

# (12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织  
国际局

(43) 国际公布日  
2020 年 7 月 16 日 (16.07.2020)



(10) 国际公布号  
**WO 2020/143606 A1**

- (51) 国际专利分类号:  
**G01S 5/14** (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2020/070638
- (22) 国际申请日: 2020 年 1 月 7 日 (07.01.2020)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:  
201910028442.X 2019 年 1 月 11 日 (11.01.2019) CN
- (71) 申请人: 电信科学技术研究院有限公司  
(**CHINA ACADEMY OF TELECOMMUNICATIONS TECHNOLOGY**) [CN/CN]; 中国北京市海淀区学院路 40 号, Beijing 100191 (CN)。
- (72) 发明人: 范绍帅(**FAN, Shaoshuai**); 中国北京市海淀区学院路 40 号, Beijing 100191 (CN)。 贾杨(**JIA, Yang**); 中国北京市海淀区学院路 40 号, Beijing 100191 (CN)。 李辉(**LI, Hui**); 中国北京市海淀区学院路 40 号, Beijing 100191 (CN)。 田辉(**TIAN, Hui**); 中国北京市海淀区学院路 40 号, Beijing 100191 (CN)。 周梦凡(**ZHOU, Mengfan**); 中国北京市海淀区学院路 40 号, Beijing 100191 (CN)。

- (74) 代理人: 北京银龙知识产权代理有限公司(**DRAGON INTELLECTUAL PROPERTY LAW FIRM**); 中国北京市海淀区西直门北大街 32 号院枫蓝国际中心 2 号楼 10 层, Beijing 100082 (CN)。
- (81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。
- (84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

(54) **Title:** METHOD FOR ESTIMATING ANGLE OF ARRIVAL OF SIGNAL, AND BASE STATION

(54) 发明名称: 信号到达角的估计方法及基站

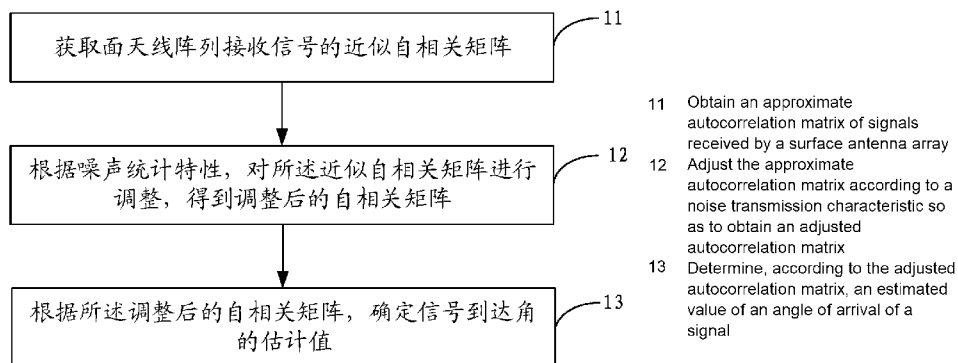


图 1

(57) **Abstract:** A method for estimating an angle of arrival of a signal, and a base station. The method comprises: obtaining an approximate autocorrelation matrix of signals received by a surface antenna array (11); adjusting the approximate autocorrelation matrix according to a noise transmission characteristic so as to obtain an adjusted autocorrelation matrix (12); and determining, according to the adjusted autocorrelation matrix, an estimated value of an angle of arrival of a signal (13).

(57) **摘要:** 一种信号到达角的估计方法及基站, 其中该方法包括: 获取面天线阵列接收信号的近似自相关矩阵(11); 根据噪声传输特性, 对近似自相关矩阵进行调整, 得到调整后的自相关矩阵(12); 根据调整后的自相关矩阵, 确定信号到达角的估计值(13)。

本国际公布：

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

## 信号到达角的估计方法及基站

### 相关申请的交叉引用

本申请主张在 2019 年 1 月 11 日在中国提交的中国专利申请号 No. 201910028442.X 的优先权，其全部内容通过引用包含于此。

### 技术领域

本公开涉及通信技术领域，尤其涉及一种信号到达角的估计方法及基站。

### 背景技术

基于矩阵特征空间分解的多重信号分类 (Multiple Signal Classification, 简称 MUSIC) 方法，在几何上信号处理的观测空间可以分解为彼此正交的信号子空间和噪声子空间。信号子空间由阵列接收到的数据协方差矩阵中与信号对应的特征向量组成，噪声子空间则由协方差矩阵中所有最小特征值 (噪声方差) 对应的特征向量组成。根据其正交性构建空间谱函数，其谱峰对应的角度即是信号到达角。这种算法在低信噪比环境下，由于信号和噪声差别不大或者噪声强于信号，导致信号到达角的估计性能严重下降；当多个相干信源的信号到达角相近时，会出现三种可能情况：(1) 谱函数中强信号将弱信号的谱峰覆盖，导致漏检；(2) 信号强度相当时，不同信号的谱峰互相叠加后只出现一个谱峰，导致漏检并错检；(3) 信号强度相当时，不同信号的谱峰互相叠加后谱峰中移，仍然出现两个谱峰，导致错检。此外，传统的基于旋转不变技术的信号参数估计 (estimating signal parameter via rotational invariance techniques, 简称 ESPRIT) 方法受限于天线阵列的物理结构，也不利于信号到达角的估计性能。

### 发明内容

本公开提供一种信号到达角的估计方法及基站，以解决低信噪比和多相干源信号相近到达场景下，信号到达角度估计性能差的问题。

本公开的实施例提供一种信号到达角的估计方法，包括：

获取面天线阵列接收信号的近似自相关矩阵；

根据噪声传输特性，对所述近似自相关矩阵进行调整，得到调整后的自相关矩阵；

根据所述调整后的自相关矩阵，确定信号到达角的估计值。

其中，所述根据噪声传输特性，对所述近似自相关矩阵进行调整，得到调整后的自相关矩阵，包括：

根据噪声传输特性对应的预设调整方式，对所述近似自相关矩阵中的对角线元素进行调整，得到调整后的自相关矩阵。

其中，所述对所述近似自相关矩阵中的对角线元素进行调整，得到调整后的自相关矩阵，包括：

根据所述近似自相关矩阵中的元素值，确定所述近似自相关矩阵中对角线元素的调整目标值；

根据所述调整目标值，将所述近似自相关矩阵调整为拓普利兹矩阵，得到调整后的自相关矩阵。

其中，所述根据所述近似自相关矩阵中的元素值，确定所述近似自相关矩阵中对角线元素的调整目标值，包括：

分别计算所述近似自相关矩阵中每条对角线上的对角线元素的平均值；

将所述平均值确定为各自对角线上的对角线元素的调整目标值；

其中，所述对角线为主对角线或与所述主对角线平行的副对角线。

其中，所述对所述近似自相关矩阵中的对角线元素进行调整，得到调整后的自相关矩阵，包括：

根据所述近似自相关矩阵，构建噪声对角矩阵；其中，所述噪声对角矩阵的行列数与所述近似自相关矩阵的行列数相等；

根据所述噪声对角矩阵，对所述近似自相关矩阵中的对角线元素进行调整，得到调整后的自相关矩阵。

其中，所述根据所述近似自相关矩阵，构建噪声对角矩阵，包括：

对所述近似自相关矩阵进行特征值分解，得到  $P$  个特征值；

根据所述  $P$  个特征值，构建所述噪声对角矩阵；其中， $P$  为正整数。

其中，所述根据所述  $P$  个特征值，构建所述噪声对角矩阵的步骤，包括：

计算所述  $P$  个特征值中最小的  $P-D$  个特征值的平均值；

将所述平均值确定为对角矩阵中对角线元素的值，以构建所述噪声对角矩阵；其中， $D$  为正整数，且  $D$  小于  $K$ 。

其中，所述根据所述噪声对角矩阵，对所述近似自相关矩阵中的对角线元素进行调整，得到调整后的自相关矩阵，包括：

计算所述近似自相关矩阵与所述噪声对角矩阵之差，得到调整后的自相关矩阵。

其中，所述根据调整后的自相关矩阵，确定信号到达角的估计值，包括：

根据所述自相关矩阵，构建  $D$  路信号的信号子空间以及噪声子空间；其中， $D$  为正整数；

根据所述  $D$  路信号的信号子空间和所述噪声子空间，构建  $D$  个谱函数；

根据所述  $D$  个谱函数，确定所述  $D$  路信号到达角的估计值。

其中，所述根据所述自相关矩阵，构建  $D$  路信号的信号子空间以及噪声子空间，包括：

对所述调整后的自相关矩阵进行特征值分解，得到  $P$  个特征值和所述  $P$  个特征值分别对应的特征向量；其中， $P$  为正整数；

根据所述  $P$  个特征值中最大的前  $D$  个特征值，以及所述  $D$  个特征值对应的  $D$  个特征向量，构建  $D$  路信号的信号子空间；

根据所述  $P$  个特征值中除所述  $D$  个特征值外的  $P-D$  个特征值对应的  $P-D$  个特征向量，构建噪声子空间。

其中，所述根据所述  $P$  个特征值中最大的前  $D$  个特征值，以及所述  $D$  个特征值对应的  $D$  个特征向量，构建  $D$  路信号的信号子空间，包括：

获取信号调节因子；

根据所述信号调节因子对第  $i$  个特征向量进行调节，得到调节后的第  $i$  个特征向量；

根据所述调节后的第  $i$  个特征向量和所述  $D$  个特征向量中除所述第  $i$  个特征向量之外的特征向量，构建第  $i$  路信号的信号子空间；其中， $i$  为正整数，且  $i$  小于或者等于  $D$ 。

其中，所述获取信号调节因子，包括：

根据所述 D 个特征值，确定信号调节因子。

其中，所述根据所述 D 个特征值，确定信号调节因子，包括：

计算所述 D 个特征值的平均值；

将所述平均值确定为所述信号调节因子。

其中，所述根据所述信号调节因子对第 i 个特征向量进行调节，得到调节后的第 i 个特征向量，包括：

将所述调节因子与所述第 i 个特征向量的乘积，确定为调节后的第 i 个特征向量。

其中，所述 D 个谱函数中的第 i 个谱函数为：

$$P_i = \frac{a(\theta_i, \varphi_i)^H E_s^i E_s^{iH} a(\theta_i, \varphi_i)}{a(\theta_i, \varphi_i)^H E_n E_n^H a(\theta_i, \varphi_i)}$$

其中， $P_i$  为第 i 路信号对应的谱函数， $a(\theta_i, \varphi_i)$  为第 i 路信号的导向向量， $\theta_i$  为第 i 路信号的方位角， $\varphi_i$  为第 i 路信号的仰角， $E_s^i$  为第 i 路信号的信号子空间， $E_n$  为噪声子空间，H 表示矩阵的共轭转置；i 为正整数，且 i 小于或者等于 D。

其中，所述根据所述 D 个谱函数，确定 D 路信号到达角的估计值，包括：

按照所述 D 个特征值从大到小的顺序，依次根据所述 D 个谱函数计算所述 D 路信号到达角的估计值。

其中，所述按照所述 D 个特征值从大到小的顺序，依次根据所述 D 个谱函数计算所述 D 路信号到达角的估计值，包括：

计算第 i 个谱函数中前 D 个谱峰值对应的 D 对角度值，所述角度值包括方位角值和仰角值；

根据前 i-1 路信号对应的 i-1 对角度值，将所述 D 对角度值中最大谱峰值对应的一对角度值，确定为所述第 i 路信号的到达角的估计值；i 为正整数，且 i 小于或者等于 D。

其中，所述根据前 i-1 路信号对应的 i-1 对角度值，将所述 D 对角度值中最大谱峰值对应的一对角度值，确定为所述第 i 路信号的到达角的估计值，包括：

确定所述 D 对角度值中除所述 i-1 对角度值之外的 k 对角度值；

将所述  $k$  对角度值中最大谱峰值对应的一对角度值，确定为所述第  $i$  路信号到达角的估计值；其中， $k$  为正整数，且  $k$  小于或者等于  $D$ 。

其中， $D$  由基站侧预先设定，或者从信令中确定，或者由终端侧设定并反馈至基站侧。

本公开一些实施例还提供了一种基站，包括：收发机、存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序，所述处理器执行所述计算机程序时实现以下步骤：

获取面天线阵列接收信号的近似自相关矩阵；

根据噪声传输特性，对所述近似自相关矩阵进行调整，得到调整后的自相关矩阵；

根据所述调整后的自相关矩阵，确定信号到达角的估计值。

其中，所述处理器执行所述计算机程序时实现以下步骤：

根据噪声传输特性对应的预设调整方式，对所述近似自相关矩阵中的对角线元素进行调整，得到调整后的自相关矩阵。

其中，所述处理器执行所述计算机程序时实现以下步骤：

根据所述近似自相关矩阵中的元素值，确定所述近似自相关矩阵中对角线元素的调整目标值；

根据所述调整目标值，将所述近似自相关矩阵调整为拓普利兹矩阵，得到调整后的自相关矩阵。

其中，所述处理器执行所述计算机程序时实现以下步骤：

分别计算所述近似自相关矩阵中每条对角线上的对角线元素的平均值；

将所述平均值确定为各自对角线上的对角线元素的调整目标值；

其中，所述对角线为主对角线或与所述主对角线平行的副对角线。

其中，所述处理器执行所述计算机程序时实现以下步骤：

根据所述近似自相关矩阵，构建噪声对角矩阵；其中，所述噪声对角矩阵的行列数与所述近似自相关矩阵的行列数相等；

根据所述噪声对角矩阵，对所述近似自相关矩阵中的对角线元素进行调整，得到调整后的自相关矩阵。

其中，所述处理器执行所述计算机程序时实现以下步骤：

对所述近似自相关矩阵进行特征值分解，得到  $P$  个特征值；

根据所述  $P$  个特征值，构建所述噪声对角矩阵；其中， $P$  为正整数。

其中，所述处理器执行所述计算机程序时实现以下步骤：

计算所述  $P$  个特征值中最小的  $P-D$  个特征值的平均值；

将所述平均值确定为对角矩阵中对角线元素的值，以构建所述噪声对角矩阵；其中， $D$  为正整数，且  $D$  小于  $K$ 。

其中，所述处理器执行所述计算机程序时实现以下步骤：

计算所述近似自相关矩阵与所述噪声对角矩阵之差，得到调整后的自相关矩阵。

其中，所述处理器执行所述计算机程序时实现以下步骤：

根据所述自相关矩阵，构建  $D$  路信号的信号子空间以及噪声子空间；其中， $D$  为正整数；

根据所述  $D$  路信号的信号子空间和所述噪声子空间，构建  $D$  个谱函数；

根据所述  $D$  个谱函数，确定所述  $D$  路信号到达角的估计值。

其中，所述处理器执行所述计算机程序时实现以下步骤：

对所述调整后的自相关矩阵进行特征值分解，得到  $P$  个特征值和所述  $P$  个特征值分别对应的特征向量；其中， $P$  为正整数；

根据所述  $P$  个特征值中最大的前  $D$  个特征值，以及所述  $D$  个特征值对应的  $D$  个特征向量，构建  $D$  路信号的信号子空间；

根据所述  $P$  个特征值中除所述  $D$  个特征值外的  $P-D$  个特征值对应的  $P-D$  个特征向量，构建噪声子空间。

其中，所述处理器执行所述计算机程序时实现以下步骤：

获取信号调节因子；

根据所述信号调节因子对第  $i$  个特征向量进行调节，得到调节后的第  $i$  个特征向量；

根据所述调节后的第  $i$  个特征向量和所述  $D$  个特征向量中除所述第  $i$  个特征向量之外的特征向量，构建第  $i$  路信号的信号子空间；其中， $i$  为正整数，且  $i$  小于或者等于  $D$ 。

其中，所述处理器执行所述计算机程序时实现以下步骤：

根据所述 D 个特征值，确定信号调节因子。

其中，所述处理器执行所述计算机程序时实现以下步骤：

计算所述 D 个特征值的平均值；

将所述平均值确定为所述信号调节因子。

其中，所述处理器执行所述计算机程序时实现以下步骤：

将所述调节因子与所述第 i 个特征向量的乘积，确定为调节后的第 i 个特征向量。

其中，所述 D 个谱函数中的第 i 个谱函数为：

$$P_i = \frac{a(\theta_i, \varphi_i)^H E_s^i E_s^{iH} a(\theta_i, \varphi_i)}{a(\theta_i, \varphi_i)^H E_n E_n^H a(\theta_i, \varphi_i)}$$

其中， $P_i$  为第 i 路信号对应的谱函数， $a(\theta_i, \varphi_i)$  为第 i 路信号的导向向量， $\theta_i$  为第 i 路信号的方位角， $\varphi_i$  为第 i 路信号的仰角， $E_s^i$  为第 i 路信号的信号子空间， $E_n$  为噪声子空间，H 表示矩阵的共轭转置；i 为正整数，且 i 小于或者等于 D。

其中，所述处理器执行所述计算机程序时实现以下步骤：

按照所述 D 个特征值从大到小的顺序，依次根据所述 D 个谱函数计算所述 D 路信号到达角的估计值。

其中，所述处理器执行所述计算机程序时实现以下步骤：

计算第 i 个谱函数中前 D 个谱峰值对应的 D 对角度值，所述角度值包括方位角值和仰角值；

根据前 i-1 路信号对应的 i-1 对角度值，将所述 D 对角度值中最大谱峰值对应的一对角度值，确定为所述第 i 路信号的到达角的估计值；i 为正整数，且 i 小于或者等于 D。

其中，所述处理器执行所述计算机程序时实现以下步骤：

确定所述 D 对角度值中除所述 i-1 对角度值之外的 k 对角度值；

将所述 k 对角度值中最大谱峰值对应的一对角度值，确定为所述第 i 路信号到达角的估计值；其中，k 为正整数，且 k 小于或者等于 D。

其中，D 由基站侧预先设定，或者从信令中确定，或者由终端侧设定并反馈至基站侧。

本公开一些实施例还提供了一种基站，包括：

获取模块，用于获取面天线阵列接收信号的近似自相关矩阵；

调整模块，用于根据噪声传输特性，对所述近似自相关矩阵进行调整，得到调整后的自相关矩阵；

确定模块，用于根据所述调整后的自相关矩阵，确定信号到达角的估计值。

本公开一些实施例还提供了一种计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序，该计算机程序被处理器执行时实现如上所述的信号到达角的估计方法的步骤。

本公开的上述技术方案的有益效果是：

本公开一些实施例，通过对噪声传输特性，对所述近似自相关矩阵进行调整，进而根据调整后的自相关矩阵，确定信号到达角的估计值，以削弱噪声对于信号到达角检测的影响，提高信号到达角检测精度，并且避免漏检测和错检测；此外，该方案还可以应用于多种类型的面天线阵列的信号到达角的估计，进而利于提高信号到达角估计的适配性。

## 附图说明

图 1 表示本公开一些实施例的信号到达角的估计方法的流程图；

图 2 表示本公开一些实施例的均匀面天线阵列的示意图；

图 3 表示本公开一些实施例中 5G 室内定位场景的示意图；

图 4 表示本公开一些实施例 SRS 参考信号 SINR 仿真结果的示意图；

图 5a 表示本公开一些实施例中采用传统 MUISC 算法的谱峰示意图之一；

图 5b 表示本公开一些实施例中拓普利兹消除噪声算法的谱峰示意图之一；

图 6a 表示本公开一些实施例中采用传统 MUISC 算法的谱峰示意图之二；

图 6b 表示本公开一些实施例中拓普利兹消除噪声算法的谱峰示意图之二；

图 7a 表示本公开一些实施例中特征值分解削弱噪声算法的谱峰示意图之一；

图 7b 表示本公开一些实施例中特征值分解削弱噪声算法的谱峰示意图之二；

图 7c 表示本公开一些实施例中特征值分解削弱噪声算法的谱峰示意图之三；

图 8a 表示本公开一些实施例中仰角的 RMSE 随天线元素数量变化的曲线；

图 8b 表示本公开一些实施例中方位角的 RMSE 随天线元素数量变化的曲线；

图 9 表示本公开一些实施例的基站的框图；

图 10 表示本公开的基站的结构框图。

## 具体实施方式

为使本公开要解决的技术问题、技术方案和优点更加清楚，下面将结合附图及具体实施例进行详细描述。在下面的描述中，提供诸如具体的配置和组件的特定细节仅仅是为了帮助全面理解本公开的实施例。因此，本领域技术人员应该清楚，可以对这里描述的实施例进行各种改变和修改而不脱离本公开的范围和精神。另外，为了清楚和简洁，省略了对已知功能和构造的描述。

应理解，说明书通篇中提到的“一个实施例”或“一实施例”意味着与实施例有关的特定特征、结构或特性包括在本公开的至少一个实施例中。因此，在整个说明书各处出现的“在一个实施例中”或“在一实施例中”未必一定指相同的实施例。此外，这些特定的特征、结构或特性可以任意适合的方式结合在一个或多个实施例中。

在本公开的各种实施例中，应理解，下述各过程的序号的大小并不意味着执行顺序的先后，各过程的执行顺序应以其功能和内在逻辑确定，而不应对本公开一些实施例的实施过程构成任何限定。

另外，本文中术语“系统”和“网络”在本文中常可互换使用。

在本申请所提供的实施例中，应理解，“与 A 相应的 B”表示 B 与 A 相关联，根据 A 可以确定 B。但还应理解，根据 A 确定 B 并不意味着仅仅根据 A 确定 B，还可以根据 A 和/或其它信息确定 B。

本公开一些实施例中，接入网的形式不限，可以是包括宏基站（Macro Base Station）、微基站（Pico Base Station）、Node B（3G 移动基站的称呼）、增强型基站（eNB）、gNB（5G 移动基站的称呼）、家庭增强型基站（Femto eNB 或 Home eNode B 或 Home eNB 或 HeNB）、中继站、接入点、RRU（Remote Radio Unit，远端射频模块）、RRH（Remote Radio Head，射频拉远头）等的接入网。用户终端可以是移动电话（或手机），或者其他能够发送或接收无线信号的装置，包括用户设备、个人数字助理（PDA）、无线调制解调器、无线通信装置、手持装置、膝上型计算机、无绳电话、无线本地回路（WLL）站、能够将移动信号转换为 WiFi 信号的 CPE（Customer Premise Equipment，客户终端）或移动智能热点、智能家电、或其他不通过人的操作就能自发与移动通信网络通信的设备等。

具体地，本公开的实施例提供了一种信号到达角的估计方法，解决了低信噪比和多相干源信号相近到达场景下，信号到达角度估计性能差的问题。

本公开一些实施例中的信号到达角的估计方法由基站侧执行，由终端侧上报到达角估计请求消息。

如图 1 所示，本公开的实施例提供了一种信号到达角的估计方法，具体包括以下步骤：

步骤 11：获取面天线阵列接收信号的近似自相关矩阵。

其中，该面天线阵列包括但不限于：均匀阵列、非均匀阵列、长方形阵列、圆形阵列等。

其中，近似自相关矩阵是  $K$  个不同时刻的接收信号的自相关矩阵的均值； $K$  为正整数。

具体的，在  $t$  时刻的接收信号的自相关矩阵可以采用如下方式确定：基于天线阵列的流型矩阵确定天线阵列在  $t$  时刻的接收信号；根据天线阵列在  $t$  时刻的接收信号，确定该天线阵列的接收信号的自相关矩阵。

进而基于大数据定理，求解  $K$  个不同时刻的接收信号的自相关矩阵的均值，确定为天线阵列接收信号的近似自相关矩阵。需要说明的是， $K$  的取值越大近似效果越好， $K$  的取值可以根据实际需求确定，这里不做具体限定。

为了方便说明，以下以均匀面阵为例：

如图 2, 给出了一种均匀的面天线阵列的示例, 该均匀的面天线阵列 20 有  $N$  行  $M$  列的均匀各向同性的天线元素 201 ( $M$ 、 $N$  为正整数), 有  $D$  路信号到达该天线阵列 ( $D$  为正整数, 且  $D$  小于或者等于  $P$ ,  $P$  与  $M$ 、 $N$  相关联,  $P$  为  $M$ 、 $N$  的乘积) 则天线阵列的流型矩阵构成如下:

$$A = [a(\theta_1, \varphi_1), a(\theta_2, \varphi_2), a(\theta_3, \varphi_3), \dots, a(\theta_D, \varphi_D)]$$

其中,  $A$  表示天线阵列的流型矩阵,  $a(\theta_i, \varphi_i)$  为第  $i$  路信号的导向向量;

$$a(\theta_i, \varphi_i) = [a^1(\theta_i, \varphi_i), a^2(\theta_i, \varphi_i), a^3(\theta_i, \varphi_i), \dots, a^N(\theta_i, \varphi_i)]^T$$

其中,  $a^k(\theta_i, \varphi_i)$  为第  $i$  路信号在第  $k$  行的导向向量,  $T$  表示矩阵的转置; 第  $i$  路信号的导向向量是第  $i$  路信号在天线阵列  $N$  行的导向向量的有机拼接。

$$a^k(\theta_i, \varphi_i) = \left[ e^{\frac{2\pi j(k-1)d_r \sin \theta_i \cos \varphi_i}{\lambda}}, e^{\frac{2\pi j[(k-1)d_r \sin \theta_i \cos \varphi_i + d_c \cos \theta_i \sin \varphi_i]}{\lambda}}, \dots, e^{\frac{2\pi j[(k-1)d_r \sin \theta_i \cos \varphi_i + (M-1)d_c \cos \theta_i \sin \varphi_i]}{\lambda}} \right]^T$$

其中,  $\theta_i$  为第  $i$  路信号的方位角,  $\varphi_i$  为第  $i$  路信号的仰角;  $d_r$  为天线阵列元素的行间距,  $d_c$  为天线阵列元素的列间距;  $i$  为正整数且  $i$  小于或者等于  $D$ ;  $k$  为正整数且  $k$  小于或者等于  $N$ 。

在  $t$  时刻天线阵列端的接收信号为:

$$x(t) = A \times s(t) + n(t)$$

其中,  $x(t)$  为  $t$  时刻天线阵列端的接收信号,  $s(t)$  为  $D$  路信号在  $t$  时刻的复幅值向量,  $n(t)$  为天线阵列的噪声信号,  $A$  为天线阵列的流型矩阵。

根据公式  $\hat{R}_x = E[x(t)x(t)^H]$ , 求解天线阵列端的接收信号  $x(t)$  在  $t$  时刻的自相关。其中,  $\hat{R}_x$  为天线阵列端的接收信号  $x(t)$  在  $t$  时刻的自相关,  $E$  表示期望,  $H$  表示共轭转置。

进一步, 通过求解  $K$  个不同时刻接收信号的自相关矩阵的均值, 近似求解天线阵列端接收信号的近似自相关矩阵, 该近似自相关矩阵为:

$$R_x = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K x_i(t) x_i(t)^H$$

其中,  $R_x$  为天线阵列端接收信号的近似自相关矩阵,  $x_i(t)$  为第  $i$  个  $t$  时刻的接收信号,  $K$  为快拍数。

步骤 12: 根据噪声传输特性, 对所述近似自相关矩阵进行调整, 得到调整后的自相关矩阵。

其中, 噪声传输特性包括噪声传输参数, 如: 信噪比。

例如: 在来波方向差别较大时, 将所述近似自相关矩阵调整为拓普利兹矩阵; 在来波方向差别较小时, 通过噪声的近似方差对所述近似自相关矩阵进行调整, 以削弱噪声对于信号到达角检测的影响, 提高信号到达角检测精度。

步骤 13: 根据所述调整后的自相关矩阵, 确定信号到达角的估计值。

上述方案中, 通过对噪声传输特性, 对所述近似自相关矩阵进行调整, 进而根据调整后的自相关矩阵, 确定信号到达角的估计值, 以削弱噪声对于信号到达角检测的影响, 提高信号到达角检测精度, 并且避免漏检测和错检测; 此外, 该方案还可以应用于多种类型的面天线阵列的信号到达角的估计, 进而利于提高信号到达角估计的适配性。

其中, 上述步骤 12 具体包括: 根据噪声传输特性对应的预设调整方式, 对所述近似自相关矩阵中的对角线元素进行调整, 得到调整后的自相关矩阵。

对所述近似自相关矩阵中的对角线元素进行调整包括但不限于以下方式:

方式一: 根据所述近似自相关矩阵中的元素值, 确定所述近似自相关矩阵中对角线元素的调整目标值;

根据所述调整目标值, 将所述近似自相关矩阵调整为拓普利兹矩阵, 得到调整后的自相关矩阵。

作为一种具体的实现方式, 根据所述近似自相关矩阵中的元素值, 确定所述近似自相关矩阵中对角线元素的调整目标值可以包括:

分别计算所述近似自相关矩阵中每条对角线上的对角线元素的平均值;

其中, 每条对角线上的对角线元素的平均值为:

$$\bar{x}_l = \frac{\sum_{i-j=l} x_{i,j}}{MN - |l|}$$

其中,  $\bar{x}_l$  为第  $l$  条对角线上的对角线元素的平均值,  $i$  为所述近似自相关矩阵中元素的行角标,  $j$  为所述近似自相关矩阵中元素的列角标,  $l = -(MN - 1), -(MN - 2), \dots, -1, 0, 1, \dots, (MN - 2), (MN - 1)$ 。

将所述平均值确定为各自对角线上的对角线元素的调整目标值；其中，所述对角线为主对角线或与所述主对角线平行的副对角线。

进而根据所述调整目标值（每条对角线上的对角线元素的平均值），将所述近似自相关矩阵调整为拓普利兹矩阵，得到调整后的自相关矩阵为：

$$\begin{bmatrix} \bar{x}_0 & \bar{x}_1 & \dots & \dots & \bar{x}_{(MN-2)} & \bar{x}_{(MN-1)} \\ \bar{x}_{(-1)} & \bar{x}_0 & \bar{x}_1 & \dots & \dots & \bar{x}_{(MN-2)} \\ \dots & \bar{x}_{(-1)} & \bar{x}_0 & \bar{x}_1 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \bar{x}_{(-1)} & \bar{x}_0 & \dots & \dots \\ \bar{x}_{(-(MN-2))} & \dots & \dots & \bar{x}_{(-1)} & \dots & \bar{x}_1 \\ \bar{x}_{(-(MN-1))} & \bar{x}_{(-(MN-2))} & \dots & \dots & \dots & \bar{x}_0 \end{bmatrix}$$

该实施例中，当噪声统计特征不理想，或者噪声较大时（如：来波方向较远时），通过将接收信号的近似自相关矩阵调整为拓普利兹矩阵，以削弱噪声对信号到达角检测的影响，从而有利于提高信号到达角检测的精度。

方式二：根据所述近似自相关矩阵，构建噪声对角矩阵；其中，所述噪声对角矩阵的行列数与所述近似自相关矩阵的行列数相等；

根据所述噪声对角矩阵，对所述近似自相关矩阵中的对角线元素进行调整，得到调整后的自相关矩阵。

例如：可以根据所述近似自相关矩阵，确定噪声的近似方差；根据该噪声的近似方差，构建噪声对角矩阵。

作为一种具体的实现方式，根据所述近似自相关矩阵，构建噪声对角矩阵可以包括：

对所述近似自相关矩阵进行特征值分解，得到 P 个特征值；

根据所述 P 个特征值，构建所述噪声对角矩阵；其中，P 为正整数，P 为 M\*N。

进一步地，根据所述 P 个特征值，构建所述噪声对角矩阵可以包括：

计算所述 P 个特征值中最小的 P-D 个特征值的平均值（即噪声的近似方差）；

具体的，对所述近似自相关矩阵进行特征值分解得到的 P 个特征值，将该 P 个特征值按照从大到小的顺序排列为： $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_P$ ；取该从大到小排

列的  $P$  个特征值中最大的前  $D$  个第一特征值, 该  $P$  个特征值中除该  $D$  个第一特征值之外的第二特征值即为  $P$  个特征值中最小的  $P-D$  个特征值。

例如: 该  $P$  个特征值为: 15, 13, 10, 10, 7, 6, 5, 5, 5, 4, 2, 1;  $D$  的取值为 5, 则最大的前  $D$  个特征值为: 15, 13, 10, 10, 7; 最小的  $P-D$  个特征值为: 6, 5, 5, 5, 4, 2, 1。

需要说明的是, 本公开一些实施例在能够区分  $P$  个特征值中最大的前  $D$  个特征值, 以及最小的  $P-D$  个特征值即可, 并非一定需要执行排序的步骤。例如: 在该  $P$  个特征值的大小顺序随机 (可能不是按照从大到小或者从小到大的顺序) 的情况下, 可以不对该  $P$  个特征值的大小顺序进行排列, 而直接筛选出该  $P$  个特征值中最小的  $P-D$  个特征值。

所述  $P$  个特征值中最小的  $P-D$  个特征值的平均值为:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\lambda_{D+1} + \lambda_{D+2} + \dots + \lambda_P}{P - D}$$

其中,  $\hat{\sigma}^2$  为所述  $P$  个特征值中最小的  $P-D$  个特征值的平均值;  $\lambda_{D+1}, \lambda_{D+2}, \dots, \lambda_P$  为所述  $P$  个特征值中最小的  $P-D$  个特征值。

将所述平均值确定为对角矩阵中对角线元素的值, 以构建所述噪声对角矩阵; 其中,  $D$  为正整数, 且  $D$  小于  $K$ 。

其中,  $D$  可以由基站侧预先设定, 或者从信令中确定, 或者由终端侧设定并反馈至基站侧。

作为一种具体的实现方式, 根据所述噪声对角矩阵, 对所述近似自相关矩阵中的对角线元素进行调整, 得到调整后的自相关矩阵可以包括:

计算所述近似自相关矩阵与所述噪声对角矩阵之差, 得到调整后的自相关矩阵。

具体的, 可以通过公式:  $\vec{R}_x = R_x - R_n$ , 得到调整后的自相关矩阵。其中,  $\vec{R}_x$  为调整后的自相关矩阵,  $R_x$  为所述近似自相关矩阵,  $R_n$  为噪声对角矩阵。

该实施例中, 通过计算所述  $P$  个特征值中最小的  $P-D$  个特征值的平均值, 也即计算噪声特征值的平均值, 用以表征噪声水平, 即近似为噪声的方差, 并通过该平均值构建的噪声对角矩阵, 对接收信号的近似自相关矩阵进行调

整，以消除部分噪声对特征值分解的影响（如：在来波方向较近时，噪声对特征值分解的影响），进而削弱噪声对信号到达角检测的影响，从而有利于提高信号到达角检测的精度。

其中，上述步骤 13 具体包括：根据所述自相关矩阵，构建 D 路信号的信号子空间以及噪声子空间；其中，D 为正整数，D 可以由基站侧预先设定，或者从信令中确定，或者由终端侧设定并反馈至基站侧；

根据所述 D 路信号的信号子空间和所述噪声子空间，构建 D 个谱函数；

根据所述 D 个谱函数，确定所述 D 路信号到达角的估计值。

进一步地，根据所述自相关矩阵，构建 D 路信号的信号子空间以及噪声子空间可以包括：

对所述调整后的自相关矩阵进行特征值分解，得到 P 个特征值和所述 P 个特征值分别对应的特征向量；其中，P 为正整数；

根据所述 P 个特征值中最大的前 D 个特征值，以及所述 D 个特征值对应的 D 个特征向量，构建 D 路信号的信号子空间；

根据所述 P 个特征值中除所述 D 个特征值外的 P-D 个特征值对应的 P-D 个特征向量，构建噪声子空间。

具体的，对所述调整后的自相关矩阵进行特征值分解，得到 P 个特征值、所述 P 个特征值分别对应的特征向量以及所述特征向量构成的特征矩阵；将该 P 个特征值按照从大到小的顺序进行排序，特征矩阵根据特征向量与特征值之间的对应关系进行调整，最终得到排序后的 P 个特征值、P 个特征值分别对应的特征向量，以及调整后的特征矩阵。其中，P 个特征值中最大的前 D 个特征值对应信号，最小的后 P-D 各特征值对应噪声。

更进一步地，根据所述 P 个特征值中最大的前 D 个特征值，以及所述 D 个特征值对应的 D 个特征向量，构建 D 路信号的信号子空间可以包括：

获取信号调节因子；

具体的，可以根据所述 D 个特征值，确定信号调节因子，用以表征信号的能量和。作为一种具体的实现方式，可以是计算所述 D 个特征值的平均值；将所述平均值确定为所述信号调节因子。

其中，信号调节因子为： $\alpha = \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \dots + \lambda_D^2$ ，其中  $\alpha$  为信号调节因

子； $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_D$ 为P个特征值中最大的前D个特征值。

根据所述信号调节因子对第i个特征向量进行调节，得到调节后的第i个特征向量；

作为一种具体的实现方式，可以是将所述调节因子与所述第i个特征向量的乘积，确定为调节后的第i个特征向量，即增大第i个特征向量的幅值，实现对该第i个特征向量的调节。

根据所述调节后的第i个特征向量和所述D个特征向量中除所述第i个特征向量之外的特征向量，构建第i路信号的信号子空间；其中，i为正整数，且i小于或者等于D。

第i路信号的信号子空间为：

$$E_s^i = [v_1 \ v_2 \ v_3 \ \dots \ \alpha * v_i \ \dots v_D]$$

其中， $v_1, v_2, v_3, \dots, v_D$ 是与所述D个特征值分别对应的特征向量， $v_i$ 是与特征值 $\lambda_i$ 对应的特征向量，也即时特征矩阵中的第i列。

噪声子空间为：

$$E_n = [v_{D+1} \ v_{D+2} \ v_3 \ \dots \ v_P]$$

其中， $v_{D+1}, v_{D+2}, \dots, v_P$ 是与所述P-D个特征值分别对应的特征向量。

所述D个谱函数中的第i个谱函数为：

$$P_i = \frac{a(\theta_i, \varphi_i)^H E_s^i E_s^{iH} a(\theta_i, \varphi_i)}{a(\theta_i, \varphi_i)^H E_n E_n^H a(\theta_i, \varphi_i)}$$

其中， $P_i$ 为第i路信号对应的谱函数， $a(\theta_i, \varphi_i)$ 为第i路信号的导向向量， $\theta_i$ 为第i路信号的方位角， $\varphi_i$ 为第i路信号的仰角， $E_s^i$ 为第i路信号的信号子空间， $E_n$ 为噪声子空间，H表示矩阵的共轭转置；i为正整数，且i小于或者等于D。

该实施例中，通过调节因子对第i个特征向量进行调节，相当于用所有信号的能量和去调节第i路信号，使其成为强信号，避免第i路信号的谱峰可能被强信号的谱峰覆盖的问题，还可以避免第i路信号的信号与其他信号的信号强度可能相当时，导致的漏、错检问题，从而解决邻居信号的谱峰干扰问题，有利于提升信号到达角相差较小的情况下信号到达角的估计精度，

并且具有较好的稳定性，有效减少了漏检和错检率。

进一步地，根据所述  $D$  个谱函数，确定  $D$  路信号到达角的估计值可以包括：按照所述  $D$  个特征值从大到小的顺序，依次根据所述  $D$  个谱函数计算所述  $D$  路信号到达角的估计值。

其中，特征值与特征向量对应，信号子空间与特征向量关联， $D$  个谱函数与  $D$  路信号的信号子空间一一对应，则  $D$  个谱函数的计算次序即为该  $D$  个特征值从大到小的顺序。

更进一步地，所述按照所述  $D$  个特征值从大到小的顺序，依次根据所述  $D$  个谱函数计算所述  $D$  路信号到达角的估计值，包括：

计算第  $i$  个谱函数中前  $D$  个谱峰值对应的  $D$  对角度值，所述角度值包括方位角值和仰角值；

根据前  $i-1$  路信号对应的  $i-1$  对角度值，将所述  $D$  对角度值中最大谱峰值对应的一对角度值，确定为所述第  $i$  路信号的到达角的估计值； $i$  为正整数，且  $i$  小于或者等于  $D$ 。

作为一种具体的实现方式，可以是确定所述  $D$  对角度值中除所述  $i-1$  对角度值之外的  $k$  对角度值；将所述  $k$  对角度值中最大谱峰值对应的一对角度值，确定为所述第  $i$  路信号到达角的估计值；其中， $k$  为正整数，且  $k$  小于或者等于  $D$ 。

例如：第  $i$  对角度值（第  $i$  路信号到达角的估计值）的检验过程为：将已检出的前  $i-1$  对角度值存于数组 **Angle** 中，对第  $i$  个谱函数进行谱峰搜索。取出前  $D$  个谱峰值对应的  $D$  对角度值，并从该  $D$  对角度值中剔除掉数组 **Angle** 中已检出的  $i-1$  对角度，剩余的  $D-i+1$ （即为  $k$ ）对角度值中与最大谱峰值对应的一对角度值即是第  $i$  对角度值（第  $i$  路信号到达角的估计值）。这样，经过  $D$  次相同的谱峰搜索过程， $D$  路信号分别对应的  $D$  对方位角和仰角可以被成功检出，并且具有较好的精度。

以下结合具体应用场景对本公开一些实施例的信号到达角的估计方法进行说明：

如图 3，给出了一种 5G 室内定位场景。在  $120 \times 50\text{m}$  的室内空间内，基站间距  $20\text{m}$ ，高  $3\text{m}$  与室内环境高度一致进行部署。在此场景下，由于基站的

密集部署，用户终端在同一时刻可能与多个基站之间存在直射径。图 3 中，BS 表示基站 (Base Station)。

上行链路的信道探测信号 (Sounding reference signal, 简称 SRS)，由用户终端周期性的上报给基站，且与发送的数据无关，占用独立频域资源，本是为了估计上行信道频域信息，做频率选择性调度；用于估计上行信道，做下行波束赋形等。由于 SRS 信号周期性、可配置性以及独立存在性即不需要发送数据，也可以独立存在，有利于作为实时定位参考信号。

5G 中的 SRS 信号的序列生成和物理资源映射过程如下：

SRS 资源由 SRS 资源信息部分 (SRS—Resource IE) 配置完成，主要包含：

$N_{\text{ap}}^{\text{SRS}} \in \{1, 2, 4\}$ ，指天线端口数目  $\{p_i\}_{i=0}^{N_{\text{ap}}^{\text{SRS}}-1}$ ， $p_i \in \{1000, 1001, \dots\}$ 。SRS 天线端口在 1000~2000 间，端口数目可以有 1, 2, 4 三种选择。

$N_{\text{symb}}^{\text{SRS}} \in \{1, 2, 4\}$ ，指连续的 OFDM 符号数。

$l_0$ ，指时域的开始位置，由  $l_0 = N_{\text{symb}}^{\text{slot}} - 1 - l_{\text{offset}}$  得出，其中  $l_{\text{offset}} \in \{0, 1, \dots, 5\}$ ， $N_{\text{symb}}^{\text{slot}}$  代表单个时隙里的符号数， $l_{\text{offset}} \geq N_{\text{symb}}^{\text{SRS}} - 1$  表示单个时隙保证完成  $N_{\text{symb}}^{\text{SRS}} \in \{1, 2, 4\}$  符号的传输。

$k_0$ ，指频域的开始位置。

SRS 序列生成：

$$\begin{aligned} r^{(p_i)}(n, l') &= r_{u,v}^{(\alpha_i, \delta)}(n) \\ 0 &\leq n \leq M_{\text{sc},b}^{\text{RS}} - 1 \\ l' &\in \{0, 1, \dots, N_{\text{symb}}^{\text{SRS}} - 1\} \end{aligned}$$

$M_{\text{sc},b}^{\text{RS}}$  是 SRS 序列长度， $r_{u,v}^{(\alpha_i, \delta)}(n)$  是随机序列生成器， $\delta = \log_2(K_{\text{TC}})$ ， $K_{\text{TC}}$  是传输梳数 (transmission comb number)，取值 2 或 4， $\alpha_i$  是天线端口  $p_i$  的循环移位。

SRS 序列向物理层映射:

即将 SRS 序列中的  $(k', l')$  符号按照某种规则映射到资源块的  $(k' + k_0^{(p_i)}, l' + l_0)$  进行传输。

$$a_{K_{TC}k' + k_0^{(p_i)}, l' + l_0}^{(p_i)} = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{N_{ap}}} \beta_{SRS} r^{(p_i)}(k', l') & k' = 0, 1, \dots, M_{sc,b}^{RS} - 1 \quad l' = 0, 1, \dots, N_{symb}^{SRS} - 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$M_{sc,b}^{RS} = m_{SRS,b} N_{sc}^{RB} / K_{TC}$$

$m_{SRS,b}$  可以通过查看表一不同的小区参考信号 (Cell Reference Signal, 简称 CRS) 配置模式得到,  $N_{sc}^{RB}$  表示一个无线电报务员 (Radio Bearer, 简称 RB) 内子载波数目, otherwise 表示其他。

$$k_0^{(p_i)} = \bar{k}_0^{(p_i)} + \sum_{b=0}^{B_{SRS}} K_{TC} M_{sc,b}^{SRS} n_b$$

$$\bar{k}_0^{(p_i)} = n_{shift} N_{sc}^{RB} + k_{TC}^{(p_i)}$$

$$k_{TC}^{(p_i)} = \begin{cases} (\bar{k}_{TC} + K_{TC}/2) \bmod K_{TC} & \text{if } n_{SRS}^{cs} \in \{n_{SRS}^{cs,max}/2, \dots, n_{SRS}^{cs,max} - 1\} \text{ and } N_{ap}^{SRS} = 4 \text{ and } p_i \in \{1001, 1003\} \\ \bar{k}_{TC} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\bar{k}_{TC} \in \{0, 1, \dots, K_{TC} - 1\}$  是上层配置的传输梳补偿 (transmission comb offse),

$n_{shift}$  是上层配置的频率移位量, 以四的倍数调整 SRS 分配与公共资源块网  
格对齐。

$$n_b = \lfloor 4n_{RRC} / m_{SRS,b} \rfloor \bmod N_b$$

$n_{RRC}$  是上层配置的量,  $N_b$  可以通过查下表一得到。

基于以上公式, SRS 信号的复用因子大致可表示为  $K_{TC} * N_b$ ,  $K_{TC}$  取值为 2 或 4。由下表一查看  $N_b$  ( $N_1, N_2, N_3$ ) 取值, 根据 CRS 配置方式不同, 取值从 1 到 17。

表一: SRS 的 CRS 配置方式。

| $C_{SRS}$ | $B_{SRS} = 0$ |       | $B_{SRS} = 1$ |       | $B_{SRS} = 2$ |       | $B_{SRS} = 3$ |       |
|-----------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|
|           | $m_{SRS,0}$   | $N_0$ | $m_{SRS,1}$   | $N_1$ | $m_{SRS,2}$   | $N_2$ | $m_{SRS,3}$   | $N_3$ |
| 0         | 4             | 1     | 4             | 1     | 4             | 1     | 4             | 1     |

|    |     |   |    |    |    |    |    |   |
|----|-----|---|----|----|----|----|----|---|
| 1  | 8   | 1 | 4  | 2  | 4  | 1  | 4  | 1 |
| 2  | 12  | 1 | 4  | 3  | 4  | 1  | 4  | 1 |
| 3  | 16  | 1 | 4  | 4  | 4  | 1  | 4  | 1 |
| 4  | 16  | 1 | 8  | 2  | 4  | 2  | 4  | 1 |
| 5  | 20  | 1 | 4  | 5  | 4  | 1  | 4  | 1 |
| 6  | 24  | 1 | 4  | 6  | 4  | 1  | 4  | 1 |
| 7  | 24  | 1 | 12 | 2  | 4  | 3  | 4  | 1 |
| 8  | 28  | 1 | 4  | 7  | 4  | 1  | 4  | 1 |
| 9  | 32  | 1 | 16 | 2  | 8  | 2  | 4  | 2 |
| 10 | 36  | 1 | 12 | 3  | 4  | 3  | 4  | 1 |
| 11 | 40  | 1 | 20 | 2  | 4  | 5  | 4  | 1 |
| 12 | 48  | 1 | 16 | 3  | 8  | 2  | 4  | 2 |
| 13 | 48  | 1 | 24 | 2  | 12 | 2  | 4  | 3 |
| 14 | 52  | 1 | 4  | 13 | 4  | 1  | 4  | 1 |
| 15 | 56  | 1 | 28 | 2  | 4  | 7  | 4  | 1 |
| 16 | 60  | 1 | 20 | 3  | 4  | 5  | 4  | 1 |
| 17 | 64  | 1 | 32 | 2  | 16 | 2  | 4  | 4 |
| 18 | 72  | 1 | 24 | 3  | 12 | 2  | 4  | 3 |
| 19 | 72  | 1 | 36 | 2  | 12 | 3  | 4  | 3 |
| 20 | 76  | 1 | 4  | 19 | 4  | 1  | 4  | 1 |
| 21 | 80  | 1 | 40 | 2  | 20 | 2  | 4  | 5 |
| 22 | 88  | 1 | 44 | 2  | 4  | 11 | 4  | 1 |
| 23 | 96  | 1 | 32 | 3  | 16 | 2  | 4  | 4 |
| 24 | 96  | 1 | 48 | 2  | 24 | 2  | 4  | 6 |
| 25 | 104 | 1 | 52 | 2  | 4  | 13 | 4  | 1 |
| 26 | 112 | 1 | 56 | 2  | 28 | 2  | 4  | 7 |
| 27 | 120 | 1 | 60 | 2  | 20 | 3  | 4  | 5 |
| 28 | 120 | 1 | 40 | 3  | 8  | 5  | 4  | 2 |
| 29 | 120 | 1 | 24 | 5  | 12 | 2  | 4  | 3 |
| 30 | 128 | 1 | 64 | 2  | 32 | 2  | 4  | 8 |
| 31 | 128 | 1 | 64 | 2  | 16 | 4  | 4  | 4 |
| 32 | 128 | 1 | 16 | 8  | 8  | 2  | 4  | 2 |
| 33 | 132 | 1 | 44 | 3  | 4  | 11 | 4  | 1 |
| 34 | 136 | 1 | 68 | 2  | 4  | 17 | 4  | 1 |
| 35 | 144 | 1 | 72 | 2  | 36 | 2  | 4  | 9 |
| 36 | 144 | 1 | 48 | 3  | 24 | 2  | 12 | 2 |
| 37 | 144 | 1 | 48 | 3  | 16 | 3  | 4  | 4 |
| 38 | 144 | 1 | 16 | 9  | 8  | 2  | 4  | 2 |

|    |     |   |     |    |    |    |   |    |
|----|-----|---|-----|----|----|----|---|----|
| 39 | 152 | 1 | 76  | 2  | 4  | 19 | 4 | 1  |
| 40 | 160 | 1 | 80  | 2  | 40 | 2  | 4 | 10 |
| 41 | 160 | 1 | 80  | 2  | 20 | 4  | 4 | 5  |
| 42 | 160 | 1 | 32  | 5  | 16 | 2  | 4 | 4  |
| 43 | 168 | 1 | 84  | 2  | 28 | 3  | 4 | 7  |
| 44 | 176 | 1 | 88  | 2  | 44 | 2  | 4 | 11 |
| 45 | 184 | 1 | 92  | 2  | 4  | 23 | 4 | 1  |
| 46 | 192 | 1 | 96  | 2  | 48 | 2  | 4 | 12 |
| 47 | 192 | 1 | 96  | 2  | 24 | 4  | 4 | 6  |
| 48 | 192 | 1 | 64  | 3  | 16 | 4  | 4 | 4  |
| 49 | 192 | 1 | 24  | 8  | 8  | 3  | 4 | 2  |
| 50 | 208 | 1 | 104 | 2  | 52 | 2  | 4 | 13 |
| 51 | 216 | 1 | 108 | 2  | 36 | 3  | 4 | 9  |
| 52 | 224 | 1 | 112 | 2  | 56 | 2  | 4 | 14 |
| 53 | 240 | 1 | 120 | 2  | 60 | 2  | 4 | 15 |
| 54 | 240 | 1 | 80  | 3  | 20 | 4  | 4 | 5  |
| 55 | 240 | 1 | 48  | 5  | 16 | 3  | 8 | 2  |
| 56 | 240 | 1 | 24  | 10 | 12 | 2  | 4 | 3  |
| 57 | 256 | 1 | 128 | 2  | 64 | 2  | 4 | 16 |
| 58 | 256 | 1 | 128 | 2  | 32 | 4  | 4 | 8  |
| 59 | 256 | 1 | 16  | 16 | 8  | 2  | 4 | 2  |
| 60 | 264 | 1 | 132 | 2  | 44 | 3  | 4 | 11 |
| 61 | 272 | 1 | 136 | 2  | 68 | 2  | 4 | 17 |
| 62 | 272 | 1 | 68  | 4  | 4  | 17 | 4 | 1  |
| 63 | 272 | 1 | 16  | 17 | 8  | 2  | 4 | 2  |

本公开一些实施例中使用用户密度、SRS 复用因子、干扰模型结合点对点协议 (Point-to-Point Protocol, 简称 PPP) 推演 5G 室内 (Indoor) 场景下 SRS 作为上行定位参考信号的典型信号与干扰加噪声比 (Signal to Interference plus Noise Ratio, 简称 SINR), 以便进行下一步的仿真, 具体过程如下:

用户位置可以用密度为  $\lambda_u$  的齐次泊松点过程  $\Phi_u$  进行建模, 网络中基站的位置同样采用密度为  $\lambda$  的独立于  $\Phi_u$  的齐次泊松点过程  $\Phi$  进行建模。

基站接收到用户  $i$  参考信号的 SINR 可定义为:

$$SINR_i(r) = \frac{P_i h_i r_i^{-\alpha}}{\sum_{j \in \Phi_u \setminus i} P_j h_j r_j^{-\alpha} + \sigma^2}$$

其中,  $h$  为用户与基站间的小尺度衰落,  $h \sim \exp(1)$ 。

对于一定的 SINR 门限值  $\tau$ , 典型用户的成功接收概率可表示为:

$$\begin{aligned} P_c &= E_r \left[ P \left[ \text{SINR}_i(r) > \tau \right] \right] \\ &= \int_0^\infty P \left[ \text{SINR}_i(r) > \tau \right] f_i(r) dr \end{aligned}$$

半径  $R$  区域内是少存在一个用户的概率为  $1 - e^{-\lambda_u \pi R^2}$ , 用户到基站距离的概率密度函数可以表示为:

$$f_{R_i}(r) = \frac{d(1 - P[R_i > r])}{dr} = 2\lambda_u \pi r e^{-\lambda_u \pi r^2}$$

将参考信号 SINR 改写为  $\text{SINR}_i(r) = h_i / P_i^{-1} r^\alpha Q$ , 其中  $Q = I + \sigma^2$ 。因此,

$$\begin{aligned} &P \left[ \text{SINR}_i(r) > \tau \right] \\ &= P \left[ h_i > r^\alpha P_i^{-1} \tau Q \right] \\ &= \int_0^\infty \exp \{ -r^\alpha P_i^{-1} \tau q \} f_Q(q) dq \\ &= E_Q \left[ \exp \{ -r^\alpha P_i^{-1} \tau q \} \right] \\ &= \exp \left\{ -\frac{\tau \sigma^2}{r^{-\alpha} P_i} \right\} L_I \left( r^\alpha P_i^{-1} \tau \right) \end{aligned}$$

其中, 干扰项  $I$  的拉普拉斯变换表示为:

$$\begin{aligned} &L_I \left( r^\alpha P_i^{-1} \tau \right) \\ &= E_I \left[ \exp \{ -r^\alpha P_i^{-1} \tau I \} \right] \\ &= E_{\Phi_u} \left[ \exp \left\{ -r^\alpha P_j P_i^{-1} \tau \sum_{j \in \Phi_u} h_j r_j^{-\alpha} \right\} \right] \\ &= \exp \left\{ -2\pi\lambda_u \int_D^\infty \left( 1 - L_h \left( r^\alpha P_j P_i^{-1} \tau x^{-\alpha} \right) \right) x dx \right\} \\ &= \exp \left\{ -2\pi\lambda_u \int_D^\infty \frac{x}{1 + \left( r^\alpha P_j P_i^{-1} \tau \right)^{-1} x^\alpha} x dx \right\} \\ &= \exp \{ -\pi\lambda_u \rho(\tau, \alpha) r^2 \} \end{aligned}$$

其中,  $\rho(\tau, \alpha) = \tau^{2/\alpha} \int_{D^2 \tau^{-2/\alpha} r^{-2}}^{\infty} (1/(1+x^{\alpha/2})) dx$ 。

综上可以得到:

$$P_c = E_r \left[ P \left[ SINR_i(r) > \tau \right] \right] = 2\pi\lambda_u \int_0^{\infty} r \exp\{-\tau r^{\alpha} \sigma^2 P_u^{-1} - \pi r^2 \lambda_u (1 + \rho(\tau, \alpha))\} dr$$

所以,

$$P[SINR = \tau] = \frac{d(1 - P_c)}{d\tau}$$

表二: SRS 参考信号 SINR 仿真参数表。

| 仿真参数        | 取值           |
|-------------|--------------|
| $\lambda_u$ | 1/16         |
| P           | 23dBm        |
| $\alpha$    | 4            |
| 距基站最小距离     | 5m           |
| 噪声          | -174dBm/Hz   |
| $\sigma^2$  | $10^{-13.4}$ |

如图 4, 给出了一种 SRS 参考信号 SINR 仿真结果的示例, 其中, y 轴表示成功接收的概率, x 轴表示正确接收门限设定值  $\tau$  (单位为 dB), 由图 4 可知, 当接收门限设定为 -10dB 时, 将近 90% 的传输可以被正确接收, 即表示该场景下有 90% 用户 SRS 信号的 SINR 在 -10dB 及以上。

以下为本公开一些实施例的信号达到角估计方法仿真分析:

拓普利兹削弱噪声:

仿真中有三路信号分别以  $30^\circ$ ,  $34^\circ$ ,  $38^\circ$  到达天线阵列, 信噪比 -10dB, 快拍数为 1024, 谱峰扫描步长  $0.05^\circ$ , 天线阵列的天线元素数目为 20。图 5a 是采用以上参数进行传统 MUISC 算法的谱峰示意图, 图 5a 中只有锋利的一个峰值点。图 5b 是采用以上参数进行本公开一些实施例中的拓普利兹消除噪声算法的谱峰示意图, 可见本公开一些实施例能够清晰地分辨出三个峰值

点。图 5a 和图 5b 中横轴表示信号到达角（单位为 $^{\circ}$ ），纵轴表示信噪比（单位为 dB）。

仿真中有三路信号分别以  $30^{\circ}$  ,  $33^{\circ}$  ,  $36^{\circ}$  到达天线阵列, 信噪比 $-10\text{dB}$ , 快拍数为 1024, 谱峰扫描步长  $0.05^{\circ}$  , 天线阵列的天线元素数目为 20。如图 6a, 是基于图 5a 进行修改后的谱峰示意图, 图 6a 是采用以上参数进行传统 MUSIC 算法的谱峰示意图, 图 6b 是采用以上参数进行本公开一些实施例中的拓普利兹消除噪声算法的谱峰示意图, 图 6a 和图 6b 中横轴表示信号到达角（单位为 $^{\circ}$ ），纵轴表示信噪比（单位为 dB）。通过对比修改前后的仿真结果发现, 该操作只是增加了谱峰的锐利程度并不能提升角度估计的精度和分辨率, 拓普利兹消除噪声算法在信号到达角相差较小时存在局限性, 在信号到达角相差较大时具有提升角度估计的精度和分辨率的显著效果。

特征值分解削弱噪声:

在同样的仿真环境下（即三路信号分别以  $30^{\circ}$  ,  $33^{\circ}$  ,  $36^{\circ}$  到达天线阵列, 信噪比 $-10\text{dB}$ , 快拍数为 1024, 谱峰扫描步长  $0.05^{\circ}$  , 天线阵列的天线元素数目为 20), 采用特征值分解削弱噪声方法以及到达角谱峰扫描策略可以得出三个信号到达角度, 分别为  $30.95^{\circ}$  ,  $35.65^{\circ}$  ,  $33.25^{\circ}$  , 各自对应的谱峰如图 7a、图 7b、图 7c 所示, 其中横轴表示信号到达角（单位为 $^{\circ}$ ），纵轴表示信噪比（单位为 dB）。与真实值分别相差  $0.95^{\circ}$  ,  $0.25^{\circ}$  ,  $0.35^{\circ}$  。可见, 通过特征值分解削弱噪声影响, 并采用本公开一些实施例中的谱函数构建法和谱峰扫描策略可以在信号到达角度较近时提供较为准确的角度估计结果。

不同信号到达情形下的各方案均方根误差（root-mean-square error, 简称 RMSE）仿真:

仿真环境:

仰角 $\theta = [51\ 55\ 59\ 63\ 67; 23\ 35\ 47\ 59\ 71]$  , 方位角 $\varphi = [36\ 40\ 44\ 48\ 52; 22\ 33\ 44\ 55\ 66]$ ; 设定两组三维角度值, 分别是来波角度相差大约  $10^{\circ}$  和  $4^{\circ}$  的情景, RMSE 结果如表三。

表三:

| 参数 | 拓普利兹削弱噪声 MUSIC | 特征值分解削弱噪声 MUSIC |
|----|----------------|-----------------|
|----|----------------|-----------------|

|             |                        |        |                        |        |                        |       |                        |       |
|-------------|------------------------|--------|------------------------|--------|------------------------|-------|------------------------|-------|
| 500 drops   |                        |        |                        |        |                        |       |                        |       |
| 快拍数         | 1024                   |        |                        |        |                        |       |                        |       |
| 天线阵列        | 10*10                  |        |                        |        |                        |       |                        |       |
| 信噪比         | -10~0dB 随机，<br>且每路信号相同 |        | -10~0dB 随机，<br>且每路信号不同 |        | -10~0dB 随机，<br>且每路信号相同 |       | -10~0dB 随机，<br>且每路信号不同 |       |
| 到达角差        | 大                      | 小      | 大                      | 小      | 大                      | 小     | 大                      | 小     |
| RMSE 仰角 /°  | 9.999e-04              | 20.627 | 0.00126                | 20.472 | 0.00412                | 0.922 | 0.00368                | 0.915 |
| RMSE 方位角 /° | 4.472e-04              | 15.670 | 4.472e-04              | 15.536 | 7.746e-04              | 0.630 | 0.001095               | 0.629 |

仿真环境：信噪比固定为-5dB，200次 drop，快拍数 1024。

如图 8a，是仰角的 RMSE 随天线元素数量变化的曲线，如图 8b，是方位角的 RMSE 随天线元素数量变化的曲线。

当信号到达角度较远，各路信号信噪比随机产生于-10~0dB 时，特征值分解削弱噪声 MUSIC 算法仰角的 RMSE 在  $0.004^{\circ}$  左右，方位角的 RMSE 在  $7e-4^{\circ}$  左右。而拓普利兹削弱噪声 MUSIC 算法仰角的 RMSE 在  $0.001^{\circ}$  左右，方位角的 RMSE 值在  $4e-4^{\circ}$  左右，可以提供更加准确的精度。

当信号到达角度较近，各路信号信噪比随机产生于-10~0dB 时，拓普利兹削弱噪声 MUSIC 算法仰角的 RMSE 在  $20^{\circ}$  左右，方位角的 RMSE 值在  $15^{\circ}$  左右。而特征值分解削弱噪声 MUSIC 算法仰角的 RMSE 在  $0.9^{\circ}$  左右，方位角的 RMSE 在  $0.6^{\circ}$  左右。

由以上的仿真结果可知，本公开一些实施例中的信号到达角估计方法，能够更好地应对低信噪比环境和多路信号到达角度相近的情景。其中方位角的精度普遍高于仰角的估计精度，可采用立体天线阵列提高仰角的估计精度。

由仿真不同天线阵列元素个数的角度估计 RMSE，可以看出该方法存在天

线阵列元素个数的下限，即为了保证信号到达角的估计精度，需要提供一定尺寸的天线阵列。通过仿真结果可知，当天线元素个数到达门限后，角度估计精度对于天线尺寸不再敏感。因此，在生产实际中只要保证天线尺寸达到门限值，角度估计就可以获得较好的收益。

以上实施例就本公开的信号到达角的估计方法做出介绍，下面本实施例将结合附图对其对应的基站做进一步说明。

具体地，如图9所示，本公开一些实施例的基站900，包括：

获取模块910，用于获取面天线阵列接收信号的近似自相关矩阵；

调整模块920，用于根据噪声传输特性，对所述近似自相关矩阵进行调整，得到调整后的自相关矩阵；

确定模块930，用于根据所述调整后的自相关矩阵，确定信号到达角的估计值。

其中，所述调整模块920包括：

调整子模块，用于根据噪声传输特性对应的预设调整方式，对所述近似自相关矩阵中的对角线元素进行调整，得到调整后的自相关矩阵。

其中，所述调整子模块包括：

确定单元，用于根据所述近似自相关矩阵中的元素值，确定所述近似自相关矩阵中对角线元素的调整目标值；

第一调整单元，用于根据所述调整目标值，将所述近似自相关矩阵调整为拓普利兹矩阵，得到调整后的自相关矩阵。

其中，所述确定单元包括：

第一计算子单元，用于分别计算所述近似自相关矩阵中每条对角线上的对角线元素的平均值；

第一确定子单元，用于将所述平均值确定为各自对角线上的对角线元素的调整目标值；

其中，所述对角线为主对角线或与所述主对角线平行的副对角线。

其中，所述调整子模块包括：

构建单元，用于根据所述近似自相关矩阵，构建噪声对角矩阵；其中，所述噪声对角矩阵的行列数与所述近似自相关矩阵的行列数相等；

第二调整单元，用于根据所述噪声对角矩阵，对所述近似自相关矩阵中的对角线元素进行调整，得到调整后的自相关矩阵。

其中，所述构建单元包括：

分解子单元，用于对所述近似自相关矩阵进行特征值分解，得到  $P$  个特征值；

第一构建子单元，用于根据所述  $P$  个特征值，构建所述噪声对角矩阵；其中， $P$  为正整数。

其中，所述第一构建子单元具体用于：计算所述  $P$  个特征值中最小的  $P-D$  个特征值的平均值；将所述平均值确定为对角矩阵中对角线元素的值，以构建所述噪声对角矩阵；其中， $D$  为正整数，且  $D$  小于  $K$ 。

其中，所述第二调整单元包括：

第二计算子单元，用于计算所述近似自相关矩阵与所述噪声对角矩阵之差，得到调整后的自相关矩阵。

其中，所述确定模块 930 包括：

第一构建子模块，用于根据所述自相关矩阵，构建  $D$  路信号的信号子空间以及噪声子空间；其中， $D$  为正整数；

第二构建子模块，用于根据所述  $D$  路信号的信号子空间和所述噪声子空间，构建  $D$  个谱函数；

确定子模块，用于根据所述  $D$  个谱函数，确定所述  $D$  路信号到达角的估计值。

其中，所述第一构建子模块包括：

第一分解单元，用于对所述调整后的自相关矩阵进行特征值分解，得到  $P$  个特征值和所述  $P$  个特征值分别对应的特征向量；其中， $P$  为正整数；

第一构建单元，用于根据所述  $P$  个特征值中最大的前  $D$  个特征值，以及所述  $D$  个特征值对应的  $D$  个特征向量，构建  $D$  路信号的信号子空间；

第二构建单元，用于根据所述  $P$  个特征值中除所述  $D$  个特征值外的  $P-D$  个特征值对应的  $P-D$  个特征向量，构建噪声子空间。

其中，所述第一构建单元包括：

获取子单元，用于获取信号调节因子；

调节子单元，用于根据所述信号调节因子对第  $i$  个特征向量进行调节，得到调节后的第  $i$  个特征向量；

第二构建子单元，用于根据所述调节后的第  $i$  个特征向量和所述  $D$  个特征向量中除所述第  $i$  个特征向量之外的特征向量，构建第  $i$  路信号的信号子空间；其中， $i$  为正整数，且  $i$  小于或者等于  $D$ 。

其中，所述获取子单元具体用于：根据所述  $D$  个特征值，确定信号调节因子。

其中，所述获取子单元还具体用于：计算所述  $D$  个特征值的平均值；将所述平均值确定为所述信号调节因子。

其中，所述调节子单元具体用于：将所述调节因子与所述第  $i$  个特征向量的乘积，确定为调节后的第  $i$  个特征向量。

其中，所述  $D$  个谱函数中的第  $i$  个谱函数为：

$$P_i = \frac{\alpha(\theta_i, \varphi_i)^H E_s^i E_s^{iH} \alpha(\theta_i, \varphi_i)}{\alpha(\theta_i, \varphi_i)^H E_n E_n^H \alpha(\theta_i, \varphi_i)}$$

其中， $P_i$  为第  $i$  路信号对应的谱函数， $\alpha(\theta_i, \varphi_i)$  为第  $i$  路信号的导向向量， $\theta_i$  为第  $i$  路信号的方位角， $\varphi_i$  为第  $i$  路信号的仰角， $E_s^i$  为第  $i$  路信号的信号子空间， $E_n$  为噪声子空间， $H$  表示矩阵的共轭转置； $i$  为正整数，且  $i$  小于或者等于  $D$ 。

其中，所述确定子模块包括：

计算单元，用于按照所述  $D$  个特征值从大到小的顺序，依次根据所述  $D$  个谱函数计算所述  $D$  路信号到达角的估计值。

其中，所述计算单元包括：

第三计算子单元，用于计算第  $i$  个谱函数中前  $D$  个谱峰值对应的  $D$  对角度值，所述角度值包括方位角值和仰角值；

第二确定子单元，用于根据前  $i-1$  路信号对应的  $i-1$  对角度值，将所述  $D$  对角度值中最大谱峰值对应的一对角度值，确定为所述第  $i$  路信号的到达角的估计值； $i$  为正整数，且  $i$  小于或者等于  $D$ 。

其中，所述第二确定子单元具体用于：确定所述  $D$  对角度值中除所述  $i-1$  对角度值之外的  $k$  对角度值；将所述  $k$  对角度值中最大谱峰值对应的一对角

度值，确定为所述第  $i$  路信号到达角的估计值；其中， $k$  为正整数，且  $k$  小于或者等于  $D$ 。

其中， $D$  为基站侧预先设定或者通过信令确定或者通过终端侧设定并反馈至基站侧。

本公开的基站实施例是与上述信号到达角的估计方法的实施例对应的，上述方法实施例中的所有实现手段均适用于该基站的实施例中，也能达到相同的技术效果。

本公开一些实施例中的基站 900，通过对噪声传输特性，对所述近似自相关矩阵进行调整，进而根据调整后的自相关矩阵，确定信号到达角的估计值，以削弱噪声对于信号到达角检测的影响，提高信号到达角检测精度，并且避免漏检测和错检测；此外，该方案还可以应用于多种类型的面天线阵列的信号到达角的估计，进而利于提高信号到达角估计的适配性。

为了更好的实现上述目的，如图 10 所示，本公开一些实施例还提供了一种基站，该基站包括：处理器 1000；通过总线接口 1030 与所述处理器 1000 相连接的存储器 1020，以及通过总线接口 1030 与处理器 1000 相连接的收发机 1010；所述存储器 1020 用于存储所述处理器 1000 在执行操作时所使用的程序和数据；通过所述收发机 1010 发送数据信息或者导频，还通过所述收发机 1010 接收上行控制信道；当处理器 1000 调用并执行所述存储器 1020 中所存储的程序和数据时，实现如下的功能。

处理器 1000 用于读取存储器 1020 中的程序，所述处理器 1000 执行所述计算机程序时实现以下步骤：获取面天线阵列接收信号的近似自相关矩阵；根据噪声传输特性，对所述近似自相关矩阵进行调整，得到调整后的自相关矩阵；根据所述调整后的自相关矩阵，确定信号到达角的估计值。

所述处理器 1000 执行所述计算机程序时实现以下步骤：根据噪声传输特性对应的预设调整方式，对所述近似自相关矩阵中的对角线元素进行调整，得到调整后的自相关矩阵。

所述处理器 1000 执行所述计算机程序时实现以下步骤：根据所述近似自相关矩阵中的元素值，确定所述近似自相关矩阵中对角线元素的调整目标值；根据所述调整目标值，将所述近似自相关矩阵调整为拓普利兹矩阵，得到调

整后的自相关矩阵。

所述处理器 1000 执行所述计算机程序时实现以下步骤：分别计算所述近似自相关矩阵中每条对角线上的对角线元素的平均值；将所述平均值确定为各自对角线上的对角线元素的调整目标值；其中，所述对角线为主对角线或与所述主对角线平行的副对角线。

所述处理器 1000 执行所述计算机程序时实现以下步骤：根据所述近似自相关矩阵，构建噪声对角矩阵；其中，所述噪声对角矩阵的行列数与所述近似自相关矩阵的行列数相等；根据所述噪声对角矩阵，对所述近似自相关矩阵中的对角线元素进行调整，得到调整后的自相关矩阵。

所述处理器 1000 执行所述计算机程序时实现以下步骤：对所述近似自相关矩阵进行特征值分解，得到  $P$  个特征值；根据所述  $P$  个特征值，构建所述噪声对角矩阵；其中， $P$  为正整数。

所述处理器 1000 执行所述计算机程序时实现以下步骤：计算所述  $P$  个特征值中最小的  $P-D$  个特征值的平均值；将所述平均值确定为对角矩阵中对角线元素的值，以构建所述噪声对角矩阵；其中， $D$  为正整数，且  $D$  小于  $K$ 。

所述处理器 1000 执行所述计算机程序时实现以下步骤：计算所述近似自相关矩阵与所述噪声对角矩阵之差，得到调整后的自相关矩阵。

所述处理器 1000 执行所述计算机程序时实现以下步骤：根据所述自相关矩阵，构建  $D$  路信号的信号子空间以及噪声子空间；其中， $D$  为正整数；根据所述  $D$  路信号的信号子空间和所述噪声子空间，构建  $D$  个谱函数；根据所述  $D$  个谱函数，确定所述  $D$  路信号到达角的估计值。

所述处理器 1000 执行所述计算机程序时实现以下步骤：对所述调整后的自相关矩阵进行特征值分解，得到  $P$  个特征值和所述  $P$  个特征值分别对应的特征向量；其中， $P$  为正整数；根据所述  $P$  个特征值中最大的前  $D$  个特征值，以及所述  $D$  个特征值对应的  $D$  个特征向量，构建  $D$  路信号的信号子空间；根据所述  $P$  个特征值中除所述  $D$  个特征值外的  $P-D$  个特征值对应的  $P-D$  个特征向量，构建噪声子空间。

所述处理器 1000 执行所述计算机程序时实现以下步骤：获取信号调节因子；根据所述信号调节因子对第  $i$  个特征向量进行调节，得到调节后的第  $i$

个特征向量；根据所述调节后的第  $i$  个特征向量和所述  $D$  个特征向量中除所述第  $i$  个特征向量之外的特征向量，构建第  $i$  路信号的信号子空间；其中， $i$  为正整数，且  $i$  小于或者等于  $D$ 。

所述处理器 1000 执行所述计算机程序时实现以下步骤：根据所述  $D$  个特征值，确定信号调节因子。

所述处理器 1000 执行所述计算机程序时实现以下步骤：计算所述  $D$  个特征值的平均值；将所述平均值确定为所述信号调节因子。

所述处理器 1000 执行所述计算机程序时实现以下步骤：将所述调节因子与所述第  $i$  个特征向量的乘积，确定为调节后的第  $i$  个特征向量。

其中，所述  $D$  个谱函数中的第  $i$  个谱函数为：

$$P_i = \frac{\alpha(\theta_i, \varphi_i)^H E_s^i E_s^{iH} \alpha(\theta_i, \varphi_i)}{\alpha(\theta_i, \varphi_i)^H E_n E_n^H \alpha(\theta_i, \varphi_i)}$$

其中， $P_i$  为第  $i$  路信号对应的谱函数， $\alpha(\theta_i, \varphi_i)$  为第  $i$  路信号的导向向量， $\theta_i$  为第  $i$  路信号的方位角， $\varphi_i$  为第  $i$  路信号的仰角， $E_s^i$  为第  $i$  路信号的信号子空间， $E_n$  为噪声子空间， $H$  表示矩阵的共轭转置； $i$  为正整数，且  $i$  小于或者等于  $D$ 。

所述处理器 1000 执行所述计算机程序时实现以下步骤：按照所述  $D$  个特征值从大到小的顺序，依次根据所述  $D$  个谱函数计算所述  $D$  路信号到达角的估计值。

所述处理器 1000 执行所述计算机程序时实现以下步骤：计算第  $i$  个谱函数中前  $D$  个谱峰值对应的  $D$  对角度值，所述角度值包括方位角值和仰角值；根据前  $i-1$  路信号对应的  $i-1$  对角度值，将所述  $D$  对角度值中最大谱峰值对应的一对角度值，确定为所述第  $i$  路信号的到达角的估计值； $i$  为正整数，且  $i$  小于或者等于  $D$ 。

所述处理器 1000 执行所述计算机程序时实现以下步骤：确定所述  $D$  对角度值中除所述  $i-1$  对角度值之外的  $k$  对角度值；将所述  $k$  对角度值中最大谱峰值对应的一对角度值，确定为所述第  $i$  路信号到达角的估计值；其中， $k$  为正整数，且  $k$  小于或者等于  $D$ 。

其中， $D$  为基站侧预先设定或者通过信令确定或者通过终端侧设定并反

馈至基站侧。

本公开一些实施例中的基站，通过对噪声传输特性，对所述近似自相关矩阵进行调整，进而根据调整后的自相关矩阵，确定信号到达角的估计值，以削弱噪声对于信号到达角检测的影响，提高信号到达角检测精度，并且避免漏检测和错检测；此外，该方案还可以应用于多种类型的面天线阵列的信号到达角的估计，进而利于提高信号到达角估计的适配性。

收发机 1010，用于在处理器 1000 的控制下接收和发送数据。

其中，在图 10 中，总线架构可以包括任意数量的互联的总线和桥，具体由处理器 1000 代表的一个或多个处理器和存储器 1020 代表的存储器的各种电路链接在一起。总线架构还可以将诸如外围设备、稳压器和功率管理电路等之类的各种其他电路链接在一起，这些都是本领域所公知的，因此，本文不再对其进行进一步描述。总线接口提供接口。收发机 1010 可以是多个元件，即包括发送机和收发机，提供用于在传输介质上与各种其他装置通信的单元。处理器 1000 负责管理总线架构和通常的处理，存储器 1020 可以存储处理器 1000 在执行操作时所使用的数据。

本公开一些实施例还提供一种计算机可读存储介质，计算机可读存储介质上存储有计算机程序，该计算机程序被处理器执行时实现上述信号到达角的估计方法实施例的各个过程，且能达到相同的技术效果，为避免重复，这里不再赘述。其中，所述的计算机可读存储介质，如只读存储器（Read-Only Memory，简称 ROM）、随机存取存储器（Random Access Memory，简称 RAM）、磁碟或者光盘等。

本领域技术人员可以理解，实现上述实施例的全部或者部分步骤可以通过硬件来完成，也可以通过计算机程序来指示相关的硬件来完成，所述计算机程序包括执行上述方法的部分或者全部步骤的指令；且该计算机程序可以存储于一可读存储介质中，存储介质可以是任何形式的存储介质。

此外，需要指出的是，在本公开的装置和方法中，显然，各部件或各步骤是可以分解和/或重新组合的。这些分解和/或重新组合应视为本公开的等效方案。并且，执行上述系列处理的步骤可以自然地按照说明的顺序按时间顺序执行，但是并不需要一定按照时间顺序执行，某些步骤可以并行或彼此

独立地执行。对本领域的普通技术人员而言，能够理解本公开的方法和装置的全部或者任何步骤或者部件，可以在任何计算装置（包括处理器、存储介质等）或者计算装置的网络中，以硬件、固件、软件或者它们的组合加以实现，这是本领域普通技术人员在阅读了本公开的说明的情况下运用他们的基本编程技能就能实现的。

因此，本公开的目的还可以通过在任何计算装置上运行一个程序或者一组程序来实现。所述计算装置可以是公知的通用装置。因此，本公开的目的也可以仅仅通过提供包含实现所述方法或者装置的程序代码的程序产品来实现。也就是说，这样的程序产品也构成本公开，并且存储有这样的程序产品的存储介质也构成本公开。显然，所述存储介质可以是任何公知的存储介质或者将来所开发出来的任何存储介质。还需要指出的是，在本公开的装置和方法中，显然，各部件或各步骤是可以分解和/或重新组合的。这些分解和/或重新组合应视为本公开的等效方案。并且，执行上述系列处理的步骤可以自然地按照说明的顺序按时间顺序执行，但是并不需要一定按照时间顺序执行。某些步骤可以并行或彼此独立地执行。

以上所述是本公开的一些实施方式，应当指出，对于本技术领域的普通技术人员来说，在不脱离本公开所述原理的前提下，还可以作出若干改进和润饰，这些改进和润饰也应视为本公开的保护范围。

## 权利要求书

1. 一种信号到达角的估计方法，包括：

获取面天线阵列接收信号的近似自相关矩阵；

根据噪声传输特性，对所述近似自相关矩阵进行调整，得到调整后的自相关矩阵；

根据所述调整后的自相关矩阵，确定信号到达角的估计值。

2. 根据权利要求1所述的信号到达角的估计方法，其中，所述根据噪声传输特性，对所述近似自相关矩阵进行调整，得到调整后的自相关矩阵，包括：

根据噪声传输特性对应的预设调整方式，对所述近似自相关矩阵中的对角线元素进行调整，得到调整后的自相关矩阵。

3. 根据权利要求2所述的信号到达角的估计方法，其中，所述对所述近似自相关矩阵中的对角线元素进行调整，得到调整后的自相关矩阵，包括：

根据所述近似自相关矩阵中的元素值，确定所述近似自相关矩阵中对角线元素的调整目标值；

根据所述调整目标值，将所述近似自相关矩阵调整为拓普利兹矩阵，得到调整后的自相关矩阵。

4. 根据权利要求3所述的信号到达角的估计方法，其中，所述根据所述近似自相关矩阵中的元素值，确定所述近似自相关矩阵中对角线元素的调整目标值，包括：

分别计算所述近似自相关矩阵中每条对角线上的对角线元素的平均值；

将所述平均值确定为各自对角线上的对角线元素的调整目标值；

其中，所述对角线为主对角线或与所述主对角线平行的副对角线。

5. 根据权利要求2所述的信号到达角的估计方法，其中，所述对所述近似自相关矩阵中的对角线元素进行调整，得到调整后的自相关矩阵，包括：

根据所述近似自相关矩阵，构建噪声对角矩阵；其中，所述噪声对角矩阵的行列数与所述近似自相关矩阵的行列数相等；

根据所述噪声对角矩阵，对所述近似自相关矩阵中的对角线元素进行调

整，得到调整后的自相关矩阵。

6. 根据权利要求5所述的信号到达角的估计方法，其中，所述根据所述近似自相关矩阵，构建噪声对角矩阵，包括：

对所述近似自相关矩阵进行特征值分解，得到  $P$  个特征值；

根据所述  $P$  个特征值，构建所述噪声对角矩阵；其中， $P$  为正整数。

7. 根据权利要求6所述的信号到达角的估计方法，其中，所述根据所述  $P$  个特征值，构建所述噪声对角矩阵，包括：

计算所述  $P$  个特征值中最小的  $P-D$  个特征值的平均值；

将所述平均值确定为对角矩阵中对角线元素的值，以构建所述噪声对角矩阵；其中， $D$  为正整数，且  $D$  小于  $K$ 。

8. 根据权利要求5所述的信号到达角的估计方法，其中，所述根据所述噪声对角矩阵，对所述近似自相关矩阵中的对角线元素进行调整，得到调整后的自相关矩阵，包括：

计算所述近似自相关矩阵与所述噪声对角矩阵之差，得到调整后的自相关矩阵。

9. 根据权利要求1所述的信号到达角的估计方法，其中，所述根据调整后的自相关矩阵，确定信号到达角的估计值，包括：

根据所述自相关矩阵，构建  $D$  路信号的信号子空间以及噪声子空间；其中， $D$  为正整数；

根据所述  $D$  路信号的信号子空间和所述噪声子空间，构建  $D$  个谱函数；

根据所述  $D$  个谱函数，确定所述  $D$  路信号到达角的估计值。

10. 根据权利要求9所述的信号到达角的估计方法，其中，所述根据所述自相关矩阵，构建  $D$  路信号的信号子空间以及噪声子空间，包括：

对所述调整后的自相关矩阵进行特征值分解，得到  $P$  个特征值和所述  $P$  个特征值分别对应的特征向量；其中， $P$  为正整数；

根据所述  $P$  个特征值中最大的前  $D$  个特征值，以及所述  $D$  个特征值对应的  $D$  个特征向量，构建  $D$  路信号的信号子空间；

根据所述  $P$  个特征值中除所述  $D$  个特征值外的  $P-D$  个特征值对应的  $P-D$  个特征向量，构建噪声子空间。

11. 根据权利要求 10 所述的信号到达角的估计方法, 其中, 所述根据所述 P 个特征值中最大的前 D 个特征值, 以及所述 D 个特征值对应的 D 个特征向量, 构建 D 路信号的信号子空间, 包括:

获取信号调节因子;

根据所述信号调节因子对第 i 个特征向量进行调节, 得到调节后的第 i 个特征向量;

根据所述调节后的第 i 个特征向量和所述 D 个特征向量中除所述第 i 个特征向量之外的特征向量, 构建第 i 路信号的信号子空间; 其中, i 为正整数, 且 i 小于或者等于 D。

12. 根据权利要求 11 所述的信号到达角的估计方法, 其中, 所述获取信号调节因子, 包括:

根据所述 D 个特征值, 确定信号调节因子。

13. 根据权利要求 12 所述的信号到达角的估计方法, 其中, 所述根据所述 D 个特征值, 确定信号调节因子, 包括:

计算所述 D 个特征值的平均值;

将所述平均值确定为所述信号调节因子。

14. 根据权利要求 11 所述的信号到达角的估计方法, 其中, 所述根据所述信号调节因子对第 i 个特征向量进行调节, 得到调节后的第 i 个特征向量, 包括:

将所述调节因子与所述第 i 个特征向量的乘积, 确定为调节后的第 i 个特征向量。

15. 根据权利要求 9 所述的信号到达角的估计方法, 其中, 所述 D 个谱函数中的第 i 个谱函数为:

$$P_i = \frac{a(\theta_i, \varphi_i)^H E_s^i E_s^{iH} a(\theta_i, \varphi_i)}{a(\theta_i, \varphi_i)^H E_n E_n^H a(\theta_i, \varphi_i)}$$

其中,  $P_i$  为第 i 路信号对应的谱函数,  $a(\theta_i, \varphi_i)$  为第 i 路信号的导向向量,  $\theta_i$  为第 i 路信号的方位角,  $\varphi_i$  为第 i 路信号的仰角,  $E_s^i$  为第 i 路信号的信号子空间,  $E_n$  为噪声子空间, H 表示矩阵的共轭转置; i 为正整数, 且 i 小于或者等于 D。

16. 根据权利要求 9 所述的信号到达角的估计方法, 其中, 所述根据所述  $D$  个谱函数, 确定  $D$  路信号到达角的估计值, 包括:

按照所述  $D$  个特征值从大到小的顺序, 依次根据所述  $D$  个谱函数计算所述  $D$  路信号到达角的估计值。

17. 根据权利要求 16 所述的信号到达角的估计方法, 其中, 所述按照所述  $D$  个特征值从大到小的顺序, 依次根据所述  $D$  个谱函数计算所述  $D$  路信号到达角的估计值, 包括:

计算第  $i$  个谱函数中前  $D$  个谱峰值对应的  $D$  对角度值, 所述角度值包括方位角值和仰角值;

根据前  $i-1$  路信号对应的  $i-1$  对角度值, 将所述  $D$  对角度值中最大谱峰值对应的一对角度值, 确定为所述第  $i$  路信号的到达角的估计值;  $i$  为正整数, 且  $i$  小于或者等于  $D$ 。

18. 根据权利要求 17 所述的信号到达角的估计方法, 其中, 所述根据前  $i-1$  路信号对应的  $i-1$  对角度值, 将所述  $D$  对角度值中最大谱峰值对应的一对角度值, 确定为所述第  $i$  路信号的到达角的估计值, 包括:

确定所述  $D$  对角度值中除所述  $i-1$  对角度值之外的  $k$  对角度值;

将所述  $k$  对角度值中最大谱峰值对应的一对角度值, 确定为所述第  $i$  路信号到达角的估计值; 其中,  $k$  为正整数, 且  $k$  小于或者等于  $D$ 。

19. 根据权利要求 7、9 至 18 中任一项所述的信号到达角的估计方法, 其中,  $D$  由基站侧预先设定, 或者从信令中确定, 或者由终端侧设定并反馈至基站侧。

20. 一种基站, 包括: 收发机、存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序, 其中, 所述处理器执行所述计算机程序时实现以下步骤:

获取面天线阵列接收信号的近似自相关矩阵;

根据噪声传输特性, 对所述近似自相关矩阵进行调整, 得到调整后的自相关矩阵;

根据所述调整后的自相关矩阵, 确定信号到达角的估计值。

21. 根据权利要求 20 所述的基站, 其中, 所述处理器执行所述计算机程

序时实现以下步骤：

根据噪声传输特性对应的预设调整方式，对所述近似自相关矩阵中的对角线元素进行调整，得到调整后的自相关矩阵。

22. 根据权利要求 21 所述的基站，其中，所述处理器执行所述计算机程序时实现以下步骤：

根据所述近似自相关矩阵中的元素值，确定所述近似自相关矩阵中对角线元素的调整目标值；

根据所述调整目标值，将所述近似自相关矩阵调整为拓普利兹矩阵，得到调整后的自相关矩阵。

23. 根据权利要求 22 所述的基站，其中，所述处理器执行所述计算机程序时实现以下步骤：

分别计算所述近似自相关矩阵中每条对角线上的对角线元素的平均值；

将所述平均值确定为各自对角线上的对角线元素的调整目标值；

其中，所述对角线为主对角线或与所述主对角线平行的副对角线。

24. 根据权利要求 21 所述的基站，其中，所述处理器执行所述计算机程序时实现以下步骤：

根据所述近似自相关矩阵，构建噪声对角矩阵；其中，所述噪声对角矩阵的行列数与所述近似自相关矩阵的行列数相等；

根据所述噪声对角矩阵，对所述近似自相关矩阵中的对角线元素进行调整，得到调整后的自相关矩阵。

25. 根据权利要求 24 所述的基站，其中，所述处理器执行所述计算机程序时实现以下步骤：

对所述近似自相关矩阵进行特征值分解，得到  $P$  个特征值；

根据所述  $P$  个特征值，构建所述噪声对角矩阵；其中， $P$  为正整数。

26. 根据权利要求 25 所述的基站，其中，所述处理器执行所述计算机程序时实现以下步骤：

计算所述  $P$  个特征值中最小的  $P-D$  个特征值的平均值；

将所述平均值确定为对角矩阵中对角线元素的值，以构建所述噪声对角矩阵；其中， $D$  为正整数，且  $D$  小于  $K$ 。

27. 根据权利要求 24 所述的基站, 其中, 所述处理器执行所述计算机程序时实现以下步骤:

计算所述近似自相关矩阵与所述噪声对角矩阵之差, 得到调整后的自相关矩阵。

28. 根据权利要求 20 所述的基站, 其中, 所述处理器执行所述计算机程序时实现以下步骤:

根据所述自相关矩阵, 构建 D 路信号的信号子空间以及噪声子空间; 其中, D 为正整数;

根据所述 D 路信号的信号子空间和所述噪声子空间, 构建 D 个谱函数;

根据所述 D 个谱函数, 确定所述 D 路信号到达角的估计值。

29. 根据权利要求 28 所述的基站, 其中, 所述处理器执行所述计算机程序时实现以下步骤:

对所述调整后的自相关矩阵进行特征值分解, 得到 P 个特征值和所述 P 个特征值分别对应的特征向量; 其中, P 为正整数;

根据所述 P 个特征值中最大的前 D 个特征值, 以及所述 D 个特征值对应的 D 个特征向量, 构建 D 路信号的信号子空间;

根据所述 P 个特征值中除所述 D 个特征值外的 P-D 个特征值对应的 P-D 个特征向量, 构建噪声子空间。

30. 根据权利要求 29 所述的基站, 其中, 所述处理器执行所述计算机程序时实现以下步骤:

获取信号调节因子;

根据所述信号调节因子对第 i 个特征向量进行调节, 得到调节后的第 i 个特征向量;

根据所述调节后的第 i 个特征向量和所述 D 个特征向量中除所述第 i 个特征向量之外的特征向量, 构建第 i 路信号的信号子空间; 其中, i 为正整数, 且 i 小于或者等于 D。

31. 根据权利要求 30 所述的基站, 其中, 所述处理器执行所述计算机程序时实现以下步骤:

根据所述 D 个特征值, 确定信号调节因子。

32. 根据权利要求 31 所述的基站, 其中, 所述处理器执行所述计算机程序时实现以下步骤:

计算所述 D 个特征值的平均值;

将所述平均值确定为所述信号调节因子。

33. 根据权利要求 30 所述的基站, 其中, 所述处理器执行所述计算机程序时实现以下步骤:

将所述调节因子与所述第 i 个特征向量的乘积, 确定为调节后的第 i 个特征向量。

34. 根据权利要求 28 所述的基站, 其中, 所述 D 个谱函数中的第 i 个谱函数为:

$$P_i = \frac{a(\theta_i, \varphi_i)^H E_s^i E_s^{iH} a(\theta_i, \varphi_i)}{a(\theta_i, \varphi_i)^H E_n E_n^H a(\theta_i, \varphi_i)}$$

其中,  $P_i$  为第 i 路信号对应的谱函数,  $a(\theta_i, \varphi_i)$  为第 i 路信号的导向向量,  $\theta_i$  为第 i 路信号的方位角,  $\varphi_i$  为第 i 路信号的仰角,  $E_s^i$  为第 i 路信号的信号子空间,  $E_n$  为噪声子空间, H 表示矩阵的共轭转置; i 为正整数, 且 i 小于或者等于 D。

35. 根据权利要求 28 所述的基站, 其中, 所述处理器执行所述计算机程序时实现以下步骤:

按照所述 D 个特征值从大到小的顺序, 依次根据所述 D 个谱函数计算所述 D 路信号到达角的估计值。

36. 根据权利要求 35 所述的基站, 其中, 所述处理器执行所述计算机程序时实现以下步骤:

计算第 i 个谱函数中前 D 个谱峰值对应的 D 对角度值, 所述角度值包括方位角值和仰角值;

根据前 i-1 路信号对应的 i-1 对角度值, 将所述 D 对角度值中最大谱峰值对应的一对角度值, 确定为所述第 i 路信号的到达角的估计值; i 为正整数, 且 i 小于或者等于 D。

37. 根据权利要求 36 所述的基站, 其中, 所述处理器执行所述计算机程序时实现以下步骤:

确定所述  $D$  对角度值中除所述  $i-1$  对角度值之外的  $k$  对角度值；

将所述  $k$  对角度值中最大谱峰值对应的一对角度值，确定为所述第  $i$  路信号到达角的估计值；其中， $k$  为正整数，且  $k$  小于或者等于  $D$ 。

38. 根据权利要求 26、28 至 37 中任一项所述的基站，其中， $D$  由基站侧预先设定，或者从信令中确定，或者由终端侧设定并反馈至基站侧。

39. 一种基站，包括：

获取模块，用于获取面天线阵列接收信号的近似自相关矩阵；

调整模块，用于根据噪声传输特性，对所述近似自相关矩阵进行调整，得到调整后的自相关矩阵；

确定模块，用于根据所述调整后的自相关矩阵，确定信号到达角的估计值。

40. 一种计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序，其中，该计算机程序被处理器执行时实现如权利要求 1 至 19 中任一项所述的信号到达角的估计方法的步骤。

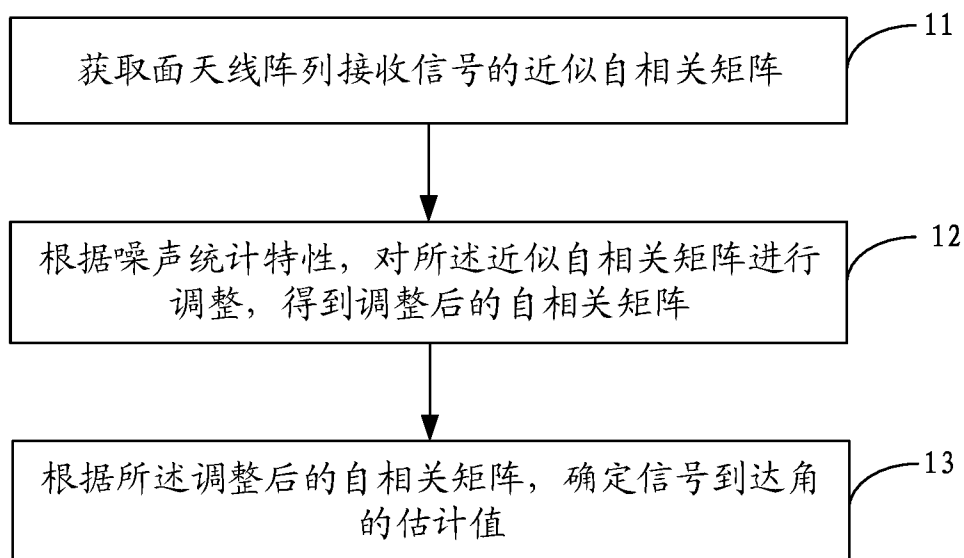


图 1

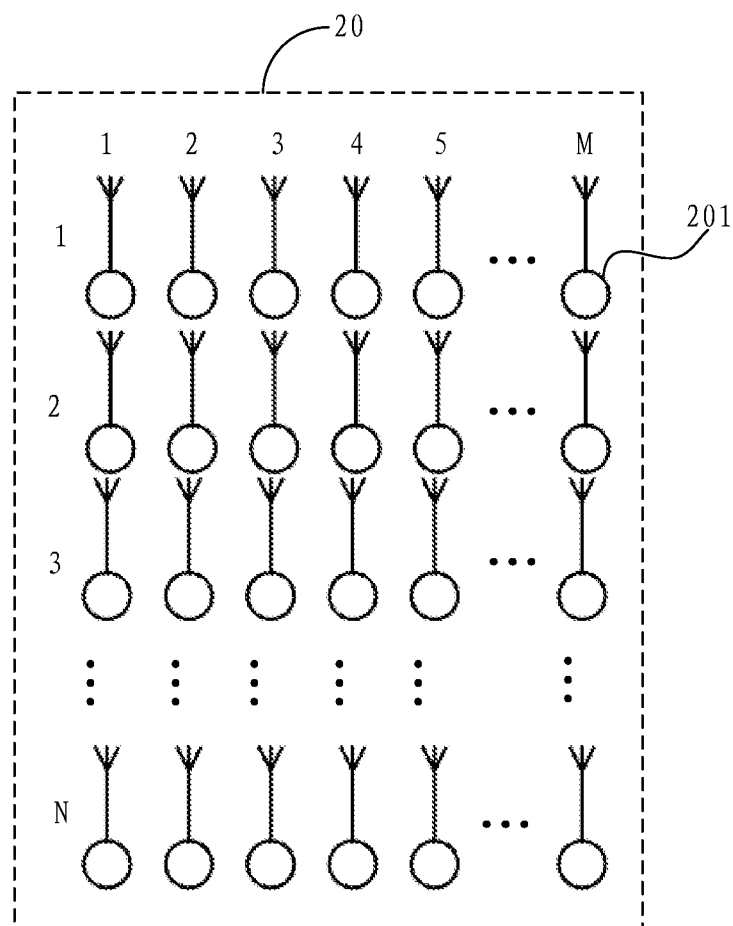


图 2

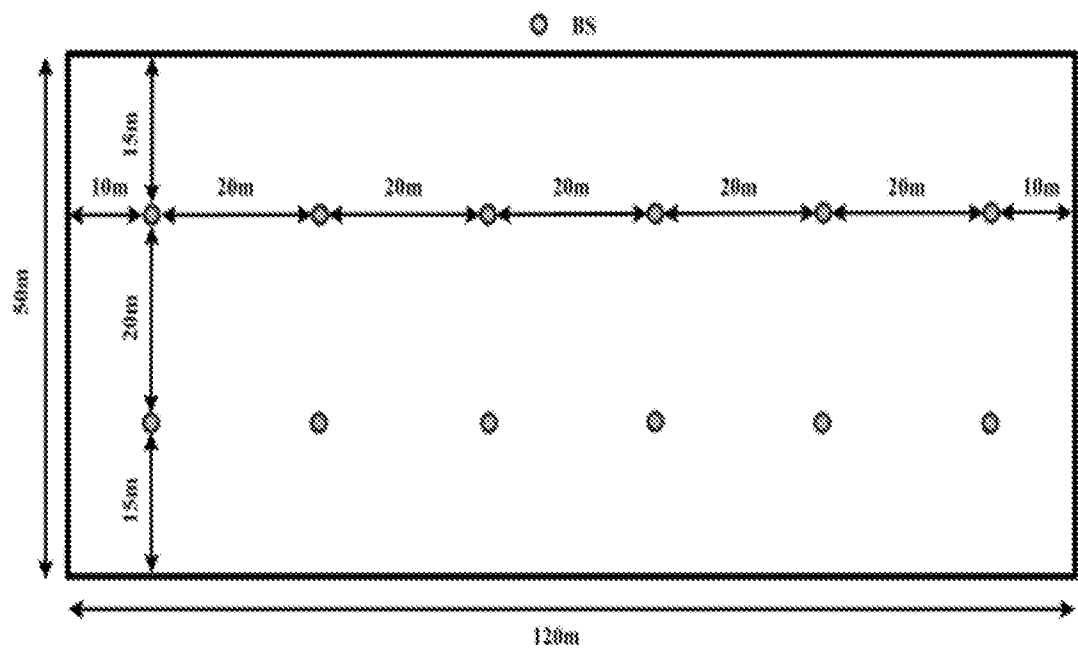


图 3

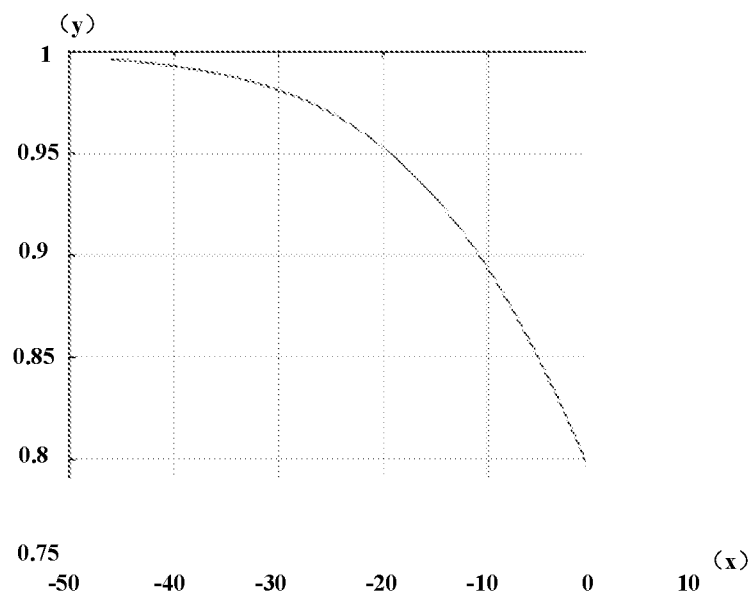


图 4

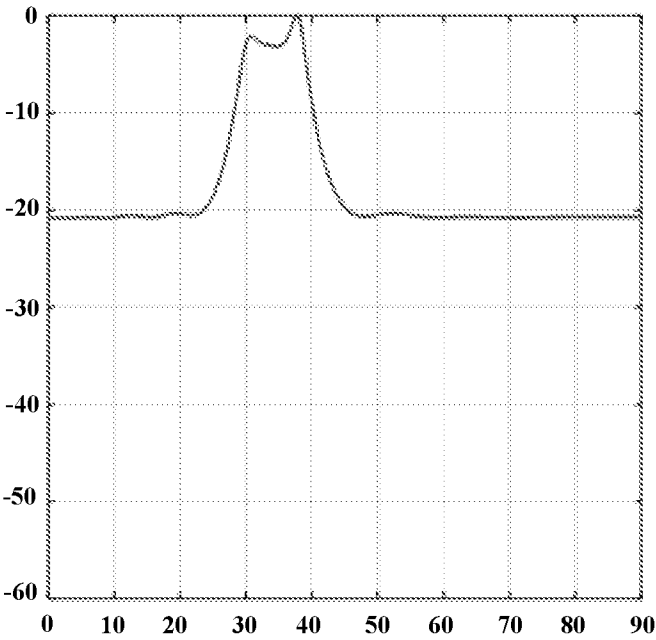


图 5a

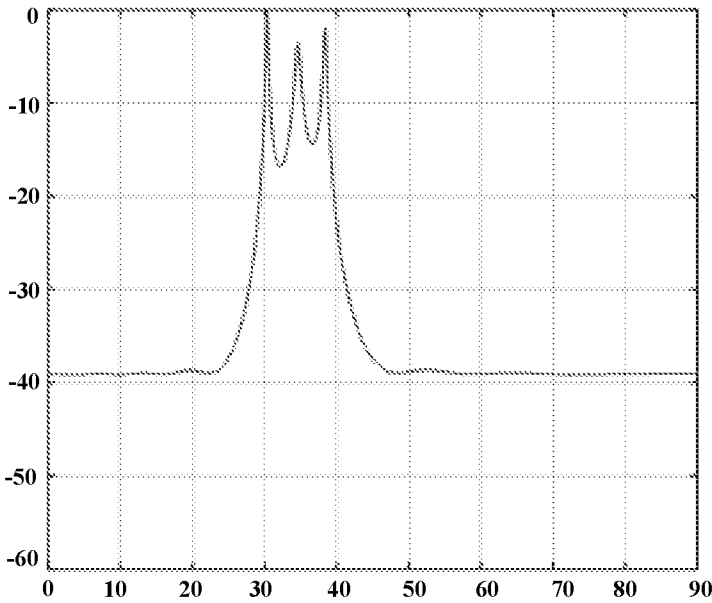


图 5b

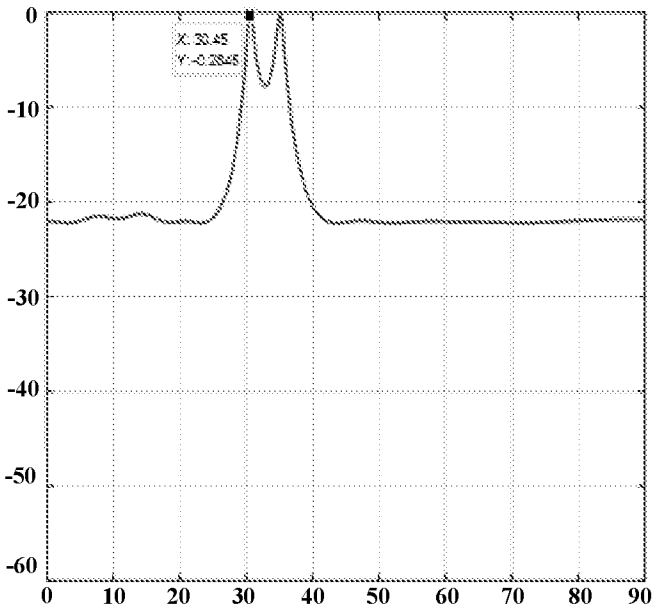


图 6a

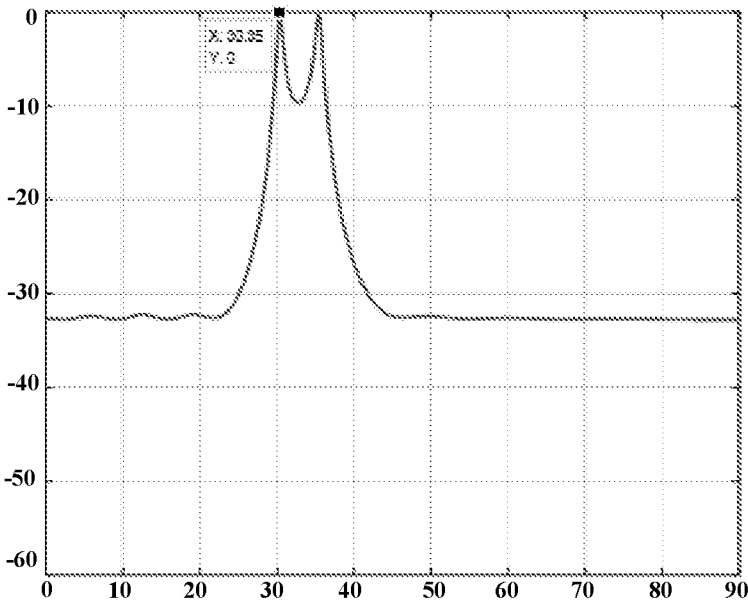


图 6b

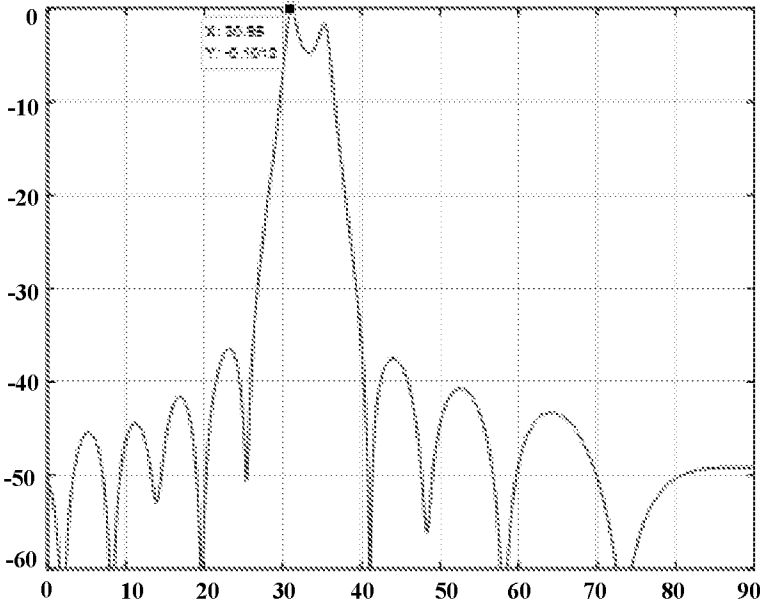


图 7a

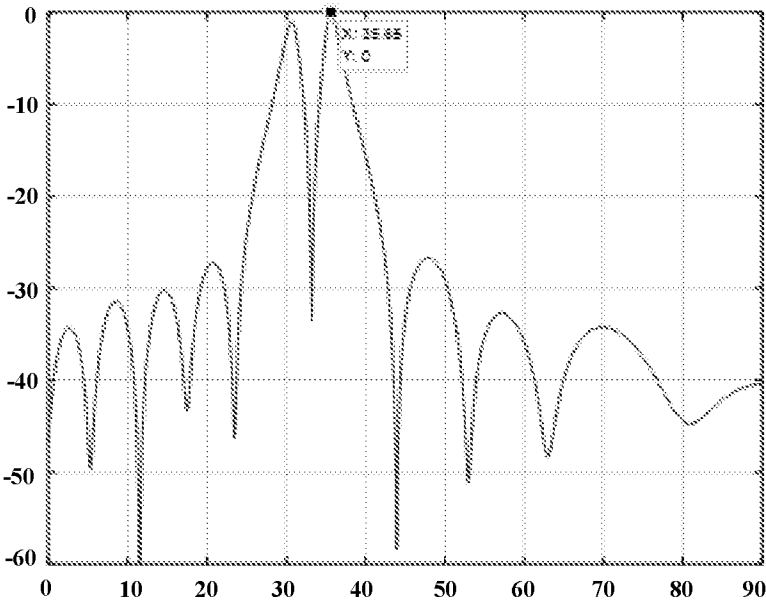


图 7b

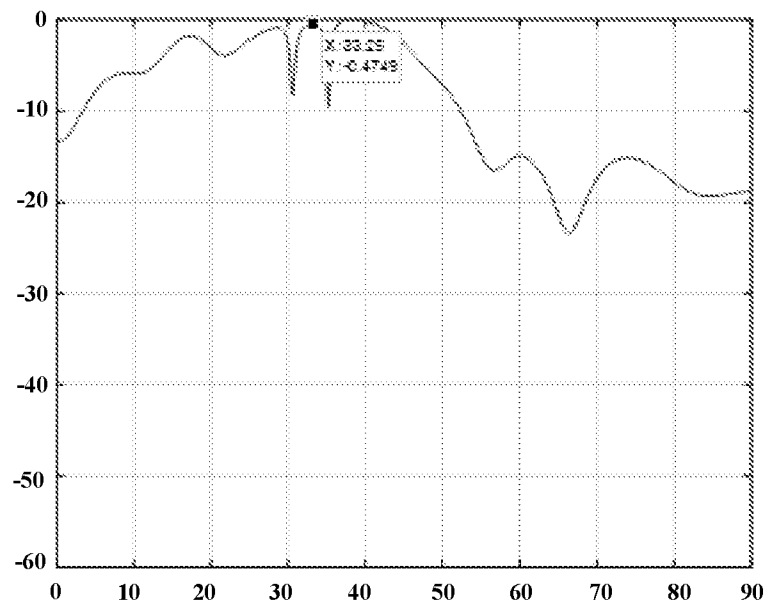


图 7c

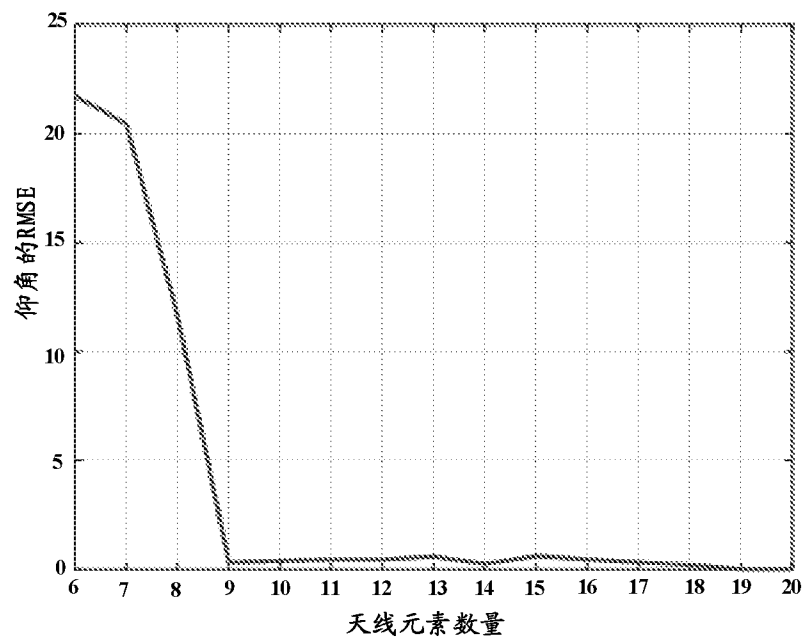


图 8a

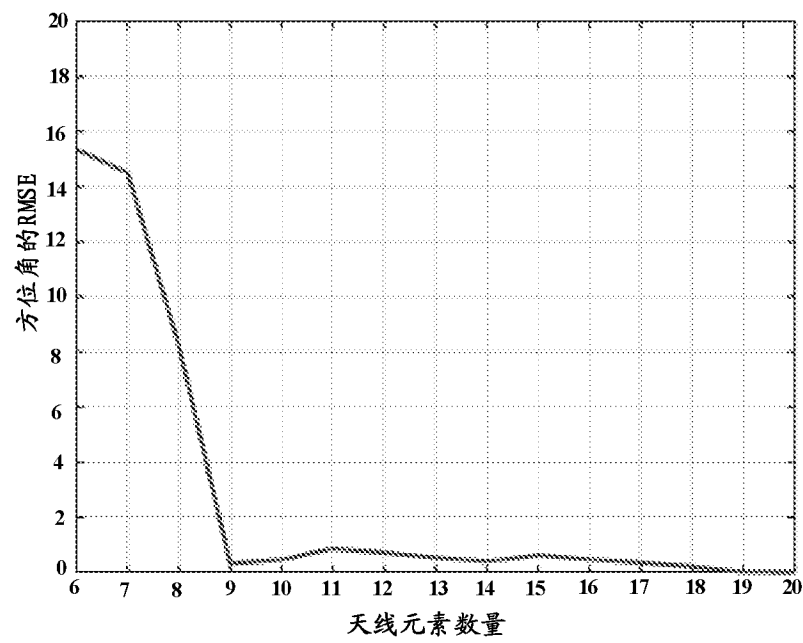


图 8b

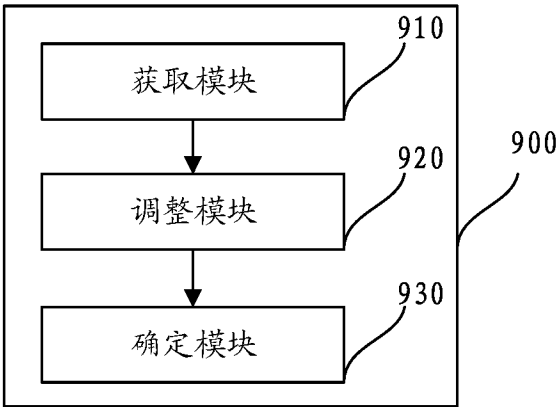


图 9

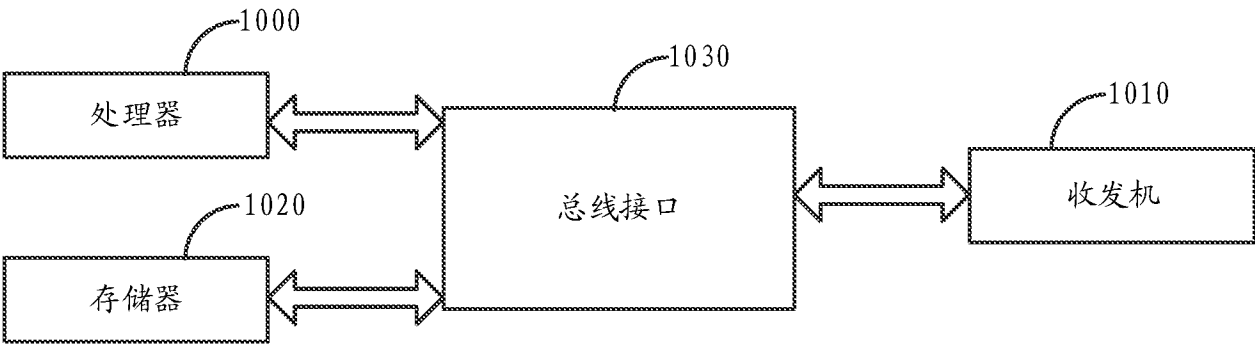


图 10

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2020/070638

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

G01S 5/14(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS, CNTXT, CNKI, DWPI, SIPOABS, VEN: 电信科学技术研究院, 范绍帅, 贾杨, 李辉, 田辉, 周梦凡, 自相关矩阵, 噪声, 到达角, 估计, 对角, 阵列, 面, 谱, 函数, 谱峰, 特征, 分解, 信号, 空间, 特征值, 特征向量, 调节, 导向向量, 方位角, 仰角, 角度, DOA, arrival, angle, matrix, noise, vector, function, characteristic, decomposition,

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                    | Relevant to claim No. |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| X         | CN 104375116 A (NORTHWEST UNIVERSITY) 25 February 2015 (2015-02-25)<br>description, paragraphs [0041]-[0088]          | 1-8, 19-27, 38-40     |
| Y         | CN 104375116 A (NORTHWEST UNIVERSITY) 25 February 2015 (2015-02-25)<br>description, paragraphs [0041]-[0088]          | 9-18, 28-37           |
| X         | CN 104375133 A (NORTHWEST UNIVERSITY) 25 February 2015 (2015-02-25)<br>description, paragraphs [0060]-[0119]          | 1-8, 19-27, 38-40     |
| Y         | CN 104375133 A (NORTHWEST UNIVERSITY) 25 February 2015 (2015-02-25)<br>description, paragraphs [0060]-[0119]          | 9-18, 28-37           |
| Y         | CN 102879764 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 16 January 2013 (2013-01-16)<br>description, paragraphs [0045]-[0065]            | 9-18, 28-37           |
| A         | CN 108387864 A (BEIJING UNIVERSITY OF POSTS AND TELECOMMUNICATIONS)<br>10 August 2018 (2018-08-10)<br>entire document | 1-40                  |
| A         | CN 104749554 A (JIANGSU UNIVERSITY) 01 July 2015 (2015-07-01)<br>entire document                                      | 1-40                  |



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&amp;” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

17 March 2020

Date of mailing of the international search report

26 March 2020

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/  
CN)  
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing  
100088  
China

Authorized officer

Facsimile No. (86-10)62019451

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

**PCT/CN2020/070638****C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                | Relevant to claim No. |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | EP 1031846 A3 (MATSUSHITA ELECTRIC IND. CO., LTD.) 22 August 2001 (2001-08-22)<br>entire document | 1-40                  |
| A         | US 7570211 B1 (ROCKWELL COLLINS INC.) 04 August 2009 (2009-08-04)<br>entire document              | 1-40                  |

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/CN2020/070638**

| Patent document<br>cited in search report |           |    | Publication date<br>(day/month/year) | Patent family member(s) |            |    | Publication date<br>(day/month/year) |
|-------------------------------------------|-----------|----|--------------------------------------|-------------------------|------------|----|--------------------------------------|
| CN                                        | 104375116 | A  | 25 February 2015                     | CN                      | 104375116  | B  | 11 July 2017                         |
| CN                                        | 104375133 | A  | 25 February 2015                     | CN                      | 104375133  | B  | 15 February 2017                     |
| CN                                        | 102879764 | A  | 16 January 2013                      | CN                      | 102879764  | B  | 07 May 2014                          |
| CN                                        | 108387864 | A  | 10 August 2018                       | None                    |            |    |                                      |
| CN                                        | 104749554 | A  | 01 July 2015                         | None                    |            |    |                                      |
| EP                                        | 1031846   | A3 | 22 August 2001                       | EP                      | 1031846    | A2 | 30 August 2000                       |
|                                           |           |    |                                      | US                      | 6351238    | B1 | 26 February 2002                     |
|                                           |           |    |                                      | JP                      | 4401526    | B2 | 20 January 2010                      |
|                                           |           |    |                                      | JP                      | 2001281316 | A  | 10 October 2001                      |
|                                           |           |    |                                      | JP                      | 2000241521 | A  | 08 September 2000                    |
|                                           |           |    |                                      | JP                      | 3596331    | B2 | 02 December 2004                     |
| US                                        | 7570211   | B1 | 04 August 2009                       | None                    |            |    |                                      |

## 国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2020/070638

| <b>A. 主题的分类</b><br>G01S 5/14(2006.01) i<br><br>按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                           |                                    |      |                   |         |   |                                                                           |                 |   |                                                                           |            |   |                                                                           |                 |   |                                                                           |            |   |                                                                           |            |   |                                                             |      |   |                                                          |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------|-------------------|---------|---|---------------------------------------------------------------------------|-----------------|---|---------------------------------------------------------------------------|------------|---|---------------------------------------------------------------------------|-----------------|---|---------------------------------------------------------------------------|------------|---|---------------------------------------------------------------------------|------------|---|-------------------------------------------------------------|------|---|----------------------------------------------------------|------|
| <b>B. 检索领域</b><br>检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)<br>G01S<br><br>包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献<br><br>在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))<br>CNABS, CNTXT, CNKI, DWPI, SIPOABS, VEN, 电信科学技术研究院, 范绍帅, 贾杨, 李辉, 田辉, 周梦凡, 自相关矩阵, 噪声, 到达角, 估计, 对角, 阵列, 面, 谱, 函数, 谱峰, 特征, 分解, 信号, 空间, 特征值, 特征向量, 调节, 导向向量, 方位角, 仰角, 角度, DOA, arrival, angle, matrix, noise, vector, function, characteristic, decomposition,                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                           |                                    |      |                   |         |   |                                                                           |                 |   |                                                                           |            |   |                                                                           |                 |   |                                                                           |            |   |                                                                           |            |   |                                                             |      |   |                                                          |      |
| <b>C. 相关文件</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>CN 104375116 A (西北大学) 2015年 2月 25日 (2015 - 02 - 25)<br/>说明书第[0041]-[0088]段</td> <td>1-8、19-27、38-40</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 104375116 A (西北大学) 2015年 2月 25日 (2015 - 02 - 25)<br/>说明书第[0041]-[0088]段</td> <td>9-18、28-37</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>CN 104375133 A (西北大学) 2015年 2月 25日 (2015 - 02 - 25)<br/>说明书第[0060]-[0119]段</td> <td>1-8、19-27、38-40</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 104375133 A (西北大学) 2015年 2月 25日 (2015 - 02 - 25)<br/>说明书第[0060]-[0119]段</td> <td>9-18、28-37</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 102879764 A (浙江大学) 2013年 1月 16日 (2013 - 01 - 16)<br/>说明书第[0045]-[0065]段</td> <td>9-18、28-37</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 108387864 A (北京邮电大学) 2018年 8月 10日 (2018 - 08 - 10)<br/>全文</td> <td>1-40</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 104749554 A (江苏大学) 2015年 7月 1日 (2015 - 07 - 01)<br/>全文</td> <td>1-40</td> </tr> </tbody> </table> |                                                                           |                                    | 类 型* | 引用文件, 必要时, 指明相关段落 | 相关的权利要求 | X | CN 104375116 A (西北大学) 2015年 2月 25日 (2015 - 02 - 25)<br>说明书第[0041]-[0088]段 | 1-8、19-27、38-40 | Y | CN 104375116 A (西北大学) 2015年 2月 25日 (2015 - 02 - 25)<br>说明书第[0041]-[0088]段 | 9-18、28-37 | X | CN 104375133 A (西北大学) 2015年 2月 25日 (2015 - 02 - 25)<br>说明书第[0060]-[0119]段 | 1-8、19-27、38-40 | Y | CN 104375133 A (西北大学) 2015年 2月 25日 (2015 - 02 - 25)<br>说明书第[0060]-[0119]段 | 9-18、28-37 | Y | CN 102879764 A (浙江大学) 2013年 1月 16日 (2013 - 01 - 16)<br>说明书第[0045]-[0065]段 | 9-18、28-37 | A | CN 108387864 A (北京邮电大学) 2018年 8月 10日 (2018 - 08 - 10)<br>全文 | 1-40 | A | CN 104749554 A (江苏大学) 2015年 7月 1日 (2015 - 07 - 01)<br>全文 | 1-40 |
| 类 型*                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 引用文件, 必要时, 指明相关段落                                                         | 相关的权利要求                            |      |                   |         |   |                                                                           |                 |   |                                                                           |            |   |                                                                           |                 |   |                                                                           |            |   |                                                                           |            |   |                                                             |      |   |                                                          |      |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | CN 104375116 A (西北大学) 2015年 2月 25日 (2015 - 02 - 25)<br>说明书第[0041]-[0088]段 | 1-8、19-27、38-40                    |      |                   |         |   |                                                                           |                 |   |                                                                           |            |   |                                                                           |                 |   |                                                                           |            |   |                                                                           |            |   |                                                             |      |   |                                                          |      |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | CN 104375116 A (西北大学) 2015年 2月 25日 (2015 - 02 - 25)<br>说明书第[0041]-[0088]段 | 9-18、28-37                         |      |                   |         |   |                                                                           |                 |   |                                                                           |            |   |                                                                           |                 |   |                                                                           |            |   |                                                                           |            |   |                                                             |      |   |                                                          |      |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | CN 104375133 A (西北大学) 2015年 2月 25日 (2015 - 02 - 25)<br>说明书第[0060]-[0119]段 | 1-8、19-27、38-40                    |      |                   |         |   |                                                                           |                 |   |                                                                           |            |   |                                                                           |                 |   |                                                                           |            |   |                                                                           |            |   |                                                             |      |   |                                                          |      |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | CN 104375133 A (西北大学) 2015年 2月 25日 (2015 - 02 - 25)<br>说明书第[0060]-[0119]段 | 9-18、28-37                         |      |                   |         |   |                                                                           |                 |   |                                                                           |            |   |                                                                           |                 |   |                                                                           |            |   |                                                                           |            |   |                                                             |      |   |                                                          |      |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | CN 102879764 A (浙江大学) 2013年 1月 16日 (2013 - 01 - 16)<br>说明书第[0045]-[0065]段 | 9-18、28-37                         |      |                   |         |   |                                                                           |                 |   |                                                                           |            |   |                                                                           |                 |   |                                                                           |            |   |                                                                           |            |   |                                                             |      |   |                                                          |      |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | CN 108387864 A (北京邮电大学) 2018年 8月 10日 (2018 - 08 - 10)<br>全文               | 1-40                               |      |                   |         |   |                                                                           |                 |   |                                                                           |            |   |                                                                           |                 |   |                                                                           |            |   |                                                                           |            |   |                                                             |      |   |                                                          |      |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | CN 104749554 A (江苏大学) 2015年 7月 1日 (2015 - 07 - 01)<br>全文                  | 1-40                               |      |                   |         |   |                                                                           |                 |   |                                                                           |            |   |                                                                           |                 |   |                                                                           |            |   |                                                                           |            |   |                                                             |      |   |                                                          |      |
| <input checked="" type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。 <input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                           |                                    |      |                   |         |   |                                                                           |                 |   |                                                                           |            |   |                                                                           |                 |   |                                                                           |            |   |                                                                           |            |   |                                                             |      |   |                                                          |      |
| * 引用文件的具体类型:<br>“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件<br>“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利<br>“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)<br>“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件<br>“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件<br>“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件<br>“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性<br>“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性<br>“&” 同族专利的文件                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                           |                                    |      |                   |         |   |                                                                           |                 |   |                                                                           |            |   |                                                                           |                 |   |                                                                           |            |   |                                                                           |            |   |                                                             |      |   |                                                          |      |
| 国际检索实际完成的日期<br>2020年 3月 17日                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                           | 国际检索报告邮寄日期<br>2020年 3月 26日         |      |                   |         |   |                                                                           |                 |   |                                                                           |            |   |                                                                           |                 |   |                                                                           |            |   |                                                                           |            |   |                                                             |      |   |                                                          |      |
| ISA/CN的名称和邮寄地址<br>中国国家知识产权局(ISA/CN)<br>中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088<br>传真号 (86-10)62019451                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                           | 授权官员<br>吴琼<br>电话号码 (86-10)62089510 |      |                   |         |   |                                                                           |                 |   |                                                                           |            |   |                                                                           |                 |   |                                                                           |            |   |                                                                           |            |   |                                                             |      |   |                                                          |      |

| C. 相关文件 |                                                                                        |         |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 类 型*    | 引用文件，必要时，指明相关段落                                                                        | 相关的权利要求 |
| A       | EP 1031846 A3 (MATSUSHITA ELECTRIC IND. CO., LTD.) 2001年 8月 22日 (2001 - 08 - 22)<br>全文 | 1-40    |
| A       | US 7570211 B1 (ROCKWELL COLLINS INC.) 2009年 8月 4日 (2009 - 08 - 04)<br>全文               | 1-40    |

国际检索报告  
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2020/070638

| 检索报告引用的专利文件 |           |    | 公布日<br>(年/月/日) | 同族专利            | 公布日<br>(年/月/日) |
|-------------|-----------|----|----------------|-----------------|----------------|
| CN          | 104375116 | A  | 2015年 2月 25日   | CN 104375116 B  | 2017年 7月 11日   |
| CN          | 104375133 | A  | 2015年 2月 25日   | CN 104375133 B  | 2017年 2月 15日   |
| CN          | 102879764 | A  | 2013年 1月 16日   | CN 102879764 B  | 2014年 5月 7日    |
| CN          | 108387864 | A  | 2018年 8月 10日   | 无               |                |
| CN          | 104749554 | A  | 2015年 7月 1日    | 无               |                |
| EP          | 1031846   | A3 | 2001年 8月 22日   | EP 1031846 A2   | 2000年 8月 30日   |
|             |           |    |                | US 6351238 B1   | 2002年 2月 26日   |
|             |           |    |                | JP 4401526 B2   | 2010年 1月 20日   |
|             |           |    |                | JP 2001281316 A | 2001年 10月 10日  |
|             |           |    |                | JP 2000241521 A | 2000年 9月 8日    |
|             |           |    |                | JP 3596331 B2   | 2004年 12月 2日   |
| US          | 7570211   | B1 | 2009年 8月 4日    | 无               |                |