



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116707601 A

(43) 申请公布日 2023. 09. 05

(21) 申请号 202310361792.4

(22) 申请日 2023.04.06

(71) 申请人 东南大学

地址 210000 江苏省南京市江宁区东南大学路2号

(72) 发明人 王闻今 金石 李潇 韩瑜 刘洋 肖伟 侯宏卫

(74) 专利代理机构 南京瑞弘专利商标事务所 (普通合伙) 32249

专利代理师 李悦声

(51) Int. Cl.

H04B 7/145 (2006.01)

H04L 25/02 (2006.01)

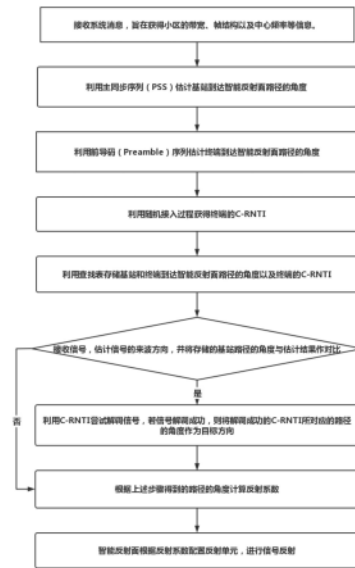
权利要求书2页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称

一种智能反射面辅助通信的方法及装置

(57) 摘要

本发明提供一种智能反射面辅助通信的方法及装置,属于无线通信技术领域。针对智能反射面辅助通信系统,通过使用透反一体智能反射面避免了智能反射面辅助通信方法的控制信息传递开销,提高了智能反射面辅助通信装置的便捷性和复用性,该智能反射面辅助通信的方法及装置不由基站/终端决定反射系数,而由智能反射面自身决定,由透反一体智能反射面和控制单元组成;透反一体智能反射面用于接收和反射信号,控制单元用于处理信号以及计算透反一体智能反射面反射阵元的反射系数。其有效降低了智能反射面辅助通信装置部署复杂度,提高智能反射面辅助通信装置的便捷性和复用性。



1. 一种智能反射面辅助通信的方法,其特征在于:所述方法应用于蜂窝移动通信系统中,包括工作在一个物理小区中的一个基站、一个智能反射面辅助通信装置和多个移动终端,其中智能反射面辅助通信装置包括透反一体智能反射面和控制单元,透反一体智能反射面用于接收和反射信号,透反一体智能反射面包括用于接收信号的透射阵元以及用于反射信号的反射阵元,其中透反一体智能反射面中的阵元为单独实现透射或者反射的阵元,此时反射阵元数量远远大于透射阵元的数量,且透射阵元集中分布在智能反射面的中心位置;或者透射阵元为同时兼备透射与反射功能的集成阵元;控制单元用于处理信号以及计算透反一体智能反射面反射阵元的反射系数;

包括如下步骤:

步骤1,智能反射面辅助通信装置接收基站发射的系统消息,包括小区的带宽、帧结构以及中心频率信息;

步骤2,智能反射面辅助通信装置利用第5代移动通信技术新空口5G NR规定的主同步序列PSS估计基站到达智能反射面辅助通信装置的智能反射面路径的角度信息;

步骤3,智能反射面辅助通信装置利用5G NR规定的前导码序列Preamble估计移动终端到达智能反射面辅助通信装置的智能反射面路径的角度信息;

步骤4,智能反射面辅助通信装置利用终端向基站发起的随机接入过程(在5G NR中定义)获取移动终端的小区无线网络临时标识C-RNTI信息;

步骤5,利用查找表存储步骤2-4获取的结果;其中,基站路径的角度单独存储,终端路径的角度信息和终端的C-RNTI信息一一对应排列;

步骤6,透反一体智能反射面的透射阵元接收信号,测出信号的来波方向,根据信号方向判断信号类型,若与基站方向相同,则判断为下行信号,反之则判断为上行信号;

步骤7,当透反一体智能反射面将接收信号判断为下行信号后,利用存储的C-RNTI尝试解调信号,若信号解调成功,则将解调成功的C-RNTI所对应路径的角度作为目标方向;

步骤8,当透反一体智能反射面将接收信号判断为上行信号后,判断上行信号方向只能是基站的方向,计算基站与透反一体智能反射面之间和移动终端与透反一体智能反射面之间的信道矩阵,然后计算出透反一体智能反射面的反射系数;

步骤9,控制单元根据反射系数配置透反一体智能反射面的反射阵元实现信号反射,有效降低智能反射面辅助通信装置的部署复杂度,提高智能反射面辅助通信装置的便捷性和复用性。

2. 根据权利要求1所述的一种智能反射面辅助通信的方法,其特征在于:步骤1所述的系统消息包括同步广播块SSB、主系统消息MIB和系统消息块SIB1。

3. 根据权利要求1所述的一种智能反射面辅助通信的方法,其特征在于,步骤2和步骤3中估计基站/终端路径角度的基本方法如下:

将主同步序列PSS/前导码序列Preamble作为本地序列,将本地序列与透反一体智能反射面每个透射阵元的接收信号做互相关;

将时延域同一时延下透反一体智能反射面不同透射阵元的峰值合并为列向量,计算列向量的协方差矩阵并做特征值分解,得到信号子空间;

根据信号子空间计算空间频谱,搜索空间频谱的峰值得到路径角度。

4. 根据权利要求3所述的一种智能反射面辅助通信的方法,其特征在于,利用主同步序

列PSS估计基站到达智能反射面路径角度的流程如下：首先，确定主同步序列PSS的时频资源位置；接着，通过所有的频率栅格利用所有可能的PSS序列与接收信号作互相关，得到频偏值和5G NR的物理小区标识2；最后，利用得到的频偏值与5G NR的物理小区标识2对应的互相关结果，通过权利要求3所述的方法估计基站到达智能反射面路径的角度。

5. 根据权利要求3所述的一种智能反射面辅助通信的方法，其特征在于，利用前导码序列Preamble估计终端到达智能反射面路径角度的流程如下：首先，确定前导码序列Preamble的时频资源位置；接着，遍历所有可能根序列以及由该根序列生成的所有前导码索引，用前导码索引生成参考Preamble序列，对接收信号与参考Preamble序列作互相关，进而检测相关峰的峰值是否达到某一阈值；若是，记录下相关峰的峰值，最后利用权利要求3所述的方法估计对终端到达智能反射面路径的角度；若否，则继续遍历，直到检测到相关峰的峰值达到预设阈值为止，继而估计路径角度。

6. 根据权利要求2所述的一种智能反射面辅助通信的方法，其特征在于：利用移动终端向基站发起的随机接入过程获得终端C-RNTI，步骤如下：

步骤1，智能反射面辅助通信装置接收随机接入前导码Preamble，定义为Msg1时，进行波束扫描，得到发送物理随机接入信道PRACH的波束，完成对Msg1的接收之后，根据随机接入信道PRACH时频资源和前导码序列Preamble之间的索引，并参考5G NR上行同步流程确定SSB索引，从而确定了终端与基站之间的接收发送波束对；

步骤2，智能反射面辅助通信装置根据接收系统消息块SIB1获得的移动终端的物理下行控制信道PDCCH配置，获得下行控制信息DCI，再接收由随机接入无线网络临时标识RA-RNTI加扰的物理下行共享信道PDSCH传输，定义为Msg2，获取Msg2中的上行调度UL Grant和临时小区无线网络临时标识TC-RNTI，在5G NR中定义；

步骤3，智能反射面辅助通信装置根据Msg2消息中的上行调度UL Grant，获得由Msg2调度的物理上行共享信道PUSCH传输，定义为Msg3；其中，Msg3中定义在5G NR中的公共控制信道服务数据单元CCCH SDU用于验证是否与争用解决的PDSCH传输，定义为Msg4中的消息匹配，PUSCH是由Msg2消息的中TC-RNTI加扰的，时频资源由UL Grant给出；

步骤4，智能反射面辅助通信装置接收Msg4中的争用解决标识MAC层控制单元Contention Resolution Identity MAC CE，与Msg3发送的CCCH SDU匹配时，则认为随机接入成功并将TC-RNTI升级为C-RNTI。

一种智能反射面辅助通信的方法及装置

技术领域

[0001] 本发明属于无线通信技术领域,具体涉及到一种智能反射面辅助通信的方法及装置。

背景技术

[0002] 在第五代无线网络中,虽然已经实现了超密集网络(UDN),大规模多输入多输出(MIMO)、毫米波通信(mmWave)等关键技术,但系统的高复杂性、高硬件成本以及高能耗等关键问题尚未解决,因此,寻求节能、创新且具有低成本的解决方案势在必行。

[0003] 近年来,作为一种有前景的新技术,智能反射面通过软件控制反射来重新配置无线环境。智能反射面使用集成在平面上的大量低成本无源反射元件,每一个元件都能够对入射信号进行幅度或相位的改变,从而协同实现三维细粒度反射波束成形,使得基站与终端之间的信号传输有了更多的可能性。

[0004] 目前,在关于智能反射面辅助通信的方法研究当中,如何让智能反射面合理地入射信号进行幅度或相位的改变研究甚少。

[0005] 一种通用的做法是基站/终端通过有线或无线的方式控制智能反射面的反射系数,从而控制智能反射面对入射信号幅度或相位的改变。

[0006] 基站/终端通过有线或无线的方式来控制智能反射面虽然可以达到对入射信号幅度或相位改变的目的,但这种方法需要基站/终端在发送数据的同时发送控制信息,给基站/终端带来额外的开销,增加基站/终端的成本。

[0007] 如果通过有线方式进行控制,还会增加部署智能反射面辅助通信系统的复杂度,降低智能反射面辅助通信装置的便捷性和复用性。

发明内容

[0008] 本发明针对于现有技术的不足之处,提供一种智能反射面辅助通信的方法及装置,能够有效避免智能反射面辅助通信方法的控制信息传递开销,降低了智能反射面辅助通信装置部署复杂度,增加智能反射面辅助通信装置的便捷性和复用性。

[0009] 为实现上述技术目的,本发明一方面公开了一种智能反射面辅助通信的方法,该方法应用于蜂窝移动通信系统中,系统包括工作在一个物理小区中的一个基站、一个智能反射面辅助通信装置和多个移动终端,其中智能反射面辅助通信装置包括透反一体智能反射面和控制单元,透反一体智能反射面包括用于接收信号的透射阵元以及用于反射信号的反射阵元。透反一体智能反射面中的阵元可以为单独实现透射或者反射的阵元,此时反射阵元数量远远大于透射阵元的数量,且透射阵元集中分布在智能反射面的中心位置;也可以是同时兼备透射与反射功能的集成阵元。透反一体智能反射面用于接收和反射信号,控制单元用于处理信号以及计算透反一体智能反射面反射阵元的反射系数;

[0010] 包括如下步骤:

[0011] 步骤1,智能反射面辅助通信装置接收基站发射的系统消息,包括小区的带宽、帧

结构以及中心频率信息；

[0012] 步骤2,智能反射面辅助通信装置利用第5代移动通信技术新空口(5G NR)规定的主同步序列PSS估计基站到达智能反射面辅助通信装置的智能反射面路径的角度信息；

[0013] 步骤3,智能反射面辅助通信装置利用5G NR规定的前导码序列Preamble估计移动终端到达智能反射面辅助通信装置的智能反射面路径的角度信息；

[0014] 步骤4,智能反射面辅助通信装置利用终端向基站发起的随机接入过程(在5G NR中定义)获取移动终端的小区无线网络临时标识C-RNTI信息；

[0015] 步骤5,利用查找表存储步骤2-4获取的结果；其中,基站路径的角度单独存储,终端路径的角度信息和终端的C-RNTI信息一一对应排列；

[0016] 步骤6,透反一体智能反射面的透射阵元接收信号,测出信号的来波方向,根据信号方向判断信号类型,若与基站方向相同,则判断为下行信号,反之则判断为上行信号；

[0017] 步骤7,当透反一体智能反射面将接收信号判断为下行信号后,利用存储的C-RNTI尝试解调信号,若信号解调成功,则将解调成功的C-RNTI所对应路径的角度作为目标方向；

[0018] 步骤8,当透反一体智能反射面将接收信号判断为上行信号后,判断上行信号方向只能是基站的方向,计算基站与透反一体智能反射面之间和移动终端与透反一体智能反射面之间的信道矩阵,然后计算出透反一体智能反射面的反射系数；

[0019] 步骤9,控制单元根据反射系数配置透反一体智能反射面的反射阵元实现信号反射,有效降低智能反射面辅助通信装置的部署复杂度,提高智能反射面辅助通信装置的便捷性和复用性。

[0020] 进一步,步骤1所述的系统消息包括同步广播块SSB、主系统消息MIB和系统消息块SIB1。

[0021] 进一步,步骤2和步骤3中估计基站/终端路径角度的基本方法如下：

[0022] 将主同步序列PSS/前导码序列Preamble作为本地序列,将本地序列与透反一体智能反射面每个透射阵元的接收信号做互相关；

[0023] 将时延域同一时延下透反一体智能反射面不同透射阵元的峰值合并为列向量,计算列向量的协方差矩阵并做特征值分解,得到信号子空间；

[0024] 根据信号子空间计算空间频谱,搜索空间频谱的峰值得到路径角度。

[0025] 进一步,利用主同步序列PSS估计基站到达智能反射面路径角度的流程如下:首先,确定主同步序列PSS的时频资源位置;接着,通过所有的频率栅格利用所有可能的PSS序列与接收信号作互相关,得到频偏值和5G NR的物理小区标识 2 ;最后,利用得到的频偏值与5G NR的物理小区标识 2 对应的互相关结果,通过权利要求3所述的方法估计基站到达智能反射面路径的角度。

[0026] 进一步,利用前导码序列Preamble估计终端到达智能反射面路径角度的流程如下:首先,确定前导码序列Preamble的时频资源位置;接着,遍历所有可能根序列以及由该根序列生成的所有前导码索引,用前导码索引生成参考Preamble序列,对接收信号与参考Preamble序列作互相关,进而检测相关峰的峰值是否达到某一阈值;若是,记录下相关峰的峰值,最后利用权利要求3所述的方法估计对终端到达智能反射面路径的角度;若否,则继续遍历,直到检测到相关峰的峰值达到预设阈值为止,继而估计路径角度。

[0027] 进一步,利用移动终端向基站发起的随机接入过程获得终端C-RNTI,步骤如下：

[0028] 步骤1,智能反射面辅助通信装置接收随机接入前导码Preamble(Msg1)时,进行波束扫描,得到发送物理随机接入信道PRACH的波束,完成对Msg1的接收之后,根据随机接入信道PRACH时频资源和前导码序列Preamble之间的索引,并参考5G NR上行同步流程确定SSB索引,从而确定了终端与基站之间的接收发送波束对;

[0029] 步骤2,智能反射面辅助通信装置根据接收系统消息块SIB1获得的移动终端的物理下行控制信道PDCCH配置,获得下行控制信息DCI,再接收由随机接入无线网络临时标识RA-RNTI加扰的物理下行共享信道PDSCH传输(Msg2),获取Msg2中的上行调度UL Grant和临时小区无线网络临时标识TC-RNTI(在5G NR中定义);

[0030] 步骤3,智能反射面辅助通信装置根据Msg2消息中的上行调度UL Grant,获得由Msg2调度的物理上行共享信道PUSCH传输(Msg3)。其中,Msg3中公共控制信道服务数据单元CCCH SDU(定义在5G NR中)用于验证是否与争用解决的PDSCH传输(Msg4)中的消息匹配,PUSCH是由Msg2消息的中TC-RNTI加扰的,时频资源由UL Grant给出;

[0031] 步骤4,智能反射面辅助通信装置接收Msg4中的争用解决标识MAC层控制单元Contention Resolution IdentityMAC CE,与Msg3发送的CCCH SDU匹配时,则认为随机接入成功并将TC-RNTI升级为C-RNTI。

[0032] 与现有技术相比,本发明的有益效果表现在:

[0033] 本方法避免了智能反射面辅助通信方法的控制信息传递开销,降低了智能反射面辅助通信装置部署复杂度,增加智能反射面辅助通信装置的便捷性和复用性。

附图说明

[0034] 图1为本发明的智能反射面辅助通信方法流程示意图;

[0035] 图2为本发明实施例中的智能反射面辅助通信的系统示意图;

[0036] 图3为本发明实施例中透反一体智能反射面的实现方法示意图;

[0037] 图4为本发明实施例中透反一体智能反射面的另一种实现方法示意图;

具体实施方式

[0038] 下面结合附图对本发明的实施例做进一步说明:

[0039] 本发明公开了一种智能反射面辅助通信的方法,涉及使用的装置,能够根据入射信号决定智能反射面的反射系数进而辅助通信。

[0040] 参阅图1,图1为本发明所公开的一种智能反射面辅助通信方法的流程图。假设该智能反射面辅助通信装置工作在一个物理小区中,该智能反射面辅助通信方法如下操作:

[0041] S1.接收系统消息,获得小区带宽、帧结构和中心频率等信息

[0042] 所需要接收到系统消息包括SSB,MIB和SIB1。

[0043] S2.利用PSS序列估计基站到达智能反射面路径的角度

[0044] 在5G NR系统中,基站周期性地发送SSB用于下行同步,终端接收到SSB后发起随机接入过程进行上行同步。

[0045] 其中,SSB在时域上占据4个OFDM符号,在频域上占据240个子载波,由PSS、辅同步序列(SSS)、物理广播信道(PBCH)以及解参考信号(DM-RS)组成。

[0046] 该装置利用SSB中的PSS序列估计基站到达智能反射面路径的角度。

[0047] S3.利用Preamble序列估计终端到达智能反射面路径的角度

[0048] 随机接入过程分为4个过程:Preamble传输Msg1、基站对PRACH的响应Msg2、由Msg2调度的PUSCH的传输Msg3以及争用解决的物理下行共享信道(PDSCH)传输Msg4。

[0049] 该装置利用Preamble感知终端到达智能反射面路径的角度。

[0050] 基站/终端到达智能反射面路径的角度的具体估计方法如下:

[0051] 求解Preamble/PSS信号模型如下:

$$[0052] \quad s(t) = \sum_{k=1}^K b_k \text{rect}_{T_b}(t - kT_b)$$

[0053] 其中, $\text{rect}_{T_b}(t)$ 是一个持续时长为 T_b 的矩形窄脉冲, b_k 表示脉冲幅度, K 代表了序列的长度, 符号速率为 $1/T_b$ 。

[0054] 求解基站/移动终端-智能反射面辅助通信装置信道模型如下:

$$[0055] \quad \mathbf{h}(\tau) = \sum_{l=1}^L h_l e^{j\varphi_l} \mathbf{e}(\phi_l, \theta_l, f) \delta(\tau - \tau_l)$$

[0056] 其中, L 是多径的数量; h_l 表示第 l 路径的增益; φ_l 表示信道对信号的相位影响; f 表示载波频率; τ_l 表示第 l 条路径的时延; $\mathbf{e}(\phi_l, \theta_l, f)$ 可以写成如下形式:

$$[0057] \quad \mathbf{e}(\phi_l, \theta_l, f) = \begin{bmatrix} e_1(\phi_l, \theta_l, f) \\ \vdots \\ e_M(\phi_l, \theta_l, f) \end{bmatrix} = \mathbf{e}(v_l) \otimes \mathbf{e}(u_l)$$

[0058] 由几何关系,可以得到不同透射阵元接收信号的相位:

$$[0059] \quad v_l = 2\pi f d \sin \phi_l \cos \theta_l / c, u_l = 2\pi f d \sin \theta_l / c$$

$$[0060] \quad fd/c = 0.5f\lambda_{\max} / c = 0.5f/f_{\max}$$

[0061] 由于智能反射面辅助通信装置上智能反射面阵元的中心频率是3.5GHz,远大于信号带宽,所以 $f/f_{\max} \approx 1$ 。从而有:

$$[0062] \quad v_l = \pi \sin \phi_l \cos \theta_l, u_l = \pi \sin \theta_l$$

$$[0063] \quad \mathbf{e}(v_l) = [1, e^{jv_l}, \dots, e^{j(N_h-1)v_l}]^T$$

$$[0064] \quad \mathbf{e}(u_l) = [1, e^{ju_l}, \dots, e^{j(N_v-1)u_l}]^T$$

[0065] N_h 是透反一体智能反射面水平方向上的透射阵元数量, N_v 是透反一体智能反射面垂直方向上的透射阵元数量。

[0066] ϕ_l, θ_l 分别是第 l 个路径的方位角和仰角。

[0067] 智能反射面辅助通信装置的接收信号模型如下:

$$y_m(\tau) = \mathbf{h}_m(\tau) * s(\tau) + N_m(\tau)$$

$$[0068] \quad = \sum_{l=1}^L h_l^{CH} \mathbf{e}_m(\phi_l, \theta_l) s(\tau - \tau_l) + N_m(\tau)$$

[0069] 其中, m 表示第 m 个智能反射面辅助通信装置的透射阵元, $y_m(\tau)$ 表示第 m 个透射阵元的接收信号; $s(\tau - \tau_l)$ 表示的是发送信号 $s(\tau)$ 经过时延 τ_l 后到达透反一体智能反射面的信

号; $e_m(\phi_1, \theta_1)$ 是第 m 个阵元的复转向因子; 我们把 $\hat{h}_l e^{j\varphi_l}$ 记为 \hat{h}_l^{CH} , 它表示第 1 条路径的复增益; $N_m(\tau)$ 表示的是信道噪声, 它服从高斯分布。

[0070] 对接收信号与输入信号作互相关, 由于 PSS/Preamble 具有很好的自相关性, 那么有:

$$\begin{aligned}
 p(\tau) &= \langle y_m(\tau) s(\tau) \rangle \\
 [0071] \quad &= \left(\sum_{l=1}^L \hat{h}_l^{CH} e_m(\phi_l, \theta_l) s(\tau - \tau_l) + N_m(\tau) \right) * s^*(-\tau) \\
 &= KP_b \sum_{l=1}^L \hat{h}_l^{CH} e_m(\phi_l, \theta_l) \delta(\tau - \tau_l) + N'_m(\tau)
 \end{aligned}$$

[0072] 其中, $s(\tau - \tau_l) * s^*(-\tau) = KP_b \delta(\tau - \tau_l)$, P_b 是脉冲功率。

[0073] $N_m(\tau) * s^*(-\tau) = N'_m(\tau)$

[0074] 由 [0051] 中的公式可以看出, $p(\tau)$ 在时延域上有 L 个峰值。

[0075] 将第 m 个阵元的 L 个峰值合并在一起, 得到一个行向量, 记为:

$$[0076] \quad \mathbf{a}_m = KP_b \left[\hat{h}_1^{CH} e_m(\phi_1, \theta_1), \hat{h}_2^{CH} e_m(\phi_2, \theta_2), \dots, \hat{h}_L^{CH} e_m(\phi_L, \theta_L) \right]$$

[0077] 智能反射面辅助通信装置的透射阵元中, 所有的峰值如下:

$$[0078] \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} \mathbf{a}_1 \\ \mathbf{a}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{a}_M \end{bmatrix} = KP_b \begin{bmatrix} \hat{h}_1^{CH} e_1(\phi_1, \theta_1) & \hat{h}_2^{CH} e_1(\phi_2, \theta_2) & \dots & \hat{h}_L^{CH} e_1(\phi_L, \theta_L) \\ \hat{h}_1^{CH} e_2(\phi_1, \theta_1) & \hat{h}_2^{CH} e_2(\phi_2, \theta_2) & \dots & \hat{h}_L^{CH} e_2(\phi_L, \theta_L) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{h}_1^{CH} e_M(\phi_1, \theta_1) & \hat{h}_2^{CH} e_M(\phi_2, \theta_2) & \dots & \hat{h}_L^{CH} e_M(\phi_L, \theta_L) \end{bmatrix}$$

[0079] 其中, 第 m 行表示第 m 个阵元的输出, 第 1 列表示包含第 1 条路径所有的峰值。因此, \mathbf{A} 的列被称为是路径阵列响应向量, 它对应于一条独立的路径。

[0080] 第 1 条路径的路径阵列响应向量可以进一步表示为:

$$[0081] \quad \mathbf{v}_l = KP_b \begin{bmatrix} \hat{h}_l^{CH} e_1(\phi_l, \theta_l) \\ \hat{h}_l^{CH} e_2(\phi_l, \theta_l) \\ \vdots \\ \hat{h}_l^{CH} e_M(\phi_l, \theta_l) \end{bmatrix} = KP_b \hat{h}_l^{CH} \mathbf{e}(\phi_l, \theta_l)$$

[0082] $\mathbf{e}(\phi_1, \theta_1)$ 是指向第 1 条路径到达角度的 M 维转向矢量。我们的目标是根据观察到的 \mathbf{v}_1 确定 (ϕ_1, θ_1) 。

[0083] \mathbf{v}_1 的 $M \times M$ 维协方差矩阵可以计算为 (为了便于表述, 忽略 (ϕ_1, θ_1)):

$$[0084] \quad \mathbf{C}_l = \mathbf{v}_l \mathbf{v}_l^H = \left| KP_b \hat{h}_l^{CH} \right|^2 \mathbf{e} \mathbf{e}^H = \left| KP_b \hat{h}_l^{CH} \right|^2 \begin{bmatrix} |e_1|^2 & \dots & e_1 e_M^* \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ e_M e_1^* & \dots & |e_M|^2 \end{bmatrix}$$

[0085] 容易得到, \mathbf{C}_l 的秩是 1, 并且它的特征值满足

$$[0086] \quad \begin{cases} \lambda_1 = |KP_b \hat{h}_l^{CH}|^2 \sum_{m=1}^M |e_m|^2 = |KP_b \hat{h}_l^{CH}|^2 \sum_{m=1}^M e_m^2(\phi_l, \theta_l) \\ \lambda_2 = \lambda_3 = \dots = \lambda_M = 0 \end{cases}$$

[0087] 那么 C_1 的特征向量 u_1 是指向第1条路径的方向矢量,其中,特征向量 u_1 是特征值 λ_1 所对应的特征向量。

[0088] 因此,有如下引理: u_1 正交于其他零特征值所对应的特征向量所构成的空间,即 $u_1 \perp B_R \circ B_R = [u_2 \ u_3 \ \dots \ u_M]$ 。

[0089] 基于 B_R 的空间被称为 C_1 的参考子空间。因此我们可以得出所有指向第1条路径的转向矢量 $e(\phi_1, \theta_1)$ 正交于参考子空间。因此空间频谱可以如下定义:

$$[0090] \quad P(\phi, \theta) = \frac{1}{\langle \mathbf{e}(\phi, \theta) \cdot \mathbf{B}_R \rangle} = \frac{1}{\mathbf{e}^H(\phi, \theta) \mathbf{B}_R \mathbf{B}_R^H \mathbf{e}(\phi, \theta)}$$

[0091] 通过在空间频谱 $P(\phi, \theta)$ 搜索峰值即可得到路径的角度。当对每条路径进行上述操作时,就可以得到基站/终端每条路径的角度。

[0092] S4. 利用随机接入过程获得终端的C-RNTI

[0093] 具体步骤如下:

[0094] 1. 该装置在基站侧接收Msg1时,进行波束扫描,得到发送PRACH的波束。完成对Msg1的接收之后,根据PRACH时频资源和Preamble之间的索引,参考5G NR上行同步流程确定SSB索引,从而确定终端与基站之间的接收发送波束对。

[0095] 2. 该装置根据SIB1获得的PDCCH配置,获得DCI,再接收由RA-RNTI加扰的PDSCH,获取Msg2中的UL Grant和TC-RNTI。

[0096] 3. 该装置根据Msg2消息中的UL Grant,获得Msg3的CCCH SDU,用来验证是否与Msg4中的消息匹配,其中PUSCH是由Msg2消息的中TC-RNTI加扰的,时频资源由UL Grant给出。

[0097] 4. 接收Msg4中的Contention Resolution Identity MAC CE,与Msg3发送的CCCH SDU匹配时,认为随机接入成功并将TC-RNTI升级为C-RNTI。

[0098] S5. 利用查找表存储上述结果

[0099] 基站路径的角度单独存储,终端路径的角度和C-RNTI一一对应。

[0100] S6. 接收信号并估计信号的来波方向

[0101] 该装置通过透反一体智能反射面透射阵元接收5G NR系统上下行信号,透射阵元将电磁信号转换为电信号,并将电信号传送到控制单元。在控制单元中,模数转换器将模拟电信号转换为数字电信号,接着将数字电信号送到FPGA处理,得到二进制序列。

[0102] 一方面FPGA对得到的二进制序列进行路径的角度估计,得到信号的来波方向,通过对比信号的方向与已经存储的基站和终端的方向判断信号类型。若信号的方向与基站的方向是相同的,认为该信号是下行信号;反之认为该信号是上行信号。

[0103] S7. 利用查找表中的C-RNTI尝试解调信号

[0104] 该信号是下行信号,另一方面FPGA要利用已经存储的C-RNTI尝试解调信号,解调过程包括OFDM解调、时频同步、信道估计、信号检测以及解资源映射等步骤。由于该装置存储了小区内所有终端的C-RNTI,所以总会有一个C-RNTI能够成功解调信号。由于C-RNTI与

终端方向是一一对应的,这样就得到了下行信号的目标方向。

[0105] S8.根据上述步骤得到的路径的角度计算反射系数

[0106] 若信号是上行信号,由于一个小区内部只有一个基站,所以上行信号的目标方向就是基站的方向。若该信号是下行信号,在步骤S6中我们得到了下行信号的目标方向。

[0107] Zhang和R.Zhang在发表于IEEE Journal on Selected Areas in Communications的论文“Capacity Characterization for Intelligent Reflecting Surface Aided MIMO Communication”中提出了一种计算智能反射面系数的方法。该方法通过联合优化智能反射面反射系数矩阵与发送协方差矩阵来最大化智能反射面辅助通信的信道容量。

[0108] 本步骤中根据信号来波方向和目标方向分别构造舵矢量,利用最小二乘估计等方法估计信道系数,得到基站与智能反射面之间和用户与智能反射面之间的信道矩阵。最后利用上述论文中的方法计算智能反射面的反射系数。

[0109] S9.智能反射面根据反射系数配置反射阵元,进行信号反射

[0110] 在本步骤中,透反一体智能反射面根据理论反射系数调整智能反射面每一个反射元件的反射幅度及相移,进而反射信号。

[0111] 参阅图2,图2是本发明所公开装置的工作场景示意图。该智能反射面辅助通信装置工作于一个物理小区当中,在该物理小区,有一个基站以及多个终端,基站和终端之间的视距路径(LOS)被建筑物遮挡。

[0112] 参阅图3,图3是本发明所公开装置的一种实现方式。在该实现方式中,透反一体智能反射面任一阵元既具备透射功能,又具备反射功能。

[0113] 参阅图4,图4是本发明所公开装置的另一种实现方式。在该实现方式中,透反一体智能反射面有透射阵元区域用于接收信号,其余反射阵元用于反射信号。

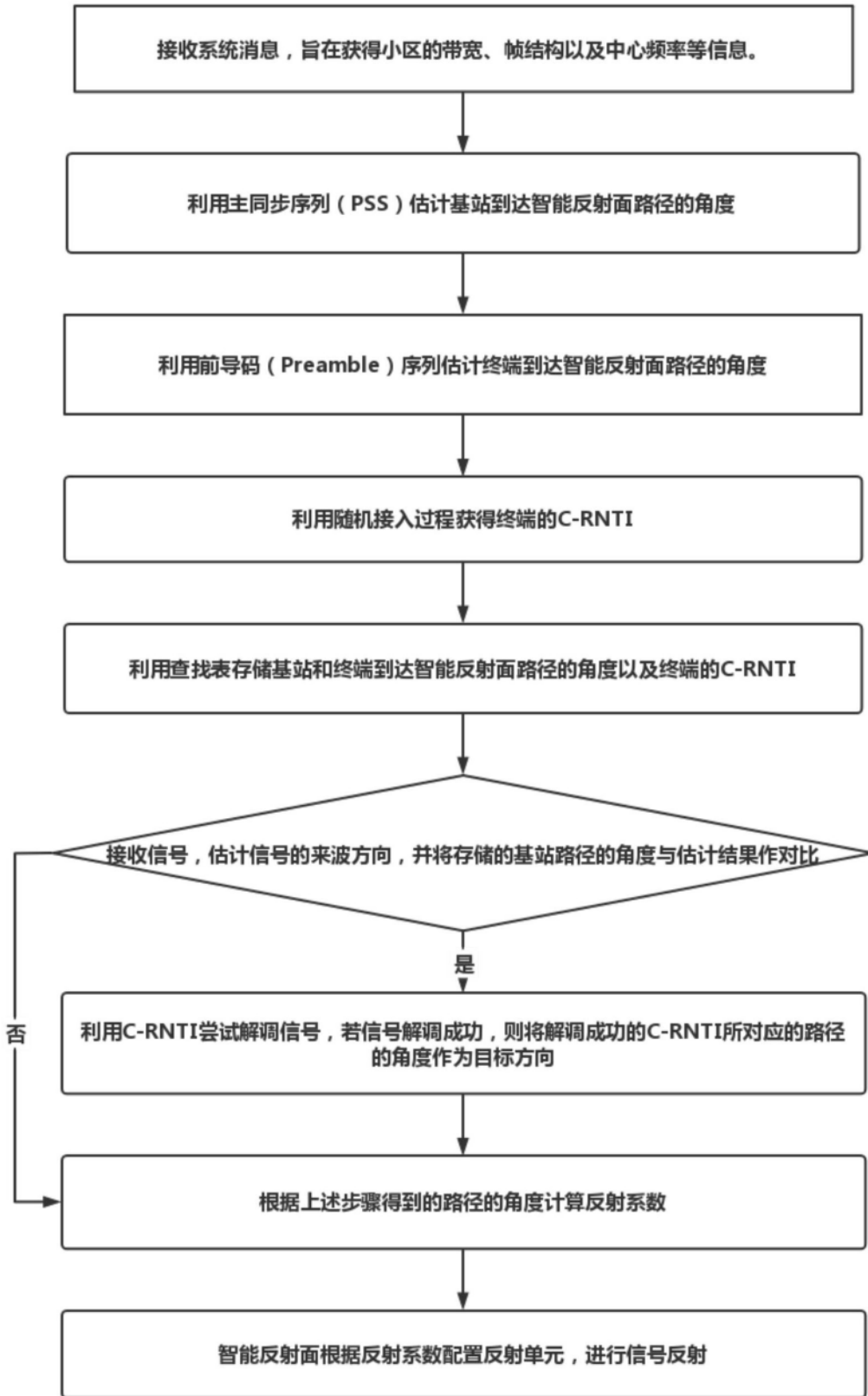


图1

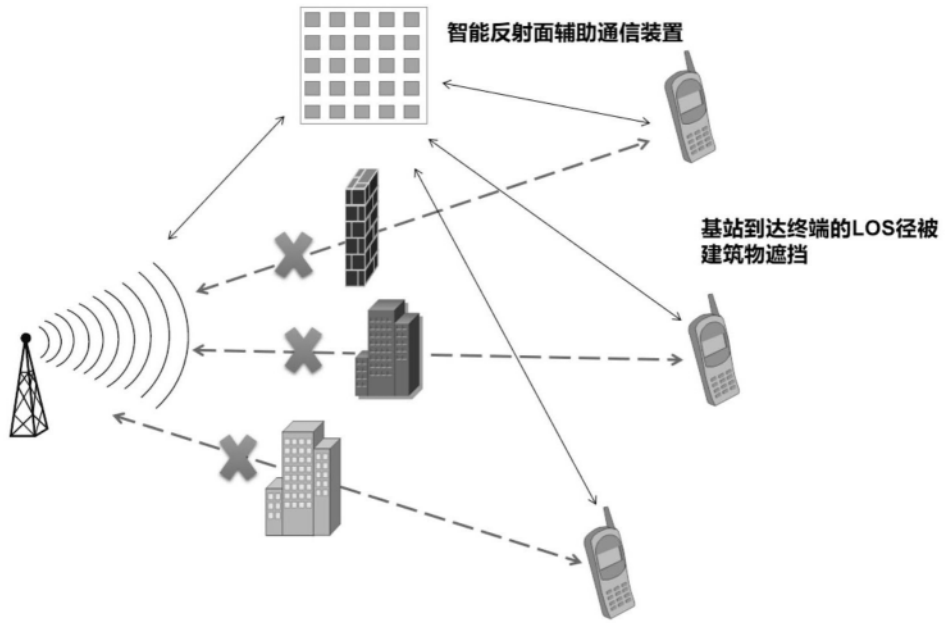


图2

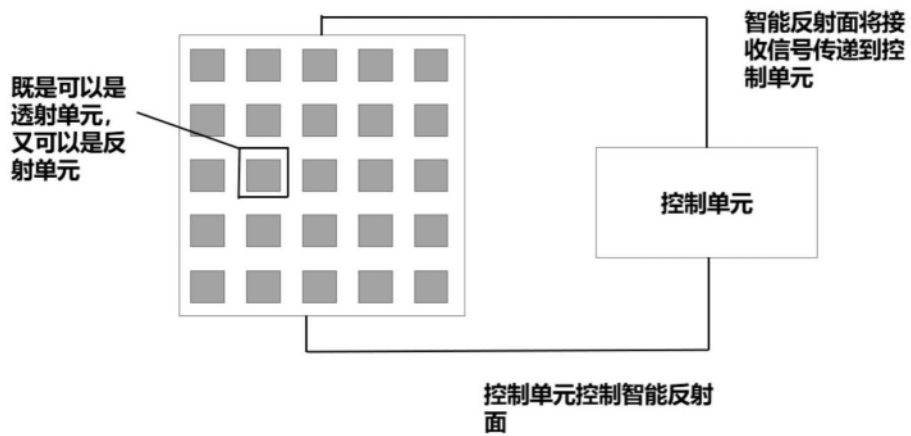


图3

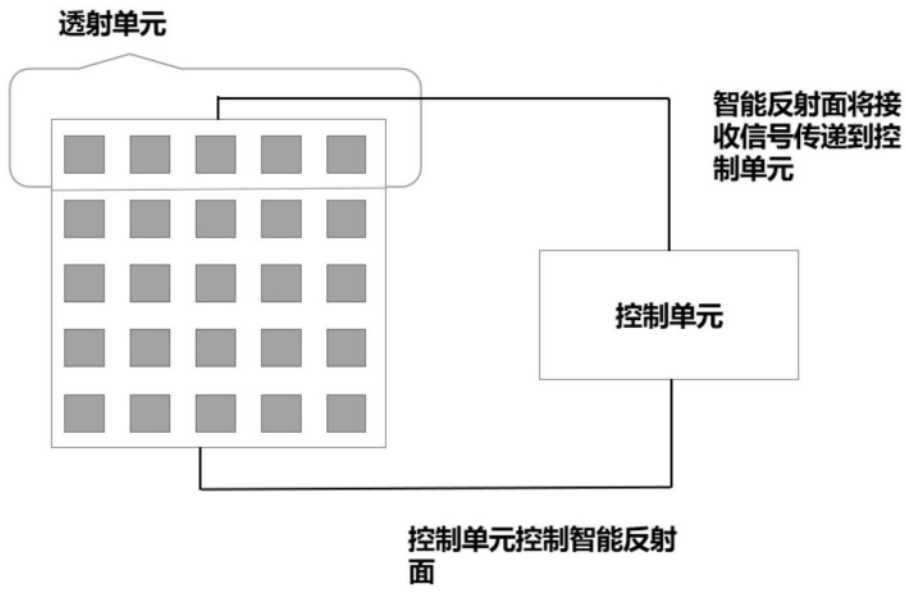


图4