而实现多普勒频移感知。

方法四、第二设备可以根据第四位置, 选取基于样本维度根据第二参考元素的正负号旋转后的 Q 矩阵中第四位置的元素所在的列, 沿子载波维度进行时延感知。

其中, 第二设备可以选取任意一个样本, 沿子载波维度取出该样本中每一个子载波对应的根据第二参考元素的正负号旋转后的 Q 矩阵中第四位置的元素所在的列, 构成一个维度为 $K \times T$ 的信号矩阵, 其中, K 表示子载波的数量; T 表示发射天线的数量, 或者也可以描述为第二设备的天线数目。第二设备根据该信号矩阵可以采用参数估计算法进行时延感知, 得到目标路径的时延。

其中，参数估计算法可以为 MUSIC 算法等可以进行参数估计的算法。

例如，以第四位置为 (1,1) 为例，该第四位置的元素所在的列即第一列，第二设备可以选取任意一个样本，沿子载波维度取出该样本中每一个子载波对应的旋转后的 Q 矩阵的第一列元素，构成一个维度为 $K \times T$ 的信号矩阵，进而实现时延感知。

5 需要说明的是，时延信息和多普勒频移信息分别承载在多个子载波和多个样本上，为了保证正确保留时延信息，第二设备对 Q 矩阵进行旋转时，需使得旋转后的 Q 矩阵的前 L 列中，第一参考元素对应的列向量在子载波维度上正负号一致，这样，第二设备可以根据相应的 Q 矩阵获取时延信息。

为了保证正确保留多普勒频移信息，第二设备对 Q 矩阵进行旋转时，需使得旋转后的 Q 矩阵的前 L 列中，第二参考元素对应的列向量在样本维度上正负号一致，这样，第二设备可以根据旋转后的 Q 矩阵获取多普勒频移信息。

另外，基于上述步骤 1906 中对角度感知的描述，可知，第二设备可以基于样本维度进行角度感知，也可以基于子载波维度进行角度感知。

15 可选的，第二设备还可以将旋转后的 Q 矩阵作为预编码矩阵，对发送给第一设备的信号进行预编码，将预编码后的信号发送给第一设备。

基于图 19 所示的通信方法，第一设备可以对信道状态信息进行共轭转置和 QR 分解，得到 Q 矩阵和右上三角矩阵 R 矩阵，并向第二设备发送 Q 矩阵和第一信息，第二设备根据第一信息对 Q 矩阵进行旋转，根据旋转后的 Q 矩阵实现目标路径感知。由于旋转后的 Q 矩阵的前 L 列中，第一参考元素对应的列向量在子载波维度上正负号一致，或者，第二参考元素对应的列向量在样本维度上正负号一致，该旋转后的 Q 矩阵可以用于指示目标路径的属性信息，即旋转后的 Q 矩阵中可以保留目标路径的时延、AOD、多普勒频移等属性信息，第二设备根据该旋转后的 Q 矩阵可以确定目标路径的属性信息，进而在满足信道矩阵对角化原则的基础上实现对目标路径的有效感知。

25 上述图 19 主要描述了第一设备进行信道测量并反馈 Q 矩阵和第一信息，以及第二设备根据第一信息对 Q 矩阵进行旋转，并根据旋转后的 Q 矩阵进行目标路径感知的过程，可选的，在第一设备进行信道测量之前，第一设备可以向第二设备发送第四指示信息。

其中，第四指示信息可以用于指示第一设备是否支持基于 QR 分解的压缩的波束成形矩阵和第一信息的反馈。即用于指示第一设备是否支持上述图 19 所示的 QR 分解与反馈。

30 当第四指示信息指示第一设备支持基于 QR 分解的压缩的波束成形矩阵和第一信息的反馈时，第一设备可以采用上述图 19 所示的方法进行 QR 分解，并向第二设备反馈基于 QR 分解的压缩的波束成形矩阵和第一信息。

35 可选的，第一设备将第四指示信息携带在感知能力字段在关联阶段发送给第二设备，或者，第一设备将第四指示信息携带在 EDMG 感知能力字段的核心能力字段在关联阶段发送给第二设备，或者，第一设备将第四指示信息携带在 EDMG 感知能力字段的可选子元素字段在关联阶段发送给第二设备。

其中，对第四指示信息的帧结构的描述可以参照上述对第一指示信息的帧结构的描述，在此不予赘述。

可选的，第一设备向第二设备发送第四指示信息时，还可以向第二设备发送第七指示信息。

其中，第七指示信息可以用于指示第一设备是否支持基于 SVD 分解的压缩的波束成形矩阵的反馈。

其中，对第一设备向第二设备发送第四指示信息和第七指示信息的描述，可以参照上述对第一设备向第二设备发送第一指示信息和第七指示信息的描述，在此不予赘述。

- 5 可选的，在第一设备进行信道测量之前，第一设备还可以向第二设备发送第十一指示信息，其中，第十一指示信息可以用于指示第一设备是否支持可实现感知的压缩的波束成形矩阵的反馈。

- 当第十一指示信息用于指示第一设备支持可实现感知的压缩的波束成形矩阵的反馈时，第一设备可以采用上述图 19 所示的方法向第二设备反馈压缩后的波束成形矩阵和第一信息，或者，第一设备可以基于上述 SVD 分解向第二设备反馈压缩后的波束成形矩阵。

其中，对第十一指示信息的帧结构的描述可以参照上述对第八指示信息的帧结构的描述，在此不予赘述。

可选的，在第一设备进行信道测量之前，第二设备可以向第一设备发送第五指示信息。

- 15 其中，第五指示信息可以用于指示第二设备是否支持基于 QR 分解的压缩的波束成形矩阵和第一信息的反馈。

当第五指示信息指示第二设备支持基于 QR 分解的压缩的波束成形矩阵和第一信息的反馈时，第二设备可以采用上述图 19 中第一设备执行的动作进行 QR 分解，并向第一设备反馈基于 QR 分解的压缩的波束成形矩阵和第一信息，第一设备可以参照上述图 19 中第二设备所执行的动作对 Q 矩阵进行旋转，并基于旋转后的 Q 矩阵进行目标路径感知。

- 20 可选的，第二设备将第五指示信息携带在关联响应帧或信标帧的感知能力字段在关联阶段发送给第一设备，或者，第二设备将第五指示信息携带在 EDMG 感知能力字段的核心能力字段在关联阶段发送给第一设备，或者，第二设备将第五指示信息携带在 EDMG 感知能力字段的可选子元素字段在关联阶段发送给第一设备。

- 其中，对第五指示信息的帧结构的描述可以参照上述对第二指示信息的帧结构的描述，
25 在此不予赘述。

可选的，第二设备向第一设备发送第五指示信息时，还可以向第一设备发送第九指示信息。

其中，第九指示信息可以用于指示第二设备是否支持基于 SVD 分解的压缩的波束成形矩阵的反馈。

- 30 其中，对第二设备向第一设备发送第五指示信息和第九指示信息的描述，可以参照上述对第二设备向第一设备发送第二指示信息和第九指示信息的描述，在此不予赘述。

可选的，在第一设备进行信道测量之前，第二设备还可以向第一设备发送第十二指示信息，其中，第十二指示信息可以用于指示第二设备是否支持可实现感知的压缩的波束成形矩阵的反馈。

- 35 当第十二指示信息用于指示第二设备支持可实现感知的压缩的波束成形矩阵的反馈时，第二设备可以采用上述图 19 所示的方法中第一设备执行的动作向第一设备反馈压缩后的波束成形矩阵和第一信息，或者，第二设备可以基于上述 SVD 分解向第一设备反馈压缩后的波束成形矩阵。

其中，对第十二指示信息的帧结构的描述可以参照上述对第十指示信息的帧结构的描

述，在此不予赘述。

可选的，第一设备进行信道测量之前，第二设备可以向第一设备发送感知请求帧。

其中，感知请求帧可以包括反馈类型指示，反馈类型指示可以用于指示反馈可实现感知的信道状态信息。

- 5 其中，当反馈类型指示用于指示反馈可实现感知的信道状态信息时，第一设备可以采用上述图 19 所述的方法向第二设备反馈压缩后的波束成形矩阵和第一信息，第二设备根据接收到的压缩后的波束成形矩阵和第一信息实现感知。

其中，对感知请求帧的帧结构的描述可以参照上述对感知请求帧的帧结构的描述，在此不予赘述。

- 10 可选的，第一设备在进行信道测量之前，第一设备可以向第二设备发送感知响应帧。

其中，感知响应帧可以包括反馈类型指示，反馈类型指示可以用于指示反馈可实现感知的信道状态信息。

- 其中，当反馈类型指示用于指示反馈可实现感知的信道状态信息时，第一设备可以采用上述图 19 所述的方法向第二设备反馈压缩后的波束成形矩阵和第一信息，第二设备根据接收到的压缩后的波束成形矩阵和第一信息实现感知。

- 15 其中，对感知响应帧的帧结构的描述可以参照上述对感知响应帧的帧结构的描述，在此不予赘述。

可选的，第一设备在进行信道测量之前，第二设备可以向第一设备发送第六指示信息。

- 20 其中，第六指示信息用于指示采用基于 QR 分解的压缩的波束成形矩阵和第一信息的反馈。

可选的，第六指示信息位于下述一种或多种帧中：感知 NDPA、感知触发帧、BRP。

可选的，第六指示信息位于下述一种或多种字段中：感知 NDPA 的用户信息字段、感知 NDPA 的公共信息字段、感知触发帧的公共信息字段、感知触发帧的用户信息字段、BRP 的预留字段。

- 25 当第六指示信息用于指示采用基于 QR 分解的压缩的波束成形矩阵和第一信息的反馈时，第一设备可以采用上述图 19 所述的方法向第二设备反馈压缩后的波束成形矩阵和第一信息，第二设备根据接收到的压缩后的波束成形矩阵和第一信息实现感知。

其中，对第六指示信息帧结构的描述可以参照上述对第三指示信息的帧结构的描述，本申请不予限制。

- 30 基于上述对第四指示信息至第十二指示信息，以及对感知请求帧和感知响应帧的描述，上述各个指示信息以及感知请求帧和感知响应帧可以独立使用，也可以结合使用，本申请不予限制。

- 35 基于上述图 8 所示的通信方法，第一设备可以基于 QR 分解对信道状态信息进行分解，也可以采用 SVD 分解对信道状态信息进行分解，也可以采用其他分解方式对信道状态信息进行分解，本申请不予限制。需要说明的是，第一设备分解得到的波束成形反馈矩阵（或者也可以描述为波束成形矩阵）中，用于做感知的列向量满足在子载波维度上正负号一致，和/或，用于做感知的列向量满足在样本维度上正负号一致。

基于上述图 19 所示的通信方法，第一设备可以基于 QR 分解对信道状态信息进行分解，也可以采用 SVD 分解对信道状态信息进行分解，也可以采用其他分解方式对信道状态

信息进行分解，本申请不予限制。需要说明的是，第二设备接收到第一设备发送的波束成形反馈矩阵后，可以对波束成形反馈矩阵进行旋转，旋转后的波束成形反馈矩阵中，用于做感知的列向量满足在子载波维度上正负号一致，和/或，用于做感知的列向量满足在样本维度上正负号一致。

5 上述主要从设备之间交互的角度对本申请实施例提供的方案进行了介绍。可以理解的是，各个设备为了实现上述功能，其包含了执行各个功能相应的硬件结构和/或软件模块。本领域技术人员应该很容易意识到，结合本文中所公开的实施例描述的各示例的算法步骤，本申请能够以硬件或硬件和计算机软件的结合形式来实现。某个功能究竟以硬件还是计算机
10 软件驱动硬件的方式来执行，取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。专业技术人员可以对每个特定的应用来使用不同方法来实现所描述的功能，但是这种实现不应认为超出本申请的范围。

 本申请实施例可以根据上述方法示例对各个设备进行功能模块的划分，例如，可以对
 应各个功能划分各个功能模块，也可以将两个或两个以上的功能集成在一个处理模块中。
 上述集成的模块既可以采用硬件的形式实现，也可以采用软件功能模块的形式实现。需要
15 说明的是，本申请实施例中对模块的划分是示意性的，仅仅为一种逻辑功能划分，实际实现
 时可以有另外的划分方式。

 在采用对应各个功能划分各个功能模块的情况下，图 20 示出了一种第一设备 200，第一设备 200 可以执行上述图 8 至图 19 中第一设备执行的动作。

 其中，第一设备 200 可以包括收发模块 2001 和处理模块 2002。示例性地，第一设备
20 200 可以是第一设备，也可以是应用于第一设备中的芯片或者其他具有上述第一设备功能
 的组合器件、部件等。当第一设备 200 是第一设备时，收发模块 2001 可以是收发器，收发
 器可以包括天线和射频电路等；处理模块 2002 可以是处理器（或者，处理电路），例如基
 带处理器，基带处理器中可以包括一个或多个 CPU。当第一设备 200 是具有上述第一设备
 功能的部件时，收发模块 2001 可以是射频单元；处理模块 2002 可以是处理器（或者，处
25 理电路），例如基带处理器。当第一设备 200 是芯片系统时，收发模块 2001 可以是芯片
 （例如基带芯片）的输入输出接口；处理模块 2002 可以是芯片系统的处理器（或者，处理
 电路），可以包括一个或多个中央处理单元。应理解，本申请实施例中的收发模块 2001 可
 以由收发器或收发器相关电路组件实现；处理模块 2002 可以由处理器或处理器相关电路
 组件（或者，称为处理电路）实现。

30 例如，收发模块 2001 可以用于执行图 8 至图 19 所示的实施例中由第一设备所执行的全部收发操作，和/或用于支持本文所描述的技术的其它过程；处理模块 2002 可以用于执行图 8 至图 19 所示的实施例中由第一设备所执行的除了收发操作之外的全部操作，和/或用于支持本文所描述的技术的其它过程。

 作为又一种可实现方式，图 20 中的收发模块 2001 可以由收发器代替，该收发器可以
35 集成收发模块 2001 的功能；处理模块 2002 可以由处理器代替，该处理器可以集成处理模
 块 2002 的功能。进一步的，图 20 所示第一设备 200 还可以包括存储器。

 在采用对应各个功能划分各个功能模块的情况下，图 21 示出了一种第二设备 210，第二设备 210 可以执行上述图 8 至图 19 中第二设备执行的动作。

 其中，第二设备 210 可以包括收发模块 2101 和处理模块 2102。示例性地，第二设备

210 可以是第二设备，也可以是应用于第二设备中的芯片或者其他具有上述第二设备功能的组合器件、部件等。当第二设备 210 是第二设备时，收发模块 2101 可以是收发器，收发器可以包括天线和射频电路等；处理模块 2102 可以是处理器（或者，处理电路），例如基带处理器，基带处理器中可以包括一个或多个 CPU。当第二设备 210 是具有上述第二设备功能的部件时，收发模块 2101 可以是射频单元；处理模块 2102 可以是处理器（或者，处理电路），例如基带处理器。当第二设备 210 是芯片系统时，收发模块 2101 可以是芯片（例如基带芯片）的输入输出接口；处理模块 2102 可以是芯片系统的处理器（或者，处理电路），可以包括一个或多个中央处理单元。应理解，本申请实施例中的收发模块 2101 可以由收发器或收发器相关电路组件实现；处理模块 2102 可以由处理器或处理器相关电路组件（或者，称为处理电路）实现。

例如，收发模块 2101 可以用于执行图 8 至图 19 所示的实施例中由第二设备所执行的全部收发操作，和/或用于支持本文所描述的技术的其它过程；处理模块 2102 可以用于执行图 8 至图 19 所示的实施例中由第二设备所执行的除了收发操作之外的全部操作，和/或用于支持本文所描述的技术的其它过程。

作为又一种可实现方式，图 21 中的收发模块 2101 可以由收发器代替，该收发器可以集成收发模块 2101 的功能；处理模块 2102 可以由处理器代替，该处理器可以集成处理模块 2102 的功能。进一步的，图 21 所示第二设备 210 还可以包括存储器。

本申请实施例还提供了一种计算机可读存储介质。上述方法实施例中的全部或者部分流程可以由计算机程序来指令相关的硬件完成，该程序可存储于上述计算机可读存储介质中，该程序在执行时，可包括如上述各方法实施例的流程。计算机可读存储介质可以是前述任一实施例的终端（包括数据发送端和/或数据接收端）的内部存储单元，例如终端的硬盘或内存。上述计算机可读存储介质也可以是上述终端的外部存储设备，例如上述终端上配备的插接式硬盘，智能存储卡（smart media card, SMC），安全数字（secure digital, SD）卡，闪存卡（flash card）等。进一步地，上述计算机可读存储介质还可以既包括上述终端的内部存储单元也包括外部存储设备。上述计算机可读存储介质用于存储上述计算机程序以及上述终端所需的其他程序和数据。上述计算机可读存储介质还可以用于暂时地存储已经输出或者将要输出的数据。

需要说明的是，本申请的说明书、权利要求书及附图中的术语“第一”和“第二”等是用于区别不同对象，而不是用于描述特定顺序。此外，术语“包括”和“具有”以及它们任何变形，意图在于覆盖不排他的包含。例如包含了一系列步骤或单元的过程、方法、系统、产品或设备没有限定于已列出的步骤或单元，而是可选地还包括没有列出的步骤或单元，或可选地还包括对于这些过程、方法、产品或设备固有的其它步骤或单元。

应当理解，在本申请中，“至少一个（项）”是指一个或者多个，“多个”是指两个或两个以上，“至少两个（项）”是指两个或三个及三个以上，“和/或”，用于描述关联对象的关联关系，表示可以存在三种关系，例如，“A 和/或 B”可以表示：只存在 A，只存在 B 以及同时存在 A 和 B 三种情况，其中 A，B 可以是单数或者复数。字符“/”一般表示前后关联对象是一种“或”的关系。“以下至少一项(个)”或其类似表达，是指这些项中的任意组合，包括单项（个）或复数项（个）的任意组合。例如，a，b 或 c 中的至少一项（个），可以表示：a，b，c，“a 和 b”，“a 和 c”，“b 和 c”，或“a 和 b 和 c”，

其中 a, b, c 可以是单个, 也可以是多个。

通过以上的实施方式的描述, 所属领域的技术人员可以清楚地了解到, 为描述的方便和简洁, 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, 即将装置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。

5 上描述的全部或者部分功能。

在本申请所提供的几个实施例中, 应该理解到, 所揭露的装置和方法, 可以通过其它的方式实现。例如, 以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的, 例如, 所述模块或单元的划分, 仅仅为一种逻辑功能划分, 实际实现时可以有另外的划分方式, 例如多个单元或组件可以结合或者可以集成到另一个装置, 或一些特征可以忽略, 或不执行。另一点, 所显示或讨论的相互之间的耦合或直接耦合或通信连接可以是通过一些接口, 装置或单元的间接耦合或通信连接, 可以是电性, 机械或其它的形式。

10

所述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的, 作为单元显示的部件可以是一个物理单元或多个物理单元, 即可以位于一个地方, 或者也可以分布到多个不同地方。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部单元来实现本实施例方案的目的。

15

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。

所述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, 可以存储在一个可读取存储介质中。基于这样的理解, 本申请实施例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, 该软件产品存储在一个存储介质中, 包括若干指令用以使得一个设备 (可以是单片机, 芯片等) 或处理器 (processor) 执行本申请各个实施例所述方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质包括: U 盘、移动硬盘、ROM、RAM、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

20

25

权 利 要 求 书

1.一种通信方法，其特征在于，包括：

第一设备接收来自第二设备的第一帧；其中，所述第一帧用于信道测量；

5 所述第一设备根据所述第一帧，确定信道状态信息；其中，所述信道状态信息的维度为 $N_r \times N_t \times K$ ，所述 N_r 为所述第一设备的天线数目，所述 N_t 为所述第二设备的天线数目，所述 K 为承载所述第一帧的子载波的数目，所述 N_r 、所述 N_t 、所述 K 均为正整数；

10 所述第一设备对所述信道状态信息进行共轭转置和 QR 分解，得到右上三角矩阵 R 矩阵和 Q 矩阵；其中，所述 R 矩阵的前 L 行中，至少一行满足对应对角线上的元素在子载波维度上正负号一致，至少一行满足对应对角线上的元素在样本维度上正负号一致，所述 L 为所述第一设备和所述第二设备之间的目标路径的数目，样本为沿时间维度进行多次信道测量得到的多个信道状态信息，所述样本维度为所述多个信道状态信息对应的样本维度；所述 Q 矩阵用于指示所述目标路径的属性信息；

所述第一设备向所述第二设备发送所述 Q 矩阵。

2.根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，

15 所述 Q 矩阵为酉矩阵；或者

对所述 Q 矩阵的至少一行进行归一化的矩阵为酉矩阵。

3.根据权利要求 1 或 2 所述的方法，其特征在于，

所述目标路径的属性信息包括下述一种或多种：所述目标路径的时延、所述目标路径的离开角 AOD、所述目标路径的多普勒频移。

20 4.根据权利要求 1-3 任一项所述的方法，其特征在于，所述第一设备对所述信道状态信息进行共轭转置和 QR 分解，得到所述 R 矩阵和所述 Q 矩阵，包括：

25 所述第一设备确定第一位置和第二位置；其中，所述第一位置为所述 R 矩阵的前 L 行中，满足对应对角线上的元素在子载波维度正负号一致的元素在所述 R 矩阵中的位置；所述第二位置为所述 R 矩阵的前 L 行中，满足对应对角线上的元素在样本维度正负号一致的元素在所述 R 矩阵中的位置；

所述第一设备根据所述第一位置和第二位置，对所述信道状态信息进行共轭转置和 QR 分解。

5.根据权利要求 4 所述的方法，其特征在于，所述第一设备确定所述第一位置和第二位置，包括：

30 所述第一设备接收来自所述第二设备的所述第一位置的信息和所述第二位置的信息；或者

所述第一位置和第二位置是预定义的；或者

所述第一位置和第二位置是所述第一设备自定义的。

6.根据权利要求 4 所述的方法，其特征在于，所述方法还包括：

35 所述第一设备向所述第二设备发送所述第一位置的信息和所述第二位置的信息。

7.根据权利要求 1-6 任一项所述的方法，其特征在于，所述第一设备接收来自所述第二设备的所述第一帧之前，所述方法还包括：

所述第一设备向所述第二设备发送第一指示信息；其中，所述第一指示信息用于指示所述第一设备是否支持下述一种或多种反馈：基于子载波维度一致性的压缩的波束成形矩

阵的反馈、基于样本维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈。

8.根据权利要求 7 所述的方法，其特征在于，

所述第一指示信息位于下述一种或多种字段中：关联请求帧的感知能力字段、增强型定向多千兆比特 EDMG 感知能力字段的感知能力字段、EDMG 感知能力字段的可选子元素字段。

9.根据权利要求 1-8 任一项所述的方法，其特征在于，所述第一设备接收来自所述第二设备的所述第一帧之前，所述方法还包括：

所述第一设备接收来自所述第二设备的第二指示信息；其中，所述第二指示信息用于指示所述第二设备是否支持下述一种或多种反馈：基于子载波维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈、基于样本维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈。

10.根据权利要求 9 所述的方法，其特征在于，

所述第二指示信息位于下述一种或多种字段中：关联响应帧的感知能力字段、信标帧的感知能力字段、EDMG 感知能力字段的感知能力字段、EDMG 感知能力字段的可选子元素字段。

11.根据权利要求 1-10 任一项所述的方法，其特征在于，所述第一设备接收来自所述第二设备的所述第一帧之前，所述方法还包括：

所述第一设备接收来自所述第二设备的感知请求帧；其中，所述感知请求帧包括反馈类型指示，所述反馈类型指示用于指示反馈可实现感知的信道状态信息。

12.根据权利要求 1-11 任一项所述的方法，其特征在于，所述第一设备接收来自所述第二设备的所述第一帧之前，所述方法还包括：

所述第一设备向所述第二设备发送感知响应帧；其中，所述感知响应帧包括反馈类型指示，所述反馈类型指示用于指示反馈可实现感知的信道状态信息。

13.根据权利要求 1-12 任一项所述的方法，其特征在于，所述第一设备向所述第二设备发送所述 Q 矩阵之前，所述方法还包括：

所述第一设备接收来自所述第二设备的第三指示信息；其中，所述第三指示信息用于指示采用下述一种或多种反馈：基于子载波维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈、基于样本维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈。

14.根据权利要求 13 所述的方法，其特征在于，

所述第三指示信息位于下述一种或多种帧中：感知 NDPA、感知触发帧、波束优化协议 BRP。

15.根据权利要求 13 或 14 所述的方法，其特征在于，

所述第三指示信息位于下述一种或多种字段中：感知 NDPA 的用户信息字段、感知 NDPA 的公共信息字段、感知触发帧的公共信息字段、感知触发帧的用户信息字段、BRP 的预留字段。

16.一种通信方法，其特征在于，包括：

第二设备向第一设备发送第一帧；其中，所述第一帧用于信道测量；

所述第二设备接收来自所述第一设备的 Q 矩阵；其中，所述 Q 矩阵是根据信道状态信息确定的，所述 Q 矩阵用于指示目标路径的属性信息；所述目标路径为所述第一设备与所述第二设备之间的路径；

所述第二设备根据所述 Q 矩阵进行目标路径感知。

17.根据权利要求 16 所述的方法, 其特征在于,

所述 Q 矩阵为酉矩阵; 或者

对所述 Q 矩阵的至少一列进行归一化的矩阵为酉矩阵。

5 18.根据权利要求 16 或 17 所述的方法, 其特征在于,

所述信道状态信息的维度为 $N_r \times N_t \times K$, 所述 N_r 为所述第一设备的天线数目, 所述 N_t 为所述第二设备的天线数目, 所述 K 为承载所述第一帧的子载波的数目, 所述 N_r 、所述 N_t 、所述 K 均为正整数。

19.根据权利要求 16-18 任一项所述的方法, 其特征在于,

10 所述目标路径的属性信息包括下述一种或多种: 所述目标路径的时延、所述目标路径的离开角 AOD、所述目标路径的多普勒频移。

20.根据权利要求 16-19 任一项所述的方法, 其特征在于, 所述方法还包括:

所述第二设备确定第一位置和第二位置;

15 其中, 所述第一位置为 R 矩阵的前 L 行中, 满足对应对角线上的元素在子载波维度正负号一致的元素在所述 R 矩阵中的位置; 所述第二位置为所述 R 矩阵的前 L 行中, 满足对应对角线上的元素在样本维度正负号一致的元素在所述 R 矩阵中的位置; 所述 L 为所述目标路径的数目。

21.根据权利要求 20 所述的方法, 其特征在于, 所述第二设备根据所述 Q 矩阵进行目标路径感知, 包括下述一种或多种:

20 所述第二设备根据所述第一位置, 选取所述 Q 矩阵中所述第一位置的元素所在的列, 进行角度感知;

所述第二设备根据所述第二位置, 选取所述 Q 矩阵中所述第二位置的元素所在的列, 进行角度感知;

25 所述第二设备根据所述第一位置, 选取所述 Q 矩阵中所述第一位置的元素所在的列, 沿样本维度进行多普勒频移感知;

所述第二设备根据所述第二位置, 选取所述 Q 矩阵中所述第二位置的元素所在的列, 沿子载波维度进行时延感知。

22.根据权利要求 20 或 21 所述的方法, 其特征在于, 所述第二设备确定所述第一位置和所述第二位置, 包括:

30 所述第二设备接收来自所述第一设备的所述第一位置的信息和所述第二位置的信息; 或者

所述第一位置和所述第二位置是预定义的; 或者

所述第一位置和所述第二位置是所述第二设备自定义的。

35 23.根据权利要求 20 或 21 所述的方法, 其特征在于, 所述第二设备接收来自所述第一设备的所述 Q 矩阵之前, 所述方法还包括:

所述第二设备向所述第一设备发送所述第一位置的信息和所述第二位置的信息。

24.根据权利要求 16-23 任一项所述的方法, 其特征在于, 所述第二设备向所述第一设备发送所述第一帧之前, 所述方法还包括:

所述第二设备接收来自所述第一设备的第一指示信息; 其中, 所述第一指示信息用于

指示所述第一设备是否支持下述一种或多种反馈：基于子载波维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈、基于样本维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈。

25.根据权利要求 24 所述的方法，其特征在于，

5 所述第一指示信息位于下述一种或多种字段中：关联请求帧的感知能力字段、增强型定向多千兆比特 EDMG 感知能力字段的的核心能力字段、EDMG 感知能力字段的可选子元素字段。

26.根据权利要求 16-25 任一项所述的方法，其特征在于，所述第二设备向所述第一设备发送所述第一帧之前，所述方法还包括：

10 所述第二设备向所述第一设备发送第二指示信息；其中，所述第二指示信息用于指示所述第二设备是否支持下述一种或多种反馈：基于子载波维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈、基于样本维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈。

27.根据权利要求 26 所述的方法，其特征在于，

15 所述第二指示信息位于下述一种或多种字段中：关联响应帧的感知能力字段、信标帧的感知能力字段、EDMG 感知能力字段的的核心能力字段、EDMG 感知能力字段的可选子元素字段。

28.根据权利要求 16-27 任一项所述的方法，其特征在于，所述第二设备向所述第一设备发送所述第一帧之前，所述方法还包括：

所述第二设备向所述第一设备发送感知请求帧；其中，所述感知请求帧包括反馈类型指示，所述反馈类型指示用于指示反馈可实现感知的信道状态信息。

20 29.根据权利要求 16-28 任一项所述的方法，其特征在于，所述第二设备向所述第一设备发送所述第一帧之前，所述方法还包括：

所述第二设备接收来自所述第一设备的感知响应帧；其中，所述感知响应帧包括反馈类型指示，所述反馈类型指示用于指示反馈可实现感知的信道状态信息。

25 30.根据权利要求 16-29 任一项所述的方法，其特征在于，所述第二设备接收来自所述第一设备的所述 Q 矩阵之前，所述方法还包括：

所述第二设备向所述第一设备发送第三指示信息；其中，所述第三指示信息用于指示采用下述一种或多种反馈：基于子载波维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈、基于样本维度一致性的压缩的波束成形矩阵的反馈。

31.根据权利要求 30 所述的方法，其特征在于，

30 所述第三指示信息位于下述一种或多种帧中：感知 NDPA、感知触发帧、波束优化协议 BRP。

32.根据权利要求 30 或 31 所述的方法，其特征在于，

35 所述第三指示信息位于下述一种或多种字段中：感知 NDPA 的用户信息字段、感知 NDPA 的公共信息字段、感知触发帧的公共信息字段、感知触发帧的用户信息字段、BRP 的预留字段。

33.一种通信装置，其特征在于，包括：

收发模块，用于接收来自第二设备的第一帧；其中，所述第一帧用于信道测量；

处理模块，用于根据所述第一帧，确定信道状态信息；其中，所述信道状态信息的维度为 $N_r \times N_t \times K$ ，所述 N_r 为所述第一设备的天线数目，所述 N_t 为所述第二设备的天线数

目, 所述 K 为承载所述第一帧的子载波的数目, 所述 N_r 、所述 N_t 、所述 K 均为正整数;

所述处理模块, 还用于对所述信道状态信息进行共轭转置和 QR 分解, 得到右上三角矩阵 R 矩阵和 Q 矩阵; 其中, 所述 R 矩阵的前 L 行中, 至少一行满足对应对角线上的元素在子载波维度上正负号一致, 至少一行满足对应对角线上的元素在样本维度上正负号一致, 所述 L 为所述第一设备和所述第二设备之间的目标路径的数目, 样本为沿时间维度进行多次信道测量得到的多个信道状态信息, 所述样本维度为所述多个信道状态信息对应的样本维度; 所述 Q 矩阵用于指示所述目标路径的属性信息;

所述收发模块, 还用于向所述第二设备发送所述 Q 矩阵。

34. 一种通信装置, 其特征在于, 包括:

10 收发模块, 用于向第一设备发送第一帧; 其中, 所述第一帧用于信道测量;

所述收发模块, 还用于接收来自所述第一设备的 Q 矩阵; 其中, 所述 Q 矩阵是根据信道状态信息确定的, 所述 Q 矩阵用于指示目标路径的属性信息; 所述目标路径为所述第一设备与所述第二设备之间的路径;

处理模块, 用于根据所述 Q 矩阵进行目标路径感知。

15 35. 一种通信装置, 其特征在于, 所述通信装置包括处理器; 所述处理器, 用于运行计算机程序或指令, 以使所述通信装置执行如权利要求 1-15 任一项所述的通信方法, 或者执行如权利要求 16-32 任一项所述的通信方法。

20 36. 一种通信装置, 其特征在于, 所述通信装置包括输入输出接口和逻辑电路; 所述输入输出接口, 用于输入和/或输出信息; 所述逻辑电路用于执行如权利要求 1-15 任一项所述的通信方法, 或者执行如权利要求 16-32 任一项所述的通信方法, 根据所述信息进行处理和/或生成所述信息。

37. 一种计算机可读存储介质, 其特征在于, 计算机可读存储介质存储有计算机指令或程序, 当计算机指令或程序在计算机上运行时, 使得计算机执行如权利要求 1-15 任一项所述的通信方法, 或者执行如权利要求 16-32 任一项所述的通信方法。

25 38. 一种计算机程序产品, 其特征在于, 所述计算机程序产品包括计算机指令; 当部分或全部所述计算机指令在计算机上运行时, 使得计算机执行如权利要求 1-15 任一项所述的通信方法, 或者执行如权利要求 16-32 任一项所述的通信方法。