(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106888043 B
(45)授权公告日 2021.09.17

(21)申请号 201611269597.5

(22)申请日 2016.12.31

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106888043 A

(43)申请公布日 2017.06.23

(73)专利权人 上海无线通信研究中心
地址 201210 上海市浦东新区海科路100号8号楼4楼

(72)发明人 杨秀梅 张武雄 张梦莹 杨旸 王海峰

(74)专利代理机构 北京汲智翼成知识产权代理事务所(普通合伙) 11381
代理人 陈曦 董烨飞

(51)Int.Cl.
H04B 7/0456(2017.01)

(56)对比文件
CN 105959048 A,2016.09.21
CN 104579439 A,2015.04.29
US 8548511 B2,2013.10.01
RanZi.Energy Efficiency Optimization of SG Radio Frequency Chain Systems.《IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS》.2016,第34卷(第4期),

审查员 陈诗华

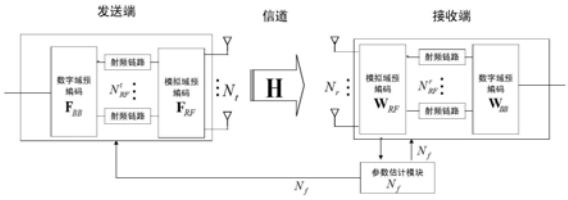
权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54)发明名称

一种混合预编码毫米波传输系统的自适应参数调整方法

(57)摘要

本发明公开了一种混合预编码毫米波传输系统的自适应参数调整方法。该方法包括以下步骤:在发送端与接收端之间交互应开启的射频链路数目。根据开启不同数量射频链路时的接收信号功率,以及开启不同数量射频链路时的总功耗,所述接收端计算出应开启的射频链路数目。本发明在权衡功耗与速率的条件下,自适应地选择应开启的射频链路数目,达到功耗与速率的最优化。



CN 106888043 B

1.一种混合预编码毫米波传输系统的自适应参数调整方法,其特征在于包括以下步骤:

根据开启不同数量射频链路时的接收信号功率,以及开启不同数量射频链路时的总功耗,接收端计算出应开启的射频链路数目,交互给发送端;其中,

启动i条射频链路的接收信号功率为$q^{(i)}=|(b^{(i)})^{H}Ya^{(i)}|^{2}$,i=1,2,…,K,$K=\min\left(N_{RF}^{t},N_{RF}^{r}\right)$,$N_{RF}^{t}$为发送端的射频链路数,$N_{RF}^{r}$为接收端的射频链路数,$q^{(i)}$为i条射频链路的接收信号功率,$a^{(i)}$为发送端数字域预编码向量,$b^{(i)}$为接收端数字域合并向量,Y是K×K的对角阵,对角线元素为$\{y_1,y_2,\cdots,y_K\}$,非对角线元素为零,$\{y_1,y_2,\cdots,y_K\}$为对应的接收信号。

2.如权利要求1所述的自适应参数调整方法,其特征在于:

所述应开启不同数量射频链路时的总功耗,至少包括射频链路总功耗。

3.如权利要求1所述的自适应参数调整方法,其特征在于:

所述应开启的射频链路数目决定于选择度量值,

所述选择度量值是开启特定数量的射频链路时的接收信号速率及开启所述特定数量的射频链路时的总功耗的函数。

4.如权利要求3所述的自适应参数调整方法,其特征在于:

计算开启所述特定数量的射频链路时的接收信号速率,以及开启所述特定数量的射频链路时的总功耗,

计算所述接收信号速率除以所述总功耗的比值,作为选择度量值,

计算所述特定数量递增时的所述选择度量值,

根据所述选择度量值确定所述应开启的射频链路数目。

5.如权利要求4所述的自适应参数调整方法,其特征在于:

将所述特定数量递增时得到的不同所述选择度量值,作为递增量,

选择所述递增量首次小于门限值时对应的所述特定数量,作为应开启的所述射频链路数目。

6.如权利要求4所述的自适应参数调整方法,其特征在于:

将所述特定数量递增时得到的不同所述选择度量值,作为递增量,

选择所述递增量最大时对应的所述特定数量,作为应开启的所述射频链路数目。

7.如权利要求3所述的自适应参数调整方法,其特征在于:

所述选择度量值$\beta^{(i)}=\dfrac{\log_2\left(1+\dfrac{q^{(i)}}{\sigma^2}\right)}{p^{(i)}}$,

其中,$q^{(i)}$是开启i条射频链路时的接收信号功率,σ^2是所述接收信号的噪声功率,$p^{(i)}$为开启i条射频链路时的射频总功耗。

8.如权利要求3所述的自适应参数调整方法,其特征在于:

所述选择度量值$\beta^{(i)}=f(q^{i},p^{(i)})$,

其中,$q^{(i)}$是开启i条射频链路时的接收信号功率,$p^{(i)}$为开启i条射频链路时的射频总功耗,f(•)是某种函数形式。

9.如权利要求1所述的自适应参数调整方法,其特征在于包括以下步骤:

计算启动的射频链路的接收信号总功率,

计算启动的射频链路时的总功耗,

计算启动的射频链路时的选择度量值,

比较所述选择度量值的变化,

根据所述选择度量值的变化,选择所述应开启的射频链路数目,用于所述交互。

10.如权利要求3 所述的自适应参数调整方法,其特征在于:

所述选择度量值 $\beta^{(i)}=\frac{p^{(i)}}{1\log_2\left(1+\frac{q^{(i)}}{\sigma^2}\right)}$,

其中,$q^{(i)}$是开启i条射频链路时的接收信号功率,σ^2是所述接收信号的噪声功率,$p^{(i)}$为开启i条射频链路时的射频总功耗。

11.如权利要求1或9所述的自适应参数调整方法,其特征在于:

所述应开启的射频链路数目通过上行控制信道中的多个比特的控制域交互给所述发送端。

12.一种采用混合预编码的毫米波传输用接收端,其特征在于:

根据开启不同数量射频链路时的接收信号功率,以及开启不同数量射频链路时的总功耗,所述接收端计算出应开启的射频链路数目,交互给发送端;其中,

启动i条射频链路的接收信号功率为$q^{(i)}=|(b^{(i)})^{H}Ya^{(i)}|^{2}$,i=1,2,…,K,$K=\min\left(N_{RF}^{t},N_{RF}^{r}\right)$,$N_{RF}^{t}$为发送端的射频链路数,$N_{RF}^{r}$为接收端的射频链路数,$q^{(i)}$为i条射频链路的接收信号功率,$a^{(i)}$为发送端数字域预编码向量,$b^{(i)}$为接收端数字域合并向量,Y是K×K的对角阵,对角线元素为$\{y_1,y_2,\cdots,y_K\}$,非对角线元素为零,$\{y_1,y_2,\cdots,y_K\}$为对应的接收信号。

13.如权利要求12所述的采用混合预编码的毫米波传输用接收端,其特征在于:

所述应开启的射频链路数目决定于选择度量值,

所述选择度量值是开启特定数量的射频链路时的接收信号速率与开启所述特定数量的射频链路时的总功耗的函数。

14.如权利要求12所述的采用混合预编码的毫米波传输用接收端,其特征在于:

计算启动的射频链路的接收信号总功率,

计算启动的射频链路时的总功耗,

计算启动的射频链路时的选择度量值,

比较所述选择度量值的变化,

根据所述选择度量值的变化,选择所述应开启的射频链路数目,用于所述交互。

15.如权利要求12或14所述的采用混合预编码的毫米波传输用接收端,其特征在于:

所述应开启的射频链路数目通过上行控制信道中的多个比特的控制域交互给所述发送端。

一种混合预编码毫米波传输系统的自适应参数调整方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种混合预编码毫米波传输系统的自适应参数调整方法，属于无线通信技术领域。

背景技术

[0002] 众所周知，毫米波频段可提供更宽的无线频谱，能够大幅提升网络容量，是第五代移动通信(5G)的关键技术之一。由于毫米波射频链路的功耗较大，评价毫米波传输性能时，需要同时考虑速率和功耗两个性能指标。毫米波系统通常配置有限个射频链路，如何根据信道传播特性选择合适的射频链路数目是毫米波系统传输的一个重要问题。

[0003] 因射频功耗原因，毫米波系统中通常多个天线共用一个射频链路，所配置的射频链路数目小于天线数。因此，采用模拟预编码和数字预编码结合的混合预编码成为毫米波无线传输的重要预处理方式。在模拟域，发送或接收天线阵列通过调整天线阵的相移控制波束方向，在数字域，通过矩阵运算对多个射频链路的信号进行合并处理。增加射频链路数目能够有效提升信号接收强度并提升传输速率，但同时也增加了功耗开销。如何合理选择开启的射频链路数目是实际应用中需要解决的一个关键问题。

[0004] 但是，目前混合预编码方面的研究主要集中在，针对固定个数的射频链路设计混合预编码码本及快速波束搜索等问题。没有研究表示，应如何根据用户所处的信道传播环境自适应选择开启合适数目的射频链路。

发明内容

[0005] 本发明所要解决的首要技术问题在于提供一种混合预编码毫米波传输系统的自适应参数调整方法。

[0006] 本发明所要解决的另一技术问题在于提供一种采用混合预编码的毫米波传输用接收端。

[0007] 为实现上述发明目的，本发明采用下述的技术方案：

[0008] 一种混合预编码毫米波传输系统的自适应参数调整方法，包括以下步骤：

[0009] 在发送端与接收端之间交互应开启的射频链路数目。

[0010] 其中较优地，根据开启不同数量射频链路时的接收信号功率，以及开启不同数量射频链路时的总功耗，所述接收端计算出应开启的射频链路数目，交互给发送端。

[0011] 其中较优地，所述应开启不同数量射频链路时的总功耗，至少包括射频链路总功耗。

[0012] 其中较优地，所述应开启的射频链路数目决定于选择度量值，

[0013] 所述选择度量值是开启特定数量的射频链路时的接收信号速率及开启所述特定数量的射频链路时的总功耗的函数。

[0014] 其中较优地，包括以下步骤：

[0015] 计算启动的射频链路的接收信号功率，

[0016] 计算启动的射频链路时的总功耗，

[0017] 计算启动的射频链路时的选择度量值，

[0018] 比较所述选择度量值的变化，

[0019] 根据所述选择度量值的变化，选择所述应开启的射频链路数目，用于所述交互。

[0020] 一种采用混合预编码的毫米波传输用接收端，包括参数估计模块，

[0021] 所述参数估计计算出应开启的射频链路数目，用于交互给发送端。

[0022] 其中较优地，根据开启不同数量射频链路时的接收信号功率，以及开启不同数量射频链路时的总功耗，所述接收端计算出所述应开启的射频链路数目。

[0023] 本发明在权衡功耗与速率的条件下，自适应地选择应开启的射频链路数目，达到功耗与速率的最优化。

附图说明

[0024] 图1为混合预编码毫米波传输系统示意图。

具体实施方式

[0025] 下面结合附图和具体实施例对本发明的技术内容进行详细具体的说明。

[0026] 图中各参数说明如下。发送端配置：发送天线数N_t，射频链路数N_{RF}^t，独立数据流数N_s，模拟预编码矩阵F_{RF}，数字预编码矩阵F_{BB}。接收端配置：接收天线数N_r，射频链路数N_{RF}^r，模拟域合并矩阵W_{RF}，数字域合并矩阵W_{BB}。与已有技术不同，除上述参数外，所提方案中，新增加参数N_f，用来表示实际传输时开启的射频链路数，其中$1 \le N_f \le K = \min\left(N_{RF}^t, N_{RF}^r\right)$。以单用户单流传输为例($N_s=1$)，上述各矩阵的维度分别为：$F_{RF}$：$N_t \times N_f$；$F_{BB}$：$N_f \times 1$；$W_{RF}$：$N_r \times N_f$；$W_{BB}$：$N_f \times 1$。本发明技术方案传输过程如图1所示。

[0027] 本发明的采用混合预编码的毫米波传输方法主要步骤为：接收端通过参数估计模块计算得到发送端和接收端需要开启的射频链路数N_f，其中$1 \le N_f \le K$；通过反馈链路将参数N_f发送到发送端，发送端开启N_f个射频链路用于信号传输；接收端开启N_f个射频链路进行信号接收。

[0028] 〈实施例一〉

[0029] 如图1所示，本发明的毫米波传输系统由发送端和接收端构成。发送端和接收端都采用混合预编码，均包括数字域预编码模块和模拟域预编码模块。接收端还包括参数估计模块，与接收端的数字域预编码模块和模拟域预编码模块分别连接。

[0030] 在本实施例中，假设采用单用户单流毫米波传输，应用大规模天线阵列。参数取值如下：$N_t=100$，$N_r=100$，$N_{RF}^t=4$，$N_{RF}^r=4$，$N_s=1$。天线阵列采用均匀线阵，天线间距为半波长，发送端模拟域码本个数为N_1，其中第1个码本f_1为：

$$\mathbf{f}_l=\frac{1}{\sqrt{N_t}}\left[1 \quad e^{jkd\sin(\phi)} \quad \cdots \quad e^{jkd(N_t-1)\sin(\phi)}\right]^T, \quad \sin(\phi)=-1+\frac{2l}{N_1}, l=0,1,\cdots,N_1-1, \quad k=\frac{2\pi}{\lambda}, \quad d=\frac{\lambda}{2}, N_1=2N_t$$

，其中Φ为出发角，λ为波长，d为天线间距，上标$(\bullet)^T$表示转置；接收端模拟域码本个数为N_2，其中第1个码本w_1为：

$\mathbf{w}_l=\frac{1}{\sqrt{N_r}}\left[1 \quad e^{jkd\sin(\varphi)} \quad \cdots \quad e^{jkd(N_t-1)\sin(\varphi)}\right]^T$，$\sin(\varphi)=-1+\frac{2l}{N_2},l=0,1,\cdots,N_2-1$，$N_2=2N_r$，其中$\varphi$为到达角。发送端和接收端数字域均采用离散傅里叶(Discrete Fourier Transform,DFT)码本。信道模型采用扩展的Saleh-Valenzuela(SV)模型，该模型为毫米波常用信道模型，信道矩阵H表示为：$\mathbf{H}=\sqrt{\frac{N_rN_t}{L}}\sum_{l=1}^{L}\alpha_l\mathbf{a}_r\left(\varphi_l^r\right)\mathbf{a}_t\left(\phi_l^t\right)^H$，其中，L为空间分布的径数，$\alpha_1$为每径的复增益，$\mathbf{a}_r\left(\varphi_l^r\right)$为接收天线阵列响应，$\varphi_l^r$为第l径的到达角，$\mathbf{a}_t\left(\phi_l^t\right)$为发送天线阵列响应，$\phi_l^t$为第l径的出发角，上标$(\bullet)^H$表示共轭转置。

[0031] 本实施例中，假设L＝10，α_1服从瑞利分布，φ_l^r和ϕ_l^t服从拉普拉斯分布，假设每条射频链路功耗p_0＝48mW。噪声功率记为σ^2。

[0032] 对于一次信道实现H，接收端首先按照已有技术(如遍历性搜索、多级搜索等)进行波束搜索，记录接收信号中能量最强的波束对。在本实施例中以$\min\left(N_{RF}^t,N_{RF}^r\right)=4$个波束对为例进行说明，假设4个最强波束对分别为：$\{f_1,w_1\}$，$\{f_2,w_2\}$，$\{f_3,w_3\}$，$\{f_4,w_4\}$；即，发送端模拟域采用波束码本$f_1$、接收端模拟域采用波束码本$w_1$时，接收信号功率最强，发送端模拟域采用波束码本$f_2$、接收端模拟域采用波束码本$w_2$时，接收信号功率次之，依次类推。

[0033] 假设分别开启1、2、3、4条射频链路时，即特定数量分别为1、2、3、4的射频链开启时，发送端和接收端预设的数字域预编码分别是$a^{(1)}$＝1，$a^{(2)}$，$a^{(3)}$，$a^{(4)}$；$b^{(1)}$＝1，$b^{(2)}$，$b^{(3)}$，$b^{(4)}$；其中，上标$(\bullet)^{(1)}$，$(\bullet)^{(2)}$，$(\bullet)^{(3)}$，$(\bullet)^{(4)}$分别表示对应的射频链路数目为1、2、3、4时的向量。上述向量分别取自对应DFT矩阵的列。对应的接收符号记为$\{y_1,y_2,y_3,y_4\}$，同时也是矩阵Y的对角线元素，非对角线元素为零。

[0034] 作为优选项之一，反馈参数可以采用二进制比特量化后将量化比特进行反馈。

[0035] 下面介绍接收端参数估计模块(N_f)计算应开启的射频链路数目的方法。

[0036] 将不同角度方向上信号的接收强度按照从大到小顺序进行排列，取能量最强的K个接收信号进行存储，并记$\{w_1,w_2,\cdots,w_K\}$为对应的K个接收端模拟波束，$\{f_1,f_2,\cdots,f_K\}$为对应的K个发送端模拟波束，$\{y_1,y_2,\cdots,y_K\}$为对应的接收信号。将$\{y_1,y_2,\cdots,y_K\}$的对角形式记为Y，即，Y＝diag$(y_1,y_2,\cdots,y_K)$，Y是K×K的对角阵，对角线元素为$\{y_1,y_2,\cdots,y_K\}$，非对角线元素为零。由于波束训练过程中发送的训练波束是已知的，去掉训练序列影响后，$y_i\approx\mathbf{w}_i^H\mathbf{H}\mathbf{f}_i$，其中H为$N_r\times N_t$的信道矩阵，上标$(\bullet)^H$表示共轭转置。

[0037] 假设启动i条射频链路时，发送端数字域预编码向量和接收端数字域合并向量分别表示为：$\mathbf{a}^{(i)}=\left[a_1^{(i)} \quad a_2^{(i)} \quad \cdots \quad a_i^{(i)}\right]^H$，$\mathbf{b}^{(i)}=\left[b_1^{(i)} \quad b_2^{(i)} \quad \cdots \quad b_i^{(i)}\right]^H$，i＝1,2,…,K；

[0038] 步骤1：计算启动i条射频链路的接收信号总功率：$q^{(i)}=\left|\left(\mathbf{b}^{(i)}\right)^H\mathbf{Y}\mathbf{a}^{(i)}\right|^2$，i＝1,2,…,K。即，分别计算启动不同射频链路时的接收信号功率：$q^{(1)}=(b^{(1)})^HYa^{(1)}$，$q^{(2)}=(b^{(2)})^HYa^{(2)}$，$q^{(3)}=(b^{(3)})^HYa^{(3)}$，$q^{(4)}=(b^{(4)})^HYa^{(4)}$。

[0039] 步骤2：计算启动i条射频链路时的总功耗$p^{(i)}$。作为示意，本发明仅考虑射频链路的功耗，且假设每条射频链路功耗大致相同，即$p^{(i)}\approx 2i\times p_0$，其中，$p_0$为每条射频链路的功耗。因此，本实施例中特定数量取不同值时，开启特定数量的射频链路时的射频总功耗为：p

$^{(1)}\approx 2p_0$，$p^{(2)}\approx 4p_0$，$p^{(3)}\approx 6p_0$，$p^{(4)}\approx 8p_0$。具体实施时，总功耗也可以包括基带部分的功耗，例如，$p^{(i)}\approx 2i\times p_0+t_i$，其中$t_i$为开启i条射频链路时的基带功耗。

[0040] 步骤3：计算启动i条射频链路时的选择度量值：$\beta^{(i)}=\dfrac{\log_2\left(1+\dfrac{q^{(i)}}{\sigma^2}\right)}{p^{(i)}}$，其中i＝1，2，…，K，$\sigma^2$为噪声总功率，该表达式表示速率和功耗的比值。在特定数量为1、2、3、4时，开启特定数量的射频链路时的选择度量值为：

$$\beta^{(1)}=\frac{\log_2\left(1+\frac{q^{(1)}}{\sigma^2}\right)}{p^{(1)}},\quad \beta^{(2)}=\frac{\log_2\left(1+\frac{q^{(2)}}{\sigma^2}\right)}{p^{(2)}},\quad \beta^{(3)}=\frac{\log_2\left(1+\frac{q^{(3)}}{\sigma^2}\right)}{p^{(3)}},\quad \beta^{(4)}=\frac{\log_2\left(1+\frac{q^{(4)}}{\sigma^2}\right)}{p^{(4)}}。$$

[0041] 随着开启的射频链路数目逐步增加，选择度量值相应变化。本实施例中，特定数量的取值每增加1，即每增加开启一条射频链路，就计算特定数量取值增加后的选择度量值，以及特定数量取值增加前的选择度量值，并且将前者减去后者的差值，取绝对值，作为选择度量值的递增量。

[0042] 步骤4：比较选择度量值的变化。

[0043] 本实施例中选择度量值的变化，是指选择度量值的递增量差值，即$|\beta^{(2)}-\beta^{(1)}|$，$|\beta^{(3)}-\beta^{(2)}|$，…，$|\beta^{(K)}-\beta^{(K-1)}|$，当递增量小于预设的门限值ε时，停止比较并确定需要开启的射频链路数。其中，门限值根据用户需求自行定义，若设置的门限值取值较大，说明系统侧重功耗需求，若设置的门限值取值较小，说明系统侧重速率需求，门限值本身取值为正实数即可。

[0044] 可以理解，度量值的选择，可以用其他方式，例如，$\beta^{(i)}=\dfrac{m_t*\log_2\left(1+\dfrac{q^{(i)}}{\sigma^2}\right)}{m_p*p^{(i)}}$，即分别对分子和分母乘以一个正实数的加权值，加权值的取值不同表示对速率和功耗的侧重需求不同，前述举例即为$m_t=m_p=1$的特例。度量值的变化，也可以用其他方式，例如采用比值形式，如$\dfrac{\beta^{(i+1)}}{\beta^{(i)}}$等。

[0045] 步骤5：选择应开启的射频链路数目。

[0046] 本发明中，应开启的射频链路数目决定于：开启特定数量的射频链路时的接收信号速率与开启所述特定数量的射频链路时的射频总功耗之比。这个比值，可以是速率除以功耗，也可以是功耗除以速率。以速率比功耗为例，本实施例中，选择应开启的射频链路数目为$N_f=\begin{cases}k, & \text{存在}k\text{使得}\min\limits_k\left(\left|\beta^{(k+1)}-\beta^{(k)}\right|\le\varepsilon\right),\ k=1,2,\cdots,K-1\\ K, & \text{若}\left|\beta^{(K)}-\beta^{(K-1)}\right|>\varepsilon\end{cases}$，

[0047] 其中$\min\limits_k(\cdot),k=1,2,\cdots K-1$表示，k取值分别从1递增到K-1时，递增量首次满足括号内不等式时（即，小于门限值时）对应的k的取值。

[0048] k取所有值，均没有小于门限值的时候，就开启所有射频链路。

[0049] 其中ε为预先设定的门限值，取值正实数。门限值ε的设置由终端用户自行决定，设

置的较高时，说明侧重功耗性能，设置的较低时，说明侧重速率性能。

[0050] σ^2为预先估计得到的噪声功率。

[0051] 假设$|\beta^{(2)}-\beta^{(1)}|>\varepsilon$，而$|\beta^{(3)}-\beta^{(2)}|\leq\varepsilon$，说明增加开启第3条射频链路带来的度量增益小于预定门限值。换言之，增加开启第3条射频链路时，相对功耗增加来讲，速率的相对增加值小于预定门限值，因此增加第3条射频链路的获益可以忽略。此时，选择开启的射频链路数为$N_f=\min_k\left(\left|\beta^{(k+1)}-\beta^{(k)}\right|\leq\varepsilon\right)=2$。

[0052] 步骤6：计算获得N_f后，接收端将该信息在后续传输中经由上行链路反馈至发送端。作为可选反馈形式，可以对N_f进行二进制量化后再进行反馈。例如，采用2比特进行量化，其中，{00}对应$N_f=4$，{01}对应$N_f=1$，{10}对应$N_f=2$，{11}对应$N_f=3$。假设计算得到$N_f=1$，则反馈的比特为{01}。

[0053] 在上行控制信道中新增多个比特的控制域，用于指示开启的射频链路数，根据计算得到的参数取值对该控制域进行赋值，并通过上行控制信道传输将该信息携带至发送端。

[0054] 需要指出的是，虽然上述方案针对单用户单流毫米波传输，本发明的方法可以应用于多用户多流的毫米波传输。另外，上述方案虽然针对毫米波传输，本发明的方法可以应用于非毫米波的其他高频段传输。

[0055] 〈实施例二〉

[0056] 本发明对于选择开启链路数目的计算方法可以采用多种方式。例如，除了实施例一中采用门限值ε约束进行选择外，作为一种替代方案，也可以直接采用度量增量的变化进行选择，即选择递增量最大时的链路数目。举例如下：仍以共4条射频链路为例，假设开启2条时，递增量$|\beta^{(2)}-\beta^{(1)}|$，开启3条时，递增量$|\beta^{(3)}-\beta^{(2)}|$，开启4条时递增量$|\beta^{(4)}-\beta^{(3)}|$，若$|\beta^{(2)}-\beta^{(1)}|>|\beta^{(3)}-\beta^{(2)}|$，且$|\beta^{(2)}-\beta^{(1)}|>|\beta^{(4)}-\beta^{(3)}|$，按照递增量最大原则，则选择的是开启2条射频链路。

[0057] 该方法中，递增量最大，说明新开启一条射频链路带来的度量变化最大，作为决策虽然比门限值方法精准度弱，但计算相对简单。

[0058] 但是，本实施例可能存在损失速率的情况。仍以共4条射频链路为例，假设开启2条射频链路时，递增量$|\beta^{(2)}-\beta^{(1)}|=10$，开启3条射频链路时，递增量$|\beta^{(3)}-\beta^{(2)}|=9$，开启4条射频链路时递增量$|\beta^{(4)}-\beta^{(3)}|=8$，若按照递增量最大原则，则选择的是开启2条链路，但事实上，开启3条射频链路带来的递增量为9，开启4条射频链路带来的递增量为8，均是非常可观的增益。这种情况下，选择开启2条射频链路就会损失一些速率性能。

[0059] 这种情况下，若按照门限值方法，假设设置门限值$\varepsilon=5$，由于$|\beta^{(4)}-\beta^{(3)}|>\varepsilon$，则选择开启4条射频链路。

[0060] 上述递增量或者门限值的取值(10,9,8,5)仅作示例说明用，非实际值。

[0061] 〈实施例三〉

[0062] 本发明用于衡量功耗和速率变化的选择度量关系可以采用多种形式，如$\beta^{(i)}=f(q^{(i)},p^{(i)})$，其中$f(\bullet)$是某种函数形式，$q^{(i)}$是开启i条射频链路时的接收信号功率，$p^{(i)}$为开启i条射频链路时的总功耗。以下提供另一种计算选择度量的方法，启动i条射频链路时的

选择度量也可以表示为$\beta^{(i)}=\frac{p^{(i)}}{\log_2\left(1+\frac{q^{(i)}}{\sigma^2}\right)}$，即选择度量为功耗与速率的比值。在特定数量为1、2、3、4时，开启特定数量的射频链路时的选择度量值为：$\beta^{(1)}=\frac{p^{(1)}}{\log_2\left(1+\frac{q^{(1)}}{\sigma^2}\right)}$，

[0063] $\beta^{(2)}=\frac{p^{(2)}}{\log_2\left(1+\frac{q^{(2)}}{\sigma^2}\right)}$，$\beta^{(3)}=\frac{p^{(3)}}{\log_2\left(1+\frac{q^{(3)}}{\sigma^2}\right)}$，$\beta^{(4)}=\frac{p^{(4)}}{\log_2\left(1+\frac{q^{(4)}}{\sigma^2}\right)}$。

[0064] 随着开启的射频链路数目逐步增加，选择度量值相应变化。本实施例中，特定数量的取值每增加1，即每增加开启一条射频链路，就计算特定数量取值增加后的选择度量值，以及特定数量取值增加前的选择度量值，并且将前者减去后者的差值，取绝对值，作为选择度量值的递增量。比较选择度量值的递增量变化，即$|\beta^{(2)}-\beta^{(1)}|$，$|\beta^{(3)}-\beta^{(2)}|$，…，$|\beta^{(K)}-\beta^{(K-1)}|$，当递增量小于预设的门限值ε时，停止比较，此时对应的链路数目即为选择应开启的射频链路数。

[0065] 可以理解，选择度量$\beta^{(i)}$的表达式，除了上述比值形式外，还可以采用其他非比值形式，例如，考虑到射频总功耗近似为射频链路数的线性函数，从而选择度量$\beta^{(i)}$可以直接定义为速率的递增量，即$\beta^{(i)}=\log\left(1+\frac{q^{(i)}}{\sigma^2}\right)-\log\left(1+\frac{q^{(i-1)}}{\sigma^2}\right)$，仍以4条射频链路为例，$\beta^{(2)}$，$\beta^{(3)}$，$\beta^{(4)}$分别表示对应开启2、3、4条射频链路相对于开启1、2、3条射频链路的速率递增量，假设$\beta^{(2)}>\beta^{(3)}$，且$\beta^{(2)}>\beta^{(4)}$，即开启2条链路时度量值最大，那么选择开启的射频链路数为2。该方法较为简单，但最小开启的射频链路数是2，在射频链路数为1和2之间进行选择时需要额外的计算方法。

[0066] 上面对本发明所提供的采用混合预编码的毫米波传输方法和接收端进行了详细的说明。对本领域的一般技术人员而言，在不背离本发明实质精神的前提下对它所做的任何显而易见的改动，都将构成对本发明专利权的侵犯，将承担相应的法律责任。

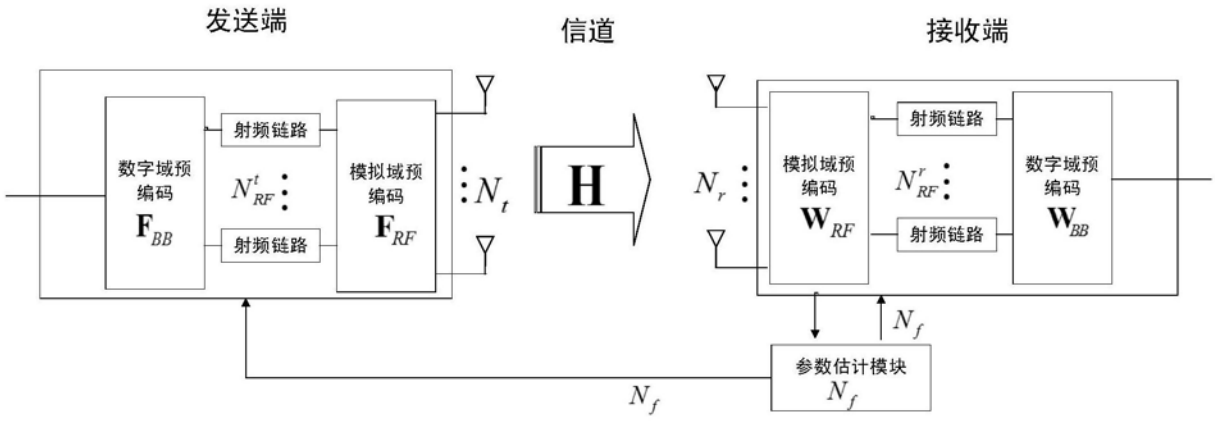

发送端
信道
接收端
数字域预编码
$\mathbf{F}_{BB}$
射频链路
N_{RF}^{t}
射频链路
模拟域预编码
$\mathbf{F}_{RF}$
N_t
H
N_r
模拟域预编码
$\mathbf{W}_{RF}$
射频链路
N_{RF}^{r}
射频链路
数字域预编码
$\mathbf{W}_{BB}$
N_f
参数估计模块
N_f
N_f

图1