

# 说明书

## 频谱感知方法、电子设备和计算机可读存储介质

### 相关申请的交叉引用

本申请基于申请号为 202210478493.4、申请日为 2022 年 05 月 05 日的中国专利申请提出，并要求该中国专利申请的优先权，该中国专利申请的全部内容在此引入本申请作为参考。

### 技术领域

本申请涉及通信技术，特别是涉及一种频谱感知方法、电子设备、计算机可读存储介质和计算机程序产品。

### 背景技术

随着无线移动通信系统的不断发展，频谱资源日益紧缺。固定频谱分配策略使很多频谱资源无法得到充分利用，而认知无线电技术可以从时间和空间上将空闲的频谱资源利用起来，提高频谱利用率，因而被广泛应用。频谱感知是认知无线电的一项关键技术，频谱感知的目的是快速地识别频段中未被占用的空闲频谱，然后对空闲频谱进行频谱共享或复用。通常情况下，如果感知到频谱已经被用户信号占用，则会直接放弃共享或复用该频谱。但是，被占用的频谱实际上只是在某些角度范围内被用户信号占用，而在其他角度上是空闲的，那么通过波束赋型等技术可以使用被占用频谱的空闲角度来进行无线通信，达到提高频谱利用率的目的。因此，如何从被占用的频谱中识别出可利用的角度信息（如方位角和俯仰角）是需要考虑的问题。

### 发明内容

本申请实施例提供了一种频谱感知方法、电子设备、计算机可读存储介质和计算机程序产品，能够实现从被占用的频谱中识别出可利用的角度信息。

第一方面，本申请实施例提供一种频谱感知方法，所述方法包括：

确定目标子带的特征数据；

将所述特征数据输入训练好的频谱感知模型，得到频谱感知结果；

其中，所述频谱感知结果包括第一结果，所述第一结果用于指示所述目标子带是否被占用；

在所述第一结果指示所述目标子带被占用的情况下，所述频谱感知结果还包括第二结果，所述第二结果用于指示所述目标子带被占用的角度。

第二方面，本申请实施例提供一种电子设备，包括：

处理器和存储器；

所述存储器上存储有程序指令，所述程序指令当被所述处理器执行时使得所述处理器执行如上第一方面所述的频谱感知方法。

第三方面，本申请实施例提供一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质存储有程序指令，所述程序指令被计算机执行时，实现如上第一方面所述的频谱感知方法。

第四方面，本申请实施例提供一种计算机程序产品，所述计算机程序产品存储有程序指令，所述程序指令在由计算机执行时，使得所述计算机实施如上第一方面所述的频谱感知方法。

本申请实施例中，通过将目标子带的特征数据输入到训练好的频谱感知模型，由频谱感知模型基于特征数据输出用于指示所述目标子带是否被占用和用于指示所述目标子带被占用的角度的第二结果。本申请实施例的方案，首先，通过频谱感知模型预测目标子带是否被占用和被占用的角度，能够减少频谱感知的计算复杂度；其次，本申请实施例不仅能够实现感知目标子带是否被用户信号占用，还能够实现感知目标子带被用户信号占用的角度，为进一步利用未被用户信号占用的角度打下基础；再次，本申请实施例提供的频谱感知模型可以针对单个目标子带进行预测，预测灵活性强，相比传统频谱感知模型通常要输入带宽下所有子带的特征数据才能进行预测，本申请实施例的频谱感知模型只需对待感知的目标子带的特征数据进行处理，输入到频谱感知模型的数据维度很小，从而可以精简频谱感知模型的规模，使得模型部署更加容易，提高频谱感知模型的性能。

### 附图说明

附图用来提供对本申请技术方案的进一步理解，并且构成说明书的一部分，与本申请的实施例一起用于解释本申请的技术方案，并不构成对本申请技术方案的限制。

图 1 是本申请实施例提供的一种频谱感知方法的流程示意图；

图 2 是本申请实施例的子带划分示意图；

图 3 是本申请实施例的目标子带的特征数据的确定过程示意图；

图 4 是本申请实施例的目标子带的第一频域数据的获取过程示意图；

图5是本申请实施例的水平天线协方差矩阵的计算过程示意图；  
图6是本申请实施例的垂直天线协方差矩阵的计算过程示意图；  
图7是本申请实施例的全部天线协方差矩阵的计算过程示意图；  
图8是本申请实施例的示例1提供的频谱感知模型的结构示意图；  
图9是本申请实施例的示例2提供的频谱感知模型的结构示意图；  
图10是本申请实施例的示例3提供的频谱感知模型的结构示意图；  
图11是本申请实施例提供的频谱感知模型的训练方法的流程示意图；  
图12是本申请实施例的样本特征数据的获取过程示意图；  
图13是本申请实施例的目标子带的第一频域样本数据的获取过程示意图；  
图14是本申请实施例提供的一种电子设备的结构示意图。

### 具体实施方式

为了使本申请的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本申请进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅用以解释本申请，并不用于限定本申请。

应了解，在本申请实施例的描述中，如果有描述到“第一”、“第二”等只是用于区分技术特征为目的，而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量或者隐含指明所指示的技术特征的先后关系。“至少一个”是指一个或者多个，“多个”是指两个或两个以上。“和/或”，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，可以表示单独存在A、同时存在A和B、单独存在B的情况。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”及其类似表达，是指的这些项中的任意组，包括单项或复数项的任意组。例如，a、b和c中的至少一项可以表示：a，b，c，a和b，a和c，b和c，或者，a和b和c，其中a，b，c可以是单个，也可以是多个。

此外，下面所描述的本申请各个实施方式中所涉及到的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互组合。

随着无线移动通信系统的不断发展，频谱资源日益紧缺。固定频谱分配策略使很多频谱资源无法得到充分利用，而认知无线电技术可以从时间和空间上将空闲的频谱资源利用起来，提高频谱利用率，因而被广泛应用。频谱感知是认知无线电的一项关键技术，频谱感知的目的是快速地识别频段中未被占用的空闲频谱，然后对空闲频谱进行频谱共享或复用。

在众多的频谱感知技术中，基于深度学习实现频谱感知是一个重要的发展方向。相关技术，将带宽下所有频谱的数据输入频谱感知模型，由频谱感知模型感知哪些频谱被占用，哪些频谱未被占用。通常情况下，如果感知到频谱已经被用户信号占用，则会直接放弃利用该频谱。但是，被占用的频谱实际上只是在某些角度范围内被用户信号占用，而在其他角度上是空闲的，那么通过波束赋型等技术可使用被占用频谱的其他空闲角度来进行无线通信。因此，如何从被占用的频谱中识别出可利用的角度信息（如方位角和俯仰角）是需要考虑的问题。

为了解决上述问题，本申请实施例提供了一种频谱感知方法、电子设备、计算机可读存储介质和计算机程序产品，能够实现从被占用的频谱中识别出可利用的角度信息。

本申请描述的实施例可以被实现在通信系统中，诸如在以下系统的至少一个中：全球移动通信系统(GSM)或任何其他第二代蜂窝通信系统、基于基本的宽带码分多址(W-CDMA)的通用移动通信系统(UMTS, 3G)、高速分组接入(HSPA)、长期演进(LTE)、高级LTE、基于IEEE 802.11规范的系统、基于IEEE 802.15规范的系统、或第五代(5G)移动或蜂窝通信系统；以及未来的移动通信系统。然而，实施例不限于上述示例给出的系统，而是本领域技术人员可以将解决方案应用于具有必要属性的其他通信系统。

如图1所示，为本申请实施例提供的一种频谱感知方法的流程示意图。该方法的实现过程包括但不限于如下步骤S110-S120，下面对各个步骤依次进行介绍：

步骤S110，确定目标子带的特征数据。

可以理解的是，在本申请实施例的技术方案中，将全带宽划分为多个子带，划分得到的每个子带的频域感知单位数量小于或等于频域感知粒度所指示的频域感知单位数量。步骤S110中描述的目标子带为该多个子带中的一个子带。

具体的，全带宽的划分可以根据预先定义的频域感知粒度实现，其中，频域感知粒度可以是资源块粒度。也就是说，将全带宽划分为多个子带，划分得到的每个子带在单个时隙中包含小于或等于预设资源块粒度的资源块。

例如，如图2所示，为本申请实施例的子带划分示意图，假设全带宽是100MHz，单个子载波的带宽是30kHz，那么该全带宽下共有3276个子载波，单个资源块中包含12个子载波，这里预先定义频域感知粒度为4个资源块，即划分得到的每个子带在单个时隙中包含的资源块数量应小于或者等于4个，因此，可以将100MHz的全带宽划分为69个子带，其中有一个子带的粒度是1个资源块，其余子带的粒度均是4个资源块。

可以理解的是，在将全带宽划分为多个子带之后，可以从该多个子带中确定当前待感知的目标子带，而且目标子带的数量可以是一个或者多个。

示例性的, 本申请实施例的特征数据可以为天线协方差矩阵。当特征数据为天线协方差矩阵时, 确定目标子带的特征数据, 具体可以如图3所示, 包括如下子步骤S111-S112:

步骤S111, 根据预定义的感知粒度获取目标子带的第一频域数据;

步骤S112, 根据第一频域数据计算得到目标子带的天线协方差矩阵。

其中, 感知粒度可以包括时域感知粒度和频域感知粒度, 时域感知粒度用于指示时域感知单位数量, 频域感知粒度用于指示频域感知单位数量。具体的, 时域感知单位至少为时隙和符号中的一项, 频域感知单位至少为资源块和子载波中的一项。

如图4所示, 为本申请实施例提供的目标子带的第一频域数据的获取过程示意图, 第一频域数据的获取过程包括但不限于如下步骤S121-S123:

步骤S121, 从目标天线获取时域接收信号。

可以理解的是, 本申请实施例描述的目标天线可以包括天线阵列中的多个接收天线。从目标天线获取时域接收信号即是从天线阵列的每一个接收天线采集时域接收信号。

步骤S122, 对时域接收信号进行离散傅立叶变换, 得到目标天线的全带宽频域数据;

可以理解的是, 通过离散傅立叶变换可以将时域信号转化为频域信号, 所以可以通过对时域接收信号进行离散傅立叶变换, 得到目标天线的全带宽频域数据。

步骤S123, 从全带宽频域数据中获取目标子带在目标天线的第一频域数据, 其中, 第一频域数据包括多个第二频域数据, 每个第二频域数据对应于一个时域感知单位和一个频域感知单位。

可以理解的是, 目标子带在目标天线的第一频域数据应当满足预定义的感知粒度, 例如, 目标子带在目标天线的第一频域数据包括  $L \times N$  个第二频域数据, 每个第二频域数据对应于一个时域感知单位和一个频域感知单位,  $L$  表示时域感知单位数量,  $N$  表示目标子带中包含的频域感知单位数量,  $L$ 、 $N$  均为大于1的整数。示例性的, 时域感知单位可以是符号, 时域感知粒度为1个时隙中的14个符号, 则  $L=14$ ; 频域感知单位可以是子载波, 频域感知粒度为目标子带中的所有子载波, 假设目标子带对应4个资源块, 则  $N=48$ 。

可以理解的是, 天线协方差矩阵可以包括水平天线协方差矩阵、垂直天线协方差矩阵或者全部天线协方差矩阵。基于此, 根据第一频域数据计算得到目标子带的天线协方差矩阵, 包括以下几种实现方式:

第一种, 根据第一频域数据计算得到目标子带的水平天线协方差矩阵。其中, 水平天线协方差矩阵的计算过程可以如图5所示, 包括以下步骤S211-S214:

步骤S211, 将多个接收天线划分为多个水平天线组;

例如, 天线阵列有  $M$  个接收天线, 按  $H_m$  个水平通道、 $V_m$  个垂直通道、正负45度交叉极化方式排列, 其中  $M = H_m \times V_m \times 2$ , 那么, 可以将所有接收天线划分为  $V_m \times 2$  个水平天线组, 每组有  $H_m$  个水平天线。再例如,  $M=64$ 、 $H_m=8$ 、 $V_m=4$ , 那么, 可以将所有接收天线划分为8个水平天线组, 每组有8个水平天线。

步骤S212, 对于每个水平天线组, 根据水平天线组对应的第一频域数据、及第一频域数据中各个第二频域数据对应的时域感知单位和频域感知单位, 构建与水平天线组对应的多个第一数据矩阵, 每个第一数据矩阵对应于一个时域感知单位和一个频域感知单位。

作为示例, 第一数据矩阵可以通过以下表达式表示:

$$Hdata_{l,n,x}^i = \{Hdata_{l,n,x}^{i,0}, Hdata_{l,n,x}^{i,1}, Hdata_{l,n,x}^{i,2}, \dots, Hdata_{l,n,x}^{i,H_m-1}\}^T \quad (1);$$

上述表达式(1)表示子带  $x$  在当前时域感知单位  $l$ 、当前频域感知单位  $n$  及第  $i$  组水平天线上的频域数据, 其中,  $\{\}$  表示矩阵的转置。

例如, 当时域感知单位为符号、频域感知单位为子载波时, 上述表达式(1)即表示子带  $x$  在当前符号  $l$ 、当前子载波  $n$  及第  $i$  组水平天线上的频域数据。这里, 采用符号级的数据构建第一数据矩阵, 当然也可以采用时隙级的数据构建第一数据矩阵, 本申请实施例对此不作具体限定。

步骤S213, 根据水平天线组对应的多个第一数据矩阵, 计算水平天线组对应的水平天线组协方差矩阵。

作为示例, 第  $i$  组水平天线组协方差矩阵可以通过以下表达式表示:

$$R_{x,H}^i = \frac{1}{N \times L} \sum_{l=0}^{L-1} \sum_{n=0}^{N-1} Hdata_{l,n,x}^i * conj(Hdata_{l,n,x}^i)^T \quad (2);$$

其中,  $L$  表示时域感知单位数量,  $N$  表示目标子带中包含的频域感知单位数量,  $conj$  表示计算复数的共轭值。

例如, 时域感知单位为符号, 预定义的时域感知粒度为单个时隙中所有的符号数据, 单个时隙有14个符号, 则  $L$  的数值为14; 频域感知单位为子载波, 频域感知粒度为当前目标子带  $x$  中所有的子载波数据, 目标子带  $x$  的子带粒度为4个资源块, 每个资源块含12个子载波, 则  $N$  的数值为48。

步骤S214, 根据各个水平天线组协方差矩阵计算得到目标子带的水平天线协方差矩阵。

作为示例, 将全部组的水平天线组协方差矩阵进行求平均计算, 得到目标子带的水平天线协方差矩阵。子带  $x$  的水平天线协方差矩阵可以通过以下表达式表示:

$$R_{x,H} = \frac{1}{2 * Vm} \sum_{i=1}^{2*Hm} R_{x,H}^i \quad (3);$$

其中, Vm 表示垂直通道数量, i 表示第 i 组天线。

可以理解的是, 子带 x 的水平天线协方差矩阵  $R_{x,H}$  是维度为  $Hm * Hm$  的矩阵。

第二种, 根据第一频域数据计算得到目标子带的垂直天线协方差矩阵。其中, 垂直天线协方差矩阵的计算过程可以如图 6 所示, 包括以下步骤 S221-S224:

步骤 S221, 将多个接收天线划分为多个垂直天线组。

例如, 天线阵列有 M 个接收天线, 按 Hm 个水平通道、Vm 个垂直通道、正负 45 度交叉极化方式排列, 其中  $M = Hm * Vm * 2$ , 那么, 可以将所有接收天线划分为  $Hm * 2$  个垂直天线组, 每组有 Vm 个垂直天线。再例如,  $M=64, Hm=8, Vm=4$ , 那么, 可以将所有接收天线划分为 16 个垂直天线组, 每组有 4 个垂直天线。

步骤 S222, 对于每个垂直天线组, 根据垂直天线组对应的第一频域数据、及第一频域数据中各个第二频域数据对应的时域感知单位和频域感知单位, 构建与垂直天线组对应的多个第二数据矩阵, 每个第二数据矩阵对应于一个时域感知单位和一个频域感知单位。

作为示例, 第二数据矩阵可以通过以下表达式表示:

$$Vdata_{l,n,x}^i = \{Vdata_{l,n,x}^{i,0}, Vdata_{l,n,x}^{i,1}, Vdata_{l,n,x}^{i,2}, \dots, Vdata_{l,n,x}^{i,Vm-1}\}^T \quad (4);$$

上述表达式 (4) 表示子带 x 在当前时域感知单位 l、当前频域感知单位 n 及第 i 组垂直天线上的频域数据, 其中,  $\{\}^T$  表示矩阵的转置。

例如, 当时域感知单位为符号、频域感知单位为子载波时, 上述表达式 (4) 即表示子带 x 在当前符号 l、当前子载波 n 及第 i 组垂直天线上的频域数据。这里, 采用符号级的数据构建第二数据矩阵, 当然也可以采用时隙级的数据构建第二数据矩阵, 本申请实施例对此不作具体限定。

步骤 S223, 根据垂直天线组对应的多个第二数据矩阵, 计算垂直天线组对应的垂直天线组协方差矩阵。

作为示例, 第 i 组垂直天线组协方差矩阵可以通过以下表达式表示:

$$R_{x,V}^i = \frac{1}{N * L} \sum_{l=0}^{L-1} \sum_{n=0}^{N-1} Vdata_{l,n,x}^i * conj(Vdata_{l,n,x}^i)^T \quad (5);$$

其中, L 表示时域感知单位数量; N 表示目标子带中包含的频域感知单位数量, conj 表示计算复数的共轭值。

例如, 时域感知单位为符号, 预定义的时域感知粒度为单个时隙中所有的符号数据, 单个时隙有 14 个符号, 则 L 的数值为 14; 频域感知单位为子载波, 频域感知粒度为当前目标子带 x 中所有的子载波数据, 目标子带 x 的子带粒度为 4 个资源块, 每个资源块含 12 个子载波, 则 N 的数值为 48。

步骤 S224, 根据各个垂直天线组协方差矩阵计算得到目标子带的垂直天线协方差矩阵。

作为示例, 将全部组的垂直天线组协方差矩阵进行求平均计算, 得到目标子带的垂直天线协方差矩阵。子带 x 的垂直天线协方差矩阵可以通过以下表达式表示:

$$R_{x,V} = \frac{1}{2 * Hm} \sum_{i=1}^{2*Hm} R_{x,V}^i \quad (6);$$

其中, Hm 表示水平通道数量, i 表示第 i 组天线。

可以理解的是, 子带 x 的垂直天线协方差矩阵  $R_{x,V}$  是维度为  $Vm * Vm$  的矩阵。

第三种, 根据第一频域数据计算得到目标子带的全部天线协方差矩阵。其中, 全部天线协方差矩阵的计算过程可以如图 7 所示, 包括以下步骤 S231-S232:

步骤 S231, 根据第一频域数据中各个第二频域数据对应的时域感知单位和频域感知单位, 构建多个第三数据矩阵, 每个第三数据矩阵对应于一个时域感知单位和一个频域感知单位。

作为示例, 第三数据矩阵可以通过以下表达式表示:

$$data_{l,n,x} = \{data_{l,n,x}^0, data_{l,n,x}^1, data_{l,n,x}^2, \dots, data_{l,n,x}^{M-1}\}^T \quad (7);$$

上述表达式 (7) 表示子带 x 在当前时域感知单位 l、当前频域感知单位 n 的频域数据, 其中,  $\{\}^T$  表示矩阵的转置, M 表示天线阵列中接收天线的数量。

例如, 当时域感知单位为符号、频域感知单位为子载波时, 上述表达式 (7) 即表示子带 x 在当前符号 l、当前子载波 n 上的频域数据。这里, 采用符号级的数据构建第三数据矩阵, 当然也可以采用时隙级的数据构建第三数据矩阵, 本申请实施例对此不作具体限定。

步骤 S232, 根据多个第三数据矩阵计算得到目标子带的全部天线协方差矩阵。

作为示例, 全部天线协方差矩阵可以通过以下表达式表示:

$$R_x = \frac{1}{N * L} \sum_{l=0}^{L-1} \sum_{n=0}^{N-1} data_{l,n,x} * conj(data_{l,n,x})^T \quad (8);$$

其中,  $L$  表示时域感知单位数量;  $N$  表示目标子带中包含的频域感知单位数量,  $conj$  表示计算复数的共轭值。

例如, 时域感知单位为符号, 预定义的时域感知粒度为单个时隙中所有的符号数据, 单个时隙有 14 个符号, 则  $L$  的数值为 14; 频域感知单位为子载波, 频域感知粒度为当前目标子带  $x$  中所有的子载波数据, 目标子带  $x$  的子带粒度为 8 个资源块, 每个资源块含 12 个子载波, 则  $N$  的数值为 96。

可以理解的是,  $R_x$  是维度为  $M * M$  的矩阵。

步骤 S120, 将特征数据输入训练好的频谱感知模型, 得到频谱感知结果。

其中, 频谱感知结果包括第一结果, 第一结果用于指示目标子带是否被占用, 在第一结果指示目标子带被占用的情况下, 频谱感知结果还包括第二结果, 第二结果用于指示目标子带被占用的角度。

可以理解的是, 输入到频谱感知模型的特征数据可以包括水平天线协方差矩阵、垂直天线协方差矩阵、全部天线协方差矩阵中的任意一个或者多个。

在一种实现方式中, 频谱感知模型包括信号能量和角度感知模型, 信号能量和角度感知模型用于对特征数据进行特征提取得到信号能量特征和信号角度特征, 并根据信号能量特征和信号角度特征输出第一结果, 及在第一结果指示目标子带被占用的情况下输出第二结果。可以理解, 信号能量和角度感知模型为一个神经网络, 该神经网络能同时感知信号能量和信号角度。

在另一种实现方式中, 频谱感知模型包括信号能量感知模型和信号角度感知模型; 其中, 信号能量感知模型用于: 根据特征数据输出第一结果; 信号角度感知模型用于: 在第一结果指示目标子带被占用的情况下, 根据特征数据输出第二结果。可以理解的是, 这里的频谱感知模型包括至少两个神经网络, 其中一个神经网络用于信号能量感知, 另一个神经网络用于信号角度感知。具体实现中, 针对输入到频谱感知模型的特征数据可能存在两种或两种以上的天线协方差矩阵, 用于信号能量感知的神经网络又可以包括两个或者两个以上子神经网络, 同理, 用于信号角度感知的神经网络也可以包括两个或者两个以上子神经网络。

需说明的是, 本申请实施使用到的各个神经网络均不限制类型, 可以是卷积神经网络 CNN、循环神经网络 RNN、深度信念网络 DBN、生成对抗网络 GAN 等。

下面通过具体的示例说明。

示例 1:

如图 8 所示, 在示例 1 中, 频谱感知模型采用信号能量和角度感知模型, 即频谱感知模型可以仅包含一个神经网络。输入信号能量和角度感知模型的特征数据包括目标子带的水平天线协方差矩阵、垂直天线协方差矩阵、全部天线协方差矩阵中的任一个。

可以理解的是, 当输入到信号能量和角度感知模型的特征数据为水平天线协方差矩阵时, 信号能量和角度感知模型对水平天线协方差矩阵进行特征提取, 得到水平天线上的信号能量特征和信号角度特征, 其中, 水平天线上的信号角度特征可理解为方位角特征。然后, 信号能量和角度感知模型根据水平天线上的信号能量特征和信号角度特征感知目标子带是否被用户信号占用和被占用的角度, 输出第一结果和第二结果。

可以理解的是, 当输入到信号能量和角度感知模型的特征数据为垂直天线协方差矩阵时, 信号能量和角度感知模型对垂直天线协方差矩阵进行特征提取, 得到垂直天线上的信号能量特征和信号角度特征, 其中, 垂直天线上的信号角度特征可理解为俯仰角特征。然后, 信号能量和角度感知模型根据垂直天线上的信号能量特征和信号角度特征感知目标子带是否被用户信号占用和被占用的角度, 输出第一结果和第二结果。

可以理解的是, 当输入到信号能量和角度感知模型的特征数据为全部天线协方差矩阵时, 信号能量和角度感知模型对全部天线协方差矩阵进行特征提取, 得到全部天线上的信号能量特征和信号角度特征, 其中, 全部天线上的信号角度特征可理解为方位角特征+俯仰角特征。然后, 信号能量和角度感知模型根据全部天线上的信号能量特征和信号角度特征感知目标子带是否被用户信号占用和被占用的角度, 输出第一结果和第二结果。

示例 2:

如图 9 所示, 在示例 2 中, 频谱感知模型采用信号能量感知模型和信号角度感知模型的组合。输入频谱感知模型的特征数据包括目标子带的水平天线协方差矩阵、垂直天线协方差矩阵、全部天线协方差矩阵中的任一个。

可以理解的是, 当输入的特征数据为水平天线协方差矩阵时, 首先由信号能量感知模型从水平天线协方差矩阵提取出水平天线上的信号能量特征, 并根据水平天线上的信号能量特征进行目标子带是否被用户信号占用的二分类预测。如果信号能量感知模型的预测结果 (即第一结果) 为目标子带被用户信号占用, 则进一步由信号角度感知模型从水平天线协方差矩阵提取出水平天线上的信号角度特征 (方位角特征), 并根据水平天线上的角度能量特征预测目标子带被占用的角度, 输出指示被占用的角度的第二结果。如果信号能量感知模型的预测结果 (即第一结果) 为目标子带没有被用户信号占用, 则信号角度感知模型无需进行预测。

可以理解的是,当输入的特征数据为垂直天线协方差矩阵时,首先由信号能量感知模型从垂直天线协方差矩阵中提取出垂直天线上的信号能量特征,并根据垂直天线上的信号能量特征进行目标子带是否被用户信号占用的二分类预测。如果信号能量感知模型的预测结果(即第一结果)为目标子带被用户信号占用,则进一步由信号角度感知模型从垂直天线协方差矩阵中提取出垂直天线上的信号角度特征(俯仰角特征),并根据垂直天线上的角度能量特征预测目标子带被占用的角度,输出指示被占用的角度的第二结果。如果信号能量感知模型的预测结果(即第一结果)为目标子带没有被用户信号占用,则信号角度感知模型无需进行预测。

可以理解的是,当输入的特征数据为全部天线协方差矩阵时,首先由信号能量感知模型从全部天线协方差矩阵中提取出全部天线上的信号能量特征,并根据全部天线上的信号能量特征进行目标子带是否被用户信号占用的二分类预测。如果信号能量感知模型的预测结果(即第一结果)为目标子带被用户信号占用,则进一步由信号角度感知模型从全部天线协方差矩阵中提取出全部天线上的信号角度特征(方位角特征+俯仰角特征),并根据全部天线上的角度能量特征预测目标子带被占用的角度,输出指示被占用的角度的第二结果。如果信号能量感知模型的预测结果(即第一结果)为目标子带没有被用户信号占用,则信号角度感知模型无需进行预测。

### 示例 3

如图 10 所示,在示例 3 中,频谱感知模型采用信号能量感知模型和信号角度感知模型的组合,其中,信号能量感知模型包括:第一信号能量感知子模型、第二信号能量感知子模型和第三信号能量感知子模型,信号角度感知模型包括:第一信号角度感知子模型、第二信号角度感知子模型和第三信号角度感知子模型。

在示例 3 中,输入频谱感知模型的特征数据包括目标子带的水平天线协方差矩阵和垂直天线协方差矩阵。

可以理解的是,本示例中,首先,由第一信号能量感知子模型对水平天线协方差矩阵进行特征提取,输出水平天线能量特征;由第二信号能量感知子模型对垂直天线协方差矩阵进行特征提取,输出垂直天线能量特征。然后,由第三信号能量感知子模型根据水平天线能量特征和垂直天线能量特征,进行目标子带是否被用户信号占用的二分类预测,输出第一结果。如果第一结果指示目标子带否被占用,则进一步地,由第一信号角度感知子模型对水平天线协方差矩阵进行特征提取,输出水平天线角度特征(方位角特征);由第二信号角度感知子模型对垂直天线协方差矩阵进行特征提取,输出垂直天线角度特征(俯仰角特征);再进一步地,由第三信号角度感知子模型根据水平天线角度特征和垂直天线角度特征,预测目标子带被占用的角度,输出第二结果。如果第一结果为目标子带没有被用户信号占用,则信号角度感知模型无需进行预测。

本申请实施例的方案,首先,通过频谱感知模型预测目标子带是否被占用和被占用的角度,能够减少频谱感知的计算复杂程度;其次,本申请实施例不仅能够实现感知目标子带是否被用户信号占用,还能够实现感知目标子带被用户信号占用的角度,为进一步利用未被用户信号占用的角度打下基础;再次,本申请实施例提供的频谱感知模型可以针对单个目标子带进行预测,预测灵活性强,相比传统频谱感知模型通常要输入带宽下所有子带的特征数据才能进行预测,本申请实施例的频谱感知模型只需对待感知的目标子带的特征数据进行处理,输入到频谱感知模型的数据维度很小,从而可以精简频谱感知模型的规模,使得模型部署更加容易,提高频谱感知模型的性能。

本申请实施例还提供了频谱感知模型的训练方法。如图 11 所示,为频谱感知模型的训练方法的流程示意图,该训练方法包括以下步骤 S210-S220:

步骤 S210,获取子带的训练样本集。

其中,训练样本集包括多个第一训练样本和多个第二训练样本,第一训练样本包括子带未被占用下的样本特征数据和第一标签,第二训练样本包括子带被占用下的样本特征数据、第二样本标签和第三样本标签,第一样本标签用于指示子带未被占用,第二样本标签用于指示子带被占用,第三样本标签用于指示子带被占用的角度。

可以理解的是,为了构建子带的训练样本集,应采集子带对应的两类样本特征数据,第一类是子带没有被占用情况下的样本特征数据,并对应地标注上第一标签(可以用数字 1 表示),形成第一训练样本;第二类是子带被占用情况下的样本特征数据,同时还采集子带被占用的角度,以及将子带被占用的角度作为第三标签,对应地为上述子带被占用情况下的样本特征数据标注上第二标签(可以用数字 0 表示)和第三标签,形成第二训练样本。

第三标签具体可以包括方位角标签和俯仰角标签。在构建子带的训练样本集时,可以令每一个第二训练样本都有唯一的方位角和俯仰角标签,例如:方位角范围是 $[-52, -45, -37, -30, -22, -15, -7, 0, 7, 15, 22, 30, 37, 45, 52]^{\circ}$ ,俯仰角范围是 $[-10, -7, -3, 0, 3, 7, 10]^{\circ}$ 。

步骤 S220,基于训练样本集对频谱感知模型进行训练,直至满足预设的训练结束条件,得到训练好的频谱感知模型。

具体训练过程中,可以将上述多个第一训练样本和多个第二训练样本分别输入到初始频谱感知模型中,使初始频谱感知模型输出各个训练样本对应的预测结果。将各个训练样本对应的预测结果与对应的样本标签进行比较,计算得到损失值,判断损失值是否满足预设的损失阈值,如果满足,则可认为满足预设的训练结束条件,结束训练;如果不满足,则调整频谱感知模型的模型参数,继续基于训练样本集对频谱感知模型进行训练。

可以理解的是,样本特征数据具体可以包括天线协方差矩阵。如图12所示,样本特征数据的获取过程包括如下步骤S310-S320:

步骤S310,根据预定义的感知粒度获取子带的第一频域样本数据;

步骤S320,根据第一频域样本数据计算得到子带的天线协方差矩阵。

可以理解的是,在本申请实施例的技术方案中,将全带宽划分为多个子带,划分得到的每个子带的频域感知单位数量小于或等于频域感知粒度所指示的频域感知单位数量。步骤S310中描述的子带为该多个子带中的一个子带。

具体的,全带宽的划分可以根据预先定义的频域感知粒度实现,其中,频域感知粒度可以是资源块粒度。例如,100MHz的带宽下共有3276个子载波,单个资源块中包含12个子载波,预先定义子带粒度为4个资源块,即划分得到的每个子带在单个时隙中包含的资源块数量应小于或者等于4个,因此,可以将100MHz的全带宽划分为69个子带,其中有一个子带的粒度是1个资源块,其余子带的粒度均是4个资源块。

步骤S310中的感知粒度包括时域感知粒度和频域感知粒度,时域感知粒度用于指示时域感知单位数量,频域感知粒度用于指示频域感知单位数量。

如图13所示,根据预定义的感知粒度获取子带的第一频域样本数据,包括如下步骤S410-S430:

步骤S410,从目标天线获取时域样本接收信号;

步骤S420,对时域样本接收信号进行离散傅立叶变换,得到目标天线的全带宽频域样本数据;

步骤S430,从全带宽频域样本数据中获取子带在目标天线的第一频域样本数据,其中,第一频域样本数据包括多个第二频域样本数据,每个第二频域样本数据对应于一个时域感知单位和一个频域感知单位。

上述步骤S410-S430的实现过程与前面步骤S121-S123的实现过程相类似,因此可以参考前面步骤S121-S123的相关描述,此处不作赘述。

可以理解的是,天线协方差矩阵可以包括水平天线协方差矩阵、垂直天线协方差矩阵或者全部天线协方差矩阵。

可以理解的是,目标天线包括天线阵列中的多个接收天线。

当天线协方差矩阵包括水平天线协方差矩阵时,根据第一频域样本数据计算得到子带的天线协方差矩阵,具体可以包括以下步骤S511-S514:

步骤S511,将多个接收天线划分为多个水平天线组;

步骤S512,对于每个水平天线组,根据水平天线组对应的第一频域样本数据、及第一频域样本数据中各个第二频域样本数据对应的时域感知单位和频域感知单位,构建与水平天线组对应的多个第一数据矩阵,每个第一数据矩阵对应于一个时域感知单位和一个频域感知单位;

步骤S513,根据水平天线组对应的多个第一数据矩阵,计算水平天线组对应的水平天线组协方差矩阵;

步骤S514,根据各个水平天线组协方差矩阵计算得到子带的水平天线协方差矩阵。

上述步骤S511-S514的实现过程与前面步骤S211-S214的实现过程相类似,因此可以参考前面步骤S211-S214的相关描述,此处不作赘述。

当天线协方差矩阵包括垂直天线协方差矩阵时,根据第一频域样本数据计算得到子带的天线协方差矩阵,具体可以包括以下步骤S521-S524:

步骤S521,将多个接收天线划分为多个垂直天线组;

步骤S522,对于每个垂直天线组,根据垂直天线组对应的第一频域样本数据、及第一频域样本数据中各个第二频域样本数据对应的时域感知单位和频域感知单位,构建与垂直天线组对应的多个第二数据矩阵,每个第二数据矩阵对应于一个时域感知单位和一个频域感知单位;

步骤S523,根据垂直天线组对应的多个第二数据矩阵,计算垂直天线组对应的垂直天线组协方差矩阵;

步骤S524,根据各个垂直天线组协方差矩阵计算得到子带的垂直天线协方差矩阵。

上述步骤S521-S524的实现过程与前面步骤S221-S224的实现过程相类似,因此可以参考前面步骤S221-S224的相关描述,此处不作赘述。

当天线协方差矩阵包括全部天线协方差矩阵时,根据第一频域样本数据计算得到子带的天线协方差矩阵,具体可以包括以下步骤S531-S532:

步骤S531,根据第一频域样本数据中各个第二频域样本数据对应的时域感知单位和频域感知单位,构建多个第三数据矩阵,每个第三数据矩阵对应于一个时域感知单位和一个频域感知单位;

步骤S532,根据多个第三数据矩阵计算得到子带的全部天线协方差矩阵。

上述步骤S531-S532的实现过程与前面步骤S231-S232的实现过程相类似,因此可以参考前面步骤S231-S232的相关描述,此处不作赘述。

在一种实现方式中,频谱感知模型包括信号能量和角度感知模型,信号能量和角度感知模型用于对特征数据进行特征提取得到信号能量特征和信号角度特征,并根据信号能量特征和信号角度特征输出第一结果,及在第一结果指示子带被占用的情况下输出第二结果。可以理解,信号能量和角度感知模型为一个神经网络,该神经网络能同时感知信号能量和信号角度。

当频谱感知模型包括信号能量和角度感知模型时,频谱感知模型的训练过程可以如下:

步骤 S611, 将第一训练样本中的样本特征数据输入信号能量和角度感知模型, 得到第一训练样本对应的第一结果, 根据第一训练样本对应的第一结果和第一标签计算得到第一损失值;

步骤 S612, 将第二训练样本中的样本特征数据输入信号能量和角度感知模型, 得到第二训练样本对应的第一结果和第二结果, 根据第二训练样本对应的第一结果和第二标签计算第二损失值, 根据第二训练样本对应的第二结果和第三标签计算第三损失值;

步骤 S613, 判断第一损失值和第二损失值是否满足预设的第一损失阈值, 判断第三损失值是否满足预设的第二损失阈值, 如果均满足, 则结束训练, 否则, 调整信号能量和角度感知模型的模型参数, 并返回步骤 S611 继续基于训练样本集对信号能量和角度感知模型进行训练。

在另一种实现方式中, 频谱感知模型包括信号能量感知模型和信号角度感知模型; 其中, 信号能量感知模型用于: 根据样本特征数据输出第一结果; 信号角度感知模型用于: 在第一结果指示子带被占用的情况下, 根据样本特征数据输出第二结果。

当频谱感知模型包括信号能量感知模型和信号角度感知模型时, 频谱感知模型的训练过程可以如下:

步骤 S621, 将第一训练样本中的样本特征数据输入信号能量感知模型, 得到第一训练样本对应的第一结果, 根据第一训练样本对应的第一结果和第一标签计算得到第一损失值;

步骤 S622, 将第二训练样本中的样本特征数据输入信号能量感知模型, 得到第二训练样本对应的第一结果, 根据第二训练样本对应的第一结果和第二标签计算得到第二损失值;

步骤 S623, 判断第一损失值和第二损失值是否满足预设的第一损失阈值, 如果均满足, 执行步骤 S624, 否则, 调整信号能量感知模型的模型参数, 并返回步骤 S621 继续基于训练样本集对信号能量感知模型进行训练;

步骤 S624, 将第二训练样本中的样本特征数据输入信号角度感知模型, 得到第二训练样本对应的第二结果, 根据第二训练样本对应的第二结果和第三标签计算得到第三损失值;

步骤 S625, 判断第三损失值是否满足预设的第二损失阈值, 如果满足, 则结束训练, 否则, 调整信号角度感知模型的模型参数, 并返回步骤 S624 继续基于训练样本集对信号角度感知模型进行训练。

在又一种实现方式中, 在每个训练样本中, 样本特征数据包括水平天线协方差矩阵和垂直天线协方差矩阵, 频谱感知模型采用信号能量感知模型和信号角度感知模型的组合, 其中, 信号能量感知模型包括: 第一信号能量感知子模型、第二信号能量感知子模型和第三信号能量感知子模型, 信号角度感知模型包括: 第一信号角度感知子模型、第二信号角度感知子模型和第三信号角度感知子模型。

第一信号能量感知子模型用于对水平天线协方差矩阵进行特征提取, 输出水平天线能量特征; 第二信号能量感知子模型用于对垂直天线协方差矩阵进行特征提取, 输出垂直天线能量特征; 第三信号能量感知子模型用于根据水平天线能量特征和垂直天线能量特征输出第一结果。

第一信号角度感知子模型用于对水平天线协方差矩阵进行特征提取, 输出水平天线角度特征; 第二信号角度感知子模型用于对垂直天线协方差矩阵进行特征提取, 输出垂直天线角度特征; 第三信号角度感知子模型用于根据水平天线角度特征和垂直天线角度特征输出第二结果。

针对上述实现方式, 频谱感知模型的训练过程可以如下:

步骤 S631, 将第一训练样本中的水平天线协方差矩阵输入第一信号能量感知子模型, 将第一训练样本中的垂直天线协方差矩阵输入第二信号能量感知子模型, 使第三信号能量感知子模型输出第一训练样本对应的第一结果, 根据第一训练样本对应的第一结果和第一标签计算得到第一损失值;

步骤 S632, 将第二训练样本中的水平天线协方差矩阵输入第一信号能量感知子模型, 将第二训练样本中的垂直天线协方差矩阵输入第二信号能量感知子模型, 使第三信号能量感知子模型输出第二训练样本对应的第一结果, 根据第二训练样本对应的第一结果和第二标签计算得到第二损失值;

步骤 S633, 判断第一损失值和第二损失值是否满足预设的第一损失阈值, 如果均满足, 执行步骤 S634, 否则, 调整信号能量感知模型中各个子模型的模型参数, 并返回步骤 S631 继续基于训练样本集对信号能量感知模型进行训练;

步骤 S634, 将第二训练样本中的水平天线协方差矩阵输入第一信号角度感知子模型, 将第二训练样本中的垂直天线协方差矩阵输入第二信号角度感知子模型, 使第三信号角度感知子模型输出第二训练样本对应的第二结果, 根据第二训练样本对应的第二结果和第三标签计算得到第三损失值;

步骤 S635, 判断第三损失值是否满足预设的第二损失阈值, 如果满足, 则结束训练, 否则, 调整信号角度感知模型中各个子模型的模型参数, 并返回步骤 S634 继续基于训练样本集对信号角度感知模型进行训练。

需说明的是, 本申请实施例描述的子带可以有多个, 也就是说, 可以有多个子带的训练样本集, 根据多个子带的训练样本集对频谱感知模型进行训练, 使得训练好的频谱感知模型可以对多个子带进行频谱感知。例如, 100M 带宽内包含 69 个子带, 则针对 69 个子带中的每一个子带分别构建一个训练样本集, 基于所有训练样本集对频谱感知模型进行训练, 使得频谱感知模型能够实现全带宽内所有子带的频谱感知。

需说明的是, 本申请实施例中尽管在附图中以特定的顺序描述操作, 但是不应将其理解为要求按照所示的特定顺序或是串行顺序来执行这些操作, 或是要求执行全部所示的操作以得到期望的结果。在特定环境中, 多任务和并行处理可能是有利的。

另外,在本申请实施例中,对各个实施例的描述都各有侧重,某个实施例中未详述或记载的部分,可参见其它实施例的相关描述。

本申请实施例还提供了一种电子设备,如图14所示,该电子设备900包括但不限于:

处理器910和存储器920;

存储器920上存储有程序指令,程序指令当被处理器910执行时使得处理器910执行如上任意实施例描述的频谱感知方法。

上述处理器910和存储器920可以通过总线或者其他方式连接。

应能理解的是,该处理器910可以采用中央处理单元(Central Processing Unit, CPU)。该处理器还可以是其它通用处理器、数字信号处理器(Digital Signal Processor, DSP)、专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit, ASIC)、现场可编程门阵列(Field Programmable Gate Array, FPGA)或者其它可编程逻辑器件、分立门或者晶体管逻辑器件、分立硬件组件等。通用处理器可以是微处理器或者该处理器也可以是任何常规的处理器等。或者该处理器910采用一个或多个集成电路,用于执行相关程序,以实现本申请实施例所提供的技术方案。

存储器920作为一种非暂态计算机可读存储介质,可用于存储非暂态软件程序以及非暂态性计算机可执行程序,如本申请任意实施例描述的频谱感知方法。处理器910通过运行存储在存储器920中的非暂态软件程序以及指令,从而实现上述的频谱感知方法。

存储器920可以包括存储程序区和存储数据区,其中,存储程序区可存储操作系统、至少一个功能所需的应用程序;存储数据区可存储执行上述的频谱感知方法或者频谱感知模型的训练方法。此外,存储器920可以包括高速随机存取存储器,还可以包括非暂态存储器,比如至少一个磁盘存储器件、闪存器件、或其他非暂态固态存储器件。在一些实施方式中,存储器920可选包括相对于处理器910远程设置的存储器,这些远程存储器可以通过网络连接至该处理器910。上述网络的实例包括但不限于互联网、企业内部网、局域网、移动通信网及其组合。

实现上述的频谱感知方法所需的非暂态软件程序以及指令存储在存储器920中,当被一个或者多个处理器910执行时,执行本申请任意实施例提供的频谱感知方法。

本申请实施例还提供了一种计算机可读存储介质,计算机可读存储介质存储有程序指令,程序指令被计算机执行时,实现如上任意实施例描述的频谱感知方法。

本申请实施例的计算机存储介质,可以采用一个或多个计算机可读的介质的任意组合。计算机可读介质可以是计算机可读信号介质或者计算机可读存储介质。计算机可读存储介质例如可以是,但不限于,电、磁、光、电磁、红外线、或半导体的系统、装置或器件,或者任意以上的组合。计算机可读存储介质的更具体的例子(非穷举的列表)包括:具有一个或多个导线的电连接、便携式计算机磁盘、硬盘、随机存取存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、可擦式可编程只读存储器(EPROM或闪存)、光纤、便携式紧凑磁盘只读存储器(CD-ROM)、光存储器件、磁存储器件、或者上述的任意合适的组合。在本文件中,计算机可读存储介质可以是任何包含或存储程序的有形介质,该程序可以被指令执行系统、装置或者器件使用或者与其结合使用。

计算机可读的信号介质可以包括在基带中或者作为载波一部分传播的数据信号,其中承载了计算机可读的程序代码。这种传播的数据信号可以采用多种形式,包括但不限于电磁信号、光信号或上述的任意合适的组合。计算机可读的信号介质还可以是计算机可读存储介质以外的任何计算机可读介质,该计算机可读介质可以发送、传播或者传输用于由指令执行系统、装置或者器件使用或者与其结合使用的程序。

计算机可读介质上包含的程序代码可以用任何适当的介质传输,包括、但不限于无线、电线、光缆、RF等等,或者上述的任意合适的组合。

可以以一种或多种程序设计语言或其组合来编写用于执行本申请操作的计算机程序代码,程序设计语言包括面向对象的程序设计语言—诸如Java、Smalltalk、C++,还包括常规的过程式程序设计语言—诸如“C”语言或类似的程序设计语言。程序代码可以完全地在用户计算机上执行、部分地在用户计算机上执行、作为一个独立的软件包执行、部分在用户计算机上部分在远程计算机上执行、或者完全在远程计算机或服务器上执行。在涉及远程计算机的情形中,远程计算机可以通过任意种类的网络,包括局域网(LAN)或广域网(WAN),连接到用户计算机,或者,可以连接到外部计算机(例如利用因特网服务提供商来通过因特网连接)。

本申请实施例提供一种计算机程序产品,计算机程序产品存储有程序指令,程序指令在由计算机执行时,使得计算机实施如上任意实施例描述的频谱感知方法。

以上是对本申请的较佳实施进行了具体说明,但本申请并不局限于上述实施方式,熟悉本领域的技术人员在不违背本申请范围的共享条件下还可作出种种等同的变形或替换,这些等同的变形或替换均包括在本申请权利要求所限定的范围内。

## 权 利 要 求 书

1. 一种频谱感知方法，所述方法包括：

确定目标子带的特征数据；

将所述特征数据输入训练好的频谱感知模型，得到频谱感知结果；

其中，所述频谱感知结果包括第一结果，所述第一结果用于指示所述目标子带是否被占用；

在所述第一结果指示所述目标子带被占用的情况下，所述频谱感知结果还包括第二结果，所述第二结果用于指示所述目标子带被占用的角度。

2. 根据权利要求1所述的方法，其中，所述频谱感知模型包括信号能量和角度感知模型，所述信号能量和角度感知模型用于对所述特征数据进行特征提取得到信号能量特征和信号角度特征，并根据所述信号能量特征和所述信号角度特征输出所述第一结果，及在所述第一结果指示所述目标子带被占用的情况下输出所述第二结果。

3. 根据权利要求1所述的方法，其中，所述频谱感知模型包括信号能量感知模型和信号角度感知模型；其中，

所述信号能量感知模型用于：根据所述特征数据输出第一结果；

所述信号角度感知模型用于：在所述第一结果指示所述目标子带被占用的情况下，根据所述特征数据输出第二结果。

4. 根据权利要求3所述的方法，其中，所述特征数据包括以下至少之一：水平天线协方差矩阵，垂直天线协方差矩阵，全部天线协方差矩阵。

5. 根据权利要求4所述的方法，其中，在所述特征数据包括水平天线协方差矩阵和垂直天线协方差矩阵的情况下，所述信号能量感知模型包括：

第一信号能量感知子模型，用于对所述水平天线协方差矩阵进行特征提取，输出水平天线能量特征；

第二信号能量感知子模型，用于对所述垂直天线协方差矩阵进行特征提取，输出垂直天线能量特征；

第三信号能量感知子模型，用于根据所述水平天线能量特征和所述垂直天线能量特征输出所述第一结果。

6. 根据权利要求4所述的方法，其中，在所述特征数据包括水平天线协方差矩阵和垂直天线协方差矩阵的情况下，所述信号角度感知模型包括：

第一信号角度感知子模型，用于对所述水平天线协方差矩阵进行特征提取，输出水平天线角度特征；

第二信号角度感知子模型，用于对所述垂直天线协方差矩阵进行特征提取，输出垂直天线角度特征；

第三信号角度感知子模型，用于根据所述水平天线角度特征和所述垂直天线角度特征输出所述第二结果。

7. 根据权利要求1所述的方法，其中，所述特征数据为天线协方差矩阵；

所述确定目标子带的特征数据，包括：

根据预定义的感知粒度获取目标子带的第一频域数据；

根据所述第一频域数据计算得到所述目标子带的天线协方差矩阵。

8. 根据权利要求7所述的方法，其中，所述预定义的感知粒度包括时域感知粒度和频域感知粒度，所述时域感知粒度用于指示时域感知单位数量，所述频域感知粒度用于指示频域感知单位数量；

所述根据预定义的感知粒度获取目标子带的第一频域数据，包括：

从目标天线获取时域接收信号；

对所述时域接收信号进行离散傅立叶变换，得到所述目标天线的全带宽频域数据；

从所述全带宽频域数据中获取所述目标子带在所述目标天线的第一频域数据，其中，所述第一频域数据包括多个第二频域数据，每个所述第二频域数据对应于一个时域感知单位和一个频域感知单位。

9. 根据权利要求8所述的方法，其中，所述目标天线包括天线阵列中的多个接收天线，所述天线协方差矩阵包括水平天线协方差矩阵；

所述根据所述第一频域数据计算得到所述目标子带的天线协方差矩阵，包括：

将所述多个接收天线划分为多个水平天线组；

对于每个所述水平天线组，根据所述水平天线组对应的第一频域数据、及所述第一频域数据中各个第二频域数据对应的时域感知单位和频域感知单位，构建与所述水平天线组对应的多个第一数据矩阵，每个所述第一数据矩阵对应于一个时域感知单位和一个频域感知单位；

根据所述水平天线组对应的多个第一数据矩阵，计算所述水平天线组对应的水平天线组协方差矩阵；

根据各个水平天线组协方差矩阵计算得到所述目标子带的水平天线协方差矩阵。

10. 根据权利要求8所述的方法，其中，所述目标天线包括天线阵列中的多个接收天线，所述天线协方差矩阵包括垂直天线协方差矩阵；

所述根据所述第一频域数据计算得到所述目标子带的天线协方差矩阵，包括：

将所述多个接收天线划分为多个垂直天线组；

对于每个所述垂直天线组，根据所述垂直天线组对应的第一频域数据、及所述第一频域数据中各个第二

频域数据对应的时域感知单位和频域感知单位,构建与所述垂直天线组对应的多个第二数据矩阵,每个所述第二数据矩阵对应于一个时域感知单位和一个频域感知单位;

根据所述垂直天线组对应的多个第二数据矩阵,计算所述垂直天线组对应的垂直天线组协方差矩阵;

根据各个垂直天线组协方差矩阵计算得到所述目标子带的垂直天线协方差矩阵。

11. 根据权利要求8所述的方法,其中,所述目标天线包括天线阵列中的多个接收天线;所述天线协方差矩阵包括全部天线协方差矩阵;

所述根据所述第一频域数据计算得到所述目标子带的天线协方差矩阵,包括:

根据所述第一频域数据中各个第二频域数据对应的时域感知单位和频域感知单位,构建多个第三数据矩阵,每个所述第三数据矩阵对应于一个时域感知单位和一个频域感知单位;

根据所述多个第三数据矩阵计算得到所述目标子带的全部天线协方差矩阵。

12. 根据权利要求7所述的方法,其中,在根据预定义的感知粒度获取目标子带的第一频域数据之前,所述方法还包括:

将全带宽划分为多个子带,每个所述子带的频域感知单位数量小于或等于频域感知粒度所指示的频域感知单位数量。

13. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述频谱感知模型的训练过程包括:

获取子带的训练样本集,其中,所述训练样本集包括多个第一训练样本和多个第二训练样本,所述第一训练样本包括所述子带未被占用下的样本特征数据和第一标签,所述第二训练样本包括所述子带被占用下的样本特征数据、第二样本标签和第三样本标签,所述第一样本标签用于指示所述子带未被占用,所述第二样本标签用于指示所述子带被占用,所述第三样本标签用于指示所述子带被占用的角度;

基于所述训练样本集对所述频谱感知模型进行训练,直至满足预设的训练结束条件,得到训练好的所述频谱感知模型。

14. 根据权利要求13所述的方法,其中,所述频谱感知模型包括信号能量和角度感知模型,所述信号能量和角度感知模型用于对所述样本特征数据进行特征提取得到信号能量特征和信号角度特征,并根据所述信号能量特征和所述信号角度特征输出所述第一结果,及在所述第一结果指示所述子带被占用的情况下输出所述第二结果。

15. 根据权利要求13所述的方法,其中,所述频谱感知模型包括信号能量感知模型和信号角度感知模型;其中,

所述信号能量感知模型用于:根据所述样本特征数据输出所述第一结果;

所述信号角度感知模型用于:在所述第一结果指示所述子带被占用的情况下,根据所述样本特征数据输出所述第二结果。

16. 根据权利要求15所述的方法,其中,所述样本特征数据包括以下至少之一:水平天线协方差矩阵,垂直天线协方差矩阵,全部天线协方差矩阵。

17. 根据权利要求16所述的方法,其中,在所述样本特征数据包括水平天线协方差矩阵和垂直天线协方差矩阵的情况下,所述信号能量感知模型包括:

第一信号能量感知子模型,用于对所述水平天线协方差矩阵进行特征提取,输出水平天线能量特征;

第二信号能量感知子模型,用于对所述垂直天线协方差矩阵进行特征提取,输出垂直天线能量特征;

第三信号能量感知子模型,用于根据所述水平天线能量特征和所述垂直天线能量特征输出所述第一结果。

18. 根据权利要求16所述的方法,其中,在所述样本特征数据包括水平天线协方差矩阵和垂直天线协方差矩阵的情况下,所述信号角度感知模型包括:

第一信号角度感知子模型,用于对所述水平天线协方差矩阵进行特征提取,输出水平天线角度特征;

第二信号角度感知子模型,用于对所述垂直天线协方差矩阵进行特征提取,输出垂直天线角度特征;

第三信号角度感知子模型,用于根据所述水平天线角度特征和所述垂直天线角度特征输出所述第二结果。

19. 根据权利要求13所述的方法,其中,所述样本特征数据为天线协方差矩阵;

所述样本特征数据的获取过程包括:

根据预定义的感知粒度获取子带的第一频域样本数据;

根据所述第一频域样本数据计算得到所述子带的天线协方差矩阵。

20. 根据权利要求19所述的方法,其中,所述预定义的感知粒度包括时域感知粒度和频域感知粒度,所述时域感知粒度用于指示时域感知单位数量,所述频域感知粒度用于指示频域感知单位数量;

所述根据预定义的感知粒度获取子带的第一频域样本数据,包括:

从目标天线获取时域样本接收信号;

对所述时域样本接收信号进行离散傅立叶变换,得到所述目标天线的全带宽频域样本数据;

从所述全带宽频域样本数据中获取所述子带在所述目标天线的第一频域样本数据,其中,所述第一频域样本数据包括多个第二频域样本数据,每个所述第二频域样本数据对应于一个时域感知单位和一个频域感知单位。

21. 根据权利要求20所述的方法,其中,所述目标天线包括天线阵列中的多个接收天线,所述天线协

差矩阵包括水平天线协方差矩阵；

所述根据所述第一频域样本数据计算得到所述子带的天线协方差矩阵，包括：

将所述多个接收天线划分为多个水平天线组；

对于每个所述水平天线组，根据所述水平天线组对应的第一频域样本数据、及所述第一频域样本数据中各个第二频域样本数据对应的时域感知单位和频域感知单位，构建与所述水平天线组对应的多个第一数据矩阵，每个所述第一数据矩阵对应于一个时域感知单位和一个频域感知单位；

根据所述水平天线组对应的多个第一数据矩阵，计算所述水平天线组对应的水平天线组协方差矩阵；

根据各个水平天线组协方差矩阵计算得到所述子带的水平天线协方差矩阵。

22. 根据权利要求 20 所述的方法，其中，所述目标天线包括天线阵列中的多个接收天线，所述天线协方差矩阵包括垂直天线协方差矩阵；

所述根据所述第一频域样本数据计算得到所述子带的天线协方差矩阵，包括：

将所述多个接收天线划分为多个垂直天线组；

对于每个所述垂直天线组，根据所述垂直天线组对应的第一频域样本数据、及所述第一频域样本数据中各个第二频域样本数据对应的时域感知单位和频域感知单位，构建与所述垂直天线组对应的多个第二数据矩阵，每个所述第二数据矩阵对应于一个时域感知单位和一个频域感知单位；

根据所述垂直天线组对应的多个第二数据矩阵，计算所述垂直天线组对应的垂直天线组协方差矩阵；

根据各个垂直天线组协方差矩阵计算得到所述子带的垂直天线协方差矩阵。

23. 根据权利要求 20 所述的方法，其中，所述目标天线包括天线阵列中的多个接收天线；所述天线协方差矩阵包括全部天线协方差矩阵；

所述根据所述第一频域样本数据计算得到所述子带的天线协方差矩阵，包括：

根据所述第一频域样本数据中各个第二频域样本数据对应的时域感知单位和频域感知单位，构建多个第三数据矩阵，每个所述第三数据矩阵对应于一个时域感知单位和一个频域感知单位；

根据所述多个第三数据矩阵计算得到所述子带的全部天线协方差矩阵。

24. 一种电子设备，包括：

处理器和存储器；

所述存储器上存储有程序指令，所述程序指令当被所述处理器执行时使得所述处理器执行权利要求 1-23 任一项所述的方法。

25. 一种计算机可读存储介质，存储有程序指令，所述程序指令被计算机执行时，实现权利要求 1-23 任一项所述的方法。

26. 一种计算机程序产品，所述计算机程序产品存储有程序指令，所述程序指令在由计算机执行时，使得所述计算机实施权利要求 1-23 任意一项所述的方法。