

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H04B 7/06 (2006.01)

H04L 1/06 (2006.01)



# [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200510059484.8

[43] 公开日 2006年9月27日

[11] 公开号 CN 1838558A

[22] 申请日 2005.3.25

[21] 申请号 200510059484.8

[71] 申请人 松下电器产业株式会社

地址 日本大阪府

[72] 发明人 余小明 李继峰

[74] 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司

代理人 王 玮

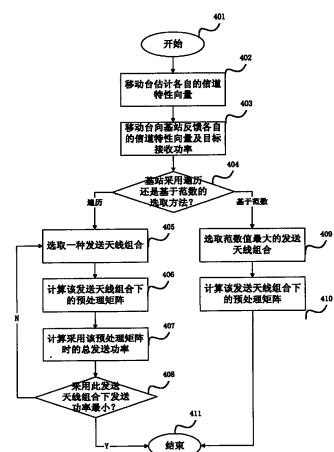
权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图 4 页

## [54] 发明名称

多天线多用户通信系统中的发送天线选择方法和设备

## [57] 摘要

本发明提出了一种多天线多用户通信系统中的发送天线选择方法，包括以下步骤：移动台估计各自的信道特性向量，并将估计出的信道特性向量连同目标接收功率反馈回基站；基站利用移动台反馈的信息，采用遍历或基于范数的选取方式对发送天线组合进行选取；基站根据各用户的目标接收功率计算所述发送天线组合下的预处理矩阵，以便执行数据预处理。



1. 一种多天线多用户通信系统中的发送天线选择方法,包括以  
5 下步骤:  
    移动台估计各自的信道特性向量,并将估计出的信道特性向量连同目标接收功率反馈回基站;  
    基站利用移动台反馈的信息,采用遍历或基于范数的选取方式对发送天线组合进行选取;
- 10 基站根据各用户的目标接收功率计算所述发送天线组合下的预处理矩阵,以便执行数据预处理。
2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于:所述移动台估计并向基站反馈各自的信道特性向量的步骤包括:由每个移动台根据接收信号中的导频信号进行信道估计,其中每个移动台估计所得的信道  
15 特性为一行向量,其维数等于基站的发送天线数。
3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于:所述目标接收功率基于相应用户所要求的接收数据的速率和误码率。
4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于:所述对发送天线组合进行选取包括确定发送天线组合中所包含的天线数目,所述天线  
20 数目由系统初始设定且不小于接收天线总数。
5. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于:所述的遍历的发送天线选取方式包括将所有可采用的发送天线组合下的情况都计算一遍,以选择所有天线组合下所需总发送功率最低的发送天线组合。
6. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于:所述的基于范数的发送天线选取方式包括从信道特性矩阵中选取范数值最大的若干  
25 列,并选取这些列所对应的发送天线作为最终的发送天线组合。
7. 一种多天线多用户通信系统中的发送天线选择设备,包括:  
    信道估计器,估计各自的信道特性向量,并将估计出的信道特性向量连同目标接收功率反馈回基站;  
30     预处理控制模块,利用移动台反馈的信息,采用遍历或基于范数

的选取方式对发送天线组合进行选取；并且根据各用户的目标接收功率计算所述发送天线组合下的预处理矩阵；

预处理模块，用于根据所述预处理矩阵来执行数据预处理；

天线选择模块，用于预处理控制模块所选的天线组合来执行天线

5 选择。

8. 根据权利要求7所述的设备，其特征在于：所述信道估计器根据接收信号中的导频信号进行信道估计，其中估计所得的信道特性为一行向量，其维数等于基站的发送天线数。

9. 根据权利要求7所述的设备，其特征在于：所述预处理控制  
10 模块确定发送天线组合中所包含的天线数目，所述天线数目由系统初始设定且不小于接收天线总数。

10. 根据权利要求7所述的设备，其特征在于：所述预处理控制  
15 模块执行遍历的发送天线选取方式包括将所有可采用的发送天线组合下的情况都计算一遍，以选择所有天线组合下所需总发送功率最低的发送天线组合。

11. 根据权利要求7所述的设备，其特征在于：所述预处理控制  
模块执行基于范数的发送天线选取方式包括从信道特性矩阵中选取范数值最大的若干列，并选取这些列所对应的发送天线作为最终的发送  
天线组合。

## 多天线多用户通信系统中的发送天线选择方法和设备

5

### 技术领域

本发明涉及一种多天线多用户无线通信系统中的天线选择技术，更具体地，涉及一种多天线多用户无线通信系统中的发送天线选择方法和设备，能够在降低多天线多用户通信系统实现成本的同时，进一步降低基站的总发送功率。

10

### 背景技术

越来越高的信息传输速率是未来无线通信系统所面临的主要问题之一。为了在有限的频谱资源上实现这一目标，多天线技术（MIMO）已成为未来无线通信中所采用的必不可少的手段之一。在MIMO系统中，发送端利用多根天线进行信号的发送，接收端利用多根天线进行空间信号的接收。研究表明，相比于传统的单天线传输方法，MIMO技术可以显著的提高信道容量，从而提高信息传输速率。

15

近年来，随着对MIMO系统研究的不断深入，人们逐渐将研究的重点从点到点的MIMO系统转向多用户的MIMO系统。需要注意的是，在多用户MIMO下行（基站BS到移动台MT）链路中，由于接收端的多个MT之间无法进行信号的联合处理（联合处理需要任一个MT都知晓其他所有MT上的接收信号，而这里无法实现），因此无法像点到点的MIMO系统一样，在接收端利用常规的MIMO检测技术来将各用户MT的信号分离和检测出来。

25

此时，为了消除或者尽量减少接收端MT之间接收信号的干扰，一般采用在发送端，即BS端来对发送信号进行预处理的方法。传统的多用户MIMO下行链路结构如图1所示。

图1所示为传统的多用户MIMO下行链路结构示意图。

30

如图1所示，在该结构中，包含了一个基站BS 151、和 $n_R$ 个移动台

MT (161, 162), 其中BS 151包含 $n_T$ 个发送天线,  $n_R$ 个MT中每个MT有一个接收天线(这里仅考虑每个MT包含一个接收天线的情况, 在实际应用中由于受MT体积的限制以及天线放置间隔的要求, 每个MT包含一个接收天线应是较一般性的情况)。这样, 由BS的 $n_T$ 根发送天线和 $n_R$ 个MT的 $n_R$ 根接收天线便组成了一个MIMO系统。

在图1中, 发送端BS 151包含 $n_R$ 路数据发送处理单元, 分别处理 $n_R$ 路数据子流, 每一路数据子流对应于一个接收MT。具体说来, 其中的Tx数据 1子流是发送给第一个MT的, Tx数据 2子流是发送给第二个MT的, 依此类推。发送端BS 151中的每一路发送数据处理单元包括编码模块101、交织模块102和调制模块103。这里, 每一路数据发送处理单元中的包含的编码调制参数可以不同(因为每个用户MT对数据的速率, 误码率(BER)等要求可能不同)。接下来, 对应于 $n_R$ 个接收MT的 $n_R$ 路数据子流再经过预处理模块104变成 $n_T$ 路信号, 然后再通过与之相对应的 $n_T$ 个发送天线发送出去。这里, 预处理模块104由预处理控制模块105根据接收端反馈回的信道特性等参数进行控制。

在接收端,  $n_R$ 个MT分别通过各自的接收天线将空间信号接收下来。然后由各自的信道估计模块115根据该接收信号中的导频信号或采用其他方法进行信道估计, 估计出发送端BS 151的 $n_T$ 根发送天线到本MT的1根接收天线这一空间信道的信道特性矩阵 $H_k$ (这里,  $H_k$ 表示第 $k$ 个MT内估计的信道特性, 也即发送端BS 151的 $n_T$ 根发送天线到第 $k$ 个MT的1根接收天线这一空间信道的信道特性矩阵,  $H_k$ 为 $1 \times n_T$ 的行向量)。同时, 各MT将估计所得的信道特性向量 $H_k$ 连同 $P_{\text{target}_k}$ 一齐通过反馈信道发送回发送端, 其中 $P_{\text{target}_k}$ 表示第 $k$ 个MT对接收信号功率的要求(前面提到, 在多用户环境下, 每个用户对自己信号的要求可能不同)。接下来, 每个接收MT内数据接收处理单元执行与发送端相反的操作, 从而解出各自需要的数据。这里, 数据接收处理单元包括: 解调模块112, 解交织模块113, 和译码模块114, 这些组件的功能与现有技术中的解调模块、解交织模块和译码模块的功能相同, 在这里不再赘述。

对于多用户MIMO下行链路来说, 发送端BS 151发送的数据包含了其发给多个接收MT的数据。而对于每个接收MT来说, BS发送给其他MT

的数据对自己来说都是干扰。此时，如果在发送端不进行预处理的话，每个MT通过接收天线接收的空间信号中既包含BS发给自己的信号，亦包含BS发给其他MT的信号。因此，在实际系统中，往往在发送端BS 151中信号发送之前，事先进行信号的预处理，即，在预处理模块104中执行预处理。通过预处理操作，可以使得对每个MT来说，其接收信号中完全或绝大部分是BS发给自己的信号，而将BS发给其他MT的信号对自己所造成的干扰完全消除或者尽量降低。除此之外，在预处理104中还包含了对发送功率的分配操作，其目的是使得各用户MT的接收信号满足各自的接收功率 $P_{target\_k}$ 要求，其中 $k=1, 2, \dots, n_R$ 。简单说来，预处理操作便是对调制后信号 $d=(d_1, d_2, \dots, d_{n_R})^T$ 进行一个左乘预处理矩阵G的操作，其中T表示转置符号， $d_j$ 表示调制器输出的发送给第j个MT的符号， $j=1, 2, \dots, n_R$ ，这里假设 $d_j$ 的平均功率为1。那么，预处理矩阵G应满足： $HGd=(\sqrt{P_{target\_1}}d_1, \sqrt{P_{target\_2}}d_2, \dots, \sqrt{P_{target\_nR}}d_{nR})^T$ ，其中H为MIMO系统信道特性矩阵。

传统的多用户MIMO通信系统中，往往不对发送天线进行天线选择，也就是说，BS用全部的发送天线进行信号的发送。通过对单用户MIMO系统研究表明，由于信道的衰落，MIMO系统中不同的发送天线所对应的信道特性是不同的，因此，采用不同的发送天线进行信号的发送所需的代价亦是不同的。另外，在实际的通信系统中，与发送天线相关的射频器件（包括模数转换，数模转换，低噪功放，变频器等等）往往占据了整个系统花费中的大部分，因此在实际系统设计中如果能对发送天线进行合理的选取将会有效降低系统实现的成本。为此，下面将描述一种用于多天线多用户通信中的发送天线选择方法，该方法在降低多天线多用户通信系统实现成本的同时，还可以进一步降低基站的总发送功率。

### 发明内容

本发明的目的在于提出一种多天线多用户通信中的发送天线选择方法，在降低多天线多用户通信系统实现成本的同时，进一步降低

基站的总发送功率。

为了实现上述目的，根据本发明，提出了一种多天线多用户通信系统中的发送天线选择方法，包括以下步骤：移动台估计各自的信道特性向量，并将估计出的信道特性向量连同目标接收功率反馈回基站；

5 基站利用移动台反馈的信息，采用遍历或基于范数的选取方式对发送天线组合进行选取；基站根据各用户的目标接收功率计算所述发送天线组合下的预处理矩阵，以便执行数据预处理。

优选地，所述移动台估计并向基站反馈各自的信道特性向量的步骤包括：由每个移动台根据接收信号中的导频信号进行信道估计，其中每个移动台估计所得的信道特性为一行向量，其维数等于基站的发送天线数。

10

优选地，所述目标接收功率基于相应用户所要求的接收数据的速率和误码率。

优选地，所述对发送天线组合进行选取包括确定发送天线组合中所包含的天线数目，所述天线数目由系统初始设定且不小于接收天线总数。

15

优选地，所述的遍历的发送天线选取方式包括将所有可采用的发送天线组合下的情况都计算一遍，以选择所有天线组合下所需总发送功率最低的发送天线组合。

20 优选地，所述的基于范数的发送天线选取方式包括从信道特性矩阵中选取范数值最大的若干列，并选取这些列所对应的发送天线作为最终的发送天线组合。

根据本发明，还提出了一种多天线多用户通信系统中的发送天线选择设备，包括：信道估计器，估计各自的信道特性向量，并将估计出的信道特性向量连同目标接收功率反馈回基站；预处理控制模块，

25 利用移动台反馈的信息，采用遍历或基于范数的选取方式对发送天线组合进行选取；并且根据各用户的目标接收功率计算所述发送天线组合下的预处理矩阵；预处理模块，用于根据所述预处理矩阵来执行数据预处理；天线选择模块，用于预处理控制模块所选的天线组合来执行

30 天线选择。

优选地，所述信道估计器根据接收信号中的导频信号进行信道估计，其中估计所得的信道特性为一行向量，其维数等于基站的发送天线数。

5 优选地，所述预处理控制模块确定发送天线组合中所包含的天线数目，所述天线数目由系统初始设定且不小于接收天线总数。

优选地，所述预处理控制模块执行遍历的发送天线选取方式包括将所有可采用的发送天线组合下的情况都计算一遍，以选择所有天线组合下所需总发送功率最低的发送天线组合。

10 优选地，所述预处理控制模块执行基于范数的发送天线选取方式包括从信道特性矩阵中选取范数值最大的若干列，并选取这些列所对应的发送天线作为最终的发送天线组合。

因此，根据本发明，对多天线多用户通信中的发送天线组合进行优化，从而在降低系统实现成本同时保证易于实现的前提下，可以有效降低基站的总发送功率。

15

### 附图说明

通过参考以下结合附图所采用的优选实施例的详细描述，本发明的上述目的、优点和特征将变得显而易见，其中：

图1为示出了传统的多用户MIMO下行链路结构示意图；

20 图2为示出了根据本发明实施例的多用户MIMO下行链路结构示意图；

图3为示出了预处理及天线选择控制模块结构示意图；

图4为示出了根据本发明实施例的发送天线选择方法的流程图；

25 图5为示出了本发明所采用的方法与传统方法的性能比较的曲线图。

### 具体实施方式

下面将结合附图说明本发明的实施例。

图2所示为采用本发明技术的多用户MIMO下行链路结构示意图。

30 其中，包含了一个基站BS 151、和 $n_R$ 个移动台MT (161, 162)，其

中BS 151包含 $n_T$ 个发送天线， $n_R$ 个MT中每个MT有一个接收天线。发送端BS 151包含 $n_R$ 路数据发送处理单元，每一路发送的数据子流对应于一个接收MT。与图1相比，该结构的不同之处在于：其包括预处理及天线选择控制模块202和天线选取模块201。

- 5           这里的每一路发送数据在经过预处理模块104之后，需要在天线选取模块201中进行天线选择。天线选取模块201功能上类似于一个交换设备，其根据控制信息将其每个输入与相应的输出，即发送天线相连。在图2中，天线选取模块201和预处理模块104都由预处理及天线选择控制模块202根据接收端反馈回的信道特性等参数进行参数计算并
- 10 控制。在接收端， $n_R$ 个MT分别通过各自的接收天线将空间信号接收下来。MT在估计各自的信道特性向量 $H_k$ 之后，将其连同目标接收功率 $P_{target,k}$ 一齐通过反馈信道121发送回发送端。接下来，每个接收MT内数据接收处理单元执行与发送端相反的操作，从而解出各自需要的数据。

- 与图1中的传统多用户MIMO系统结构相比，采用本发明技术的多
- 15 用户MIMO系统的不同之处在于：（1）加入了天线选取模块201，该模块的输入与预处理模块104的 $n_T'$ （数值 $n_T'$ 由系统初始设定，要求 $n_T \geq n_T' \geq n_R$ ）路输出相连，输出与 $n_T$ 个发送天线106相连。从功能上来说，天线选取模块201便是根据预处理及天线选择控制模块202输出的控制信号，从天线106中选取 $n_T'$ 个发送天线，并将其同输入的 $n_T'$ 个
- 20 信号相连。（2）相应地，此时的预处理模块104亦从图1中的 $n_R$ 路输入 $n_T$ 路输出，变为了 $n_R$ 路输入 $n_T'$ 路输出，但从实现原理上它仍等价于一个左乘矩阵。（3）图1中预处理控制模块105更新为图2中的预处理及天线选择控制模块202。该模块202根据接收端反馈回的信道特性及相关参数进行具体的天线选取和参数计算过程，并对预处理模块104和天线
- 25 选取模块201进行控制。预处理及天线选择控制模块202从实现结构和功能上可以细化为图3所示。

图3所示为预处理及天线选择控制模块202的结构示意图。

- 其中，包括了按实现功能划分的四个小模块：选取发送天线组合模块301，计算预处理矩阵模块302，计算范数模块303，以及比较模块
- 30 304。后面将会详细介绍预处理及天线选择中可采用的多种算法，但对

每种方法来说，从实现上来说都包括了这四个功能模块。

本发明中所采用的发送天线选择方法可以用图4来描述。

图4所示为本发明中所采用的发送天线选择方法的流程图。

具体地，参考图4，该方法的实现主要包含以下两个大步骤：

- 5        初始：多用户MIMO下行链路中包含了一个基站BS 151和 $n_R$ 个移动台MT (161, 162)，其中BS 151包含 $n_T$ 个发送天线， $n_R$ 个MT中每个MT有一个接收天线，如图2。通过本方法的操作可以从BS的 $n_T$ 个发送天线中选取最优的 $n_T'$ （数值 $n_T'$ 由系统初始设定，要求 $n_T \geq n_T' \geq n_R$ ）个发送天线进行信号的发送，其目标是在降低多天线多用户通信系统实现成本的同时，进一步降低基站的总发送功率。
- 10

- 初始时，将对应于第 $k$ 个MT的信道特性向量表示为 $H_k$ ， $k=1, 2, \dots, n_R$ ， $H_k$ 为 $1 \times n_T$ 的行向量。那么，此时如果将整个MIMO系统的空间信道特性矩阵用 $H$ 来表示的话，则有 $H^T = \{H_1^T, H_2^T, \dots, H_{n_R}^T\}$ ，其中 $H$ 为一 $n_R \times n_T$ 的矩阵。另外，将第 $k$ 个MT所要求的信号目标接收功率表示成
- 15  $P_{\text{target}_k}$ （这里不失一般性，认为各个MT有不同的业务需求，因此会有不同的目标接收功率）， $k=1, 2, \dots, n_R$ 。同时，将预处理操作之前的调制后信号表示为 $d = (d_1, d_2, \dots, d_{n_R})^T$ ，其中 $d_j$ 表示发送给第 $j$ 个MT的符号， $j=1, 2, \dots, n_R$ ，这里假设 $d_j$ 的平均功率为1。

- 第一步：移动台MT估计各自的信道特性向量，并将其连同信号目标接收功率一齐反馈给基站，如步骤402、步骤403。
- 20

- 这一步里，由每个移动台MT的信道估计模块115根据该MT接收信号中的导频信号或采用其他方法进行信道估计，估计出发送端BS 151的 $n_T$ 根发送天线到本MT的1根接收天线这一空间信道的信道特性向量 $H_k$ ， $k=1, 2, \dots, n_R$ 。接下来，各个MT将估计所得的 $H_k$ 连同信号目标接收功率 $P_{\text{target}_k}$ 一齐反馈给基站。
- 25

- 第二步：发送端（即基站BS）根据各MT反馈回的信息，对发送天线组合进行选取，并计算按此发送天线组合下的预处理矩阵。在这一步里，可以采用不同的方法进行实施。这两种方式为：遍历的选取方式，基于范数的选取方式。这两种方法实现复杂度不同，所实施的效果亦不相同。具体说来，如果采用遍历的选取方式，参见下面的步骤
- 30

(a), 即步骤405~408; 如果采用基于范数的选取方式, 参见下面的步骤(b), 即步骤409、步骤410。

(a) 采用遍历的选取方式, 如步骤405~408。顾名思义, 所谓遍历的选取方式指的是将所有可采用的发送天线组合下的情况都计算一遍, 哪种天线组合下所需总发送功率最低, 则选择该发送天线组合。具体说来, 包括以下步骤:

(1) 选取某种发送天线组合, 如步骤405。前面提到, 本方式所要求的是从 $n_T$ 个发送天线中选取 $n_T'$ 个发送天线进行信号的发送。此时, 这样的发送天线组合共有 $C_{total} = C_{n_T}^{n_T'}$ 个。这一步里, 从其中选取一个发送天线组合, 其包含 $n_T'$ 个发送天线, 将该发送天线组合表示成 $C = \{k_1, k_2, \dots\}$ , 其中 $k_1, k_2, \dots$ 分别表示相应的发送天线序号。

(2) 计算该发送天线组合下的预处理矩阵 $G$ , 如步骤406。前面提到, 预处理操作便是对调制后信号 $d = (d_1, d_2, \dots, d_{n_R})^T$ 进行一个左乘预处理矩阵 $G$ 的操作。此时的预处理矩阵 $G$ 应满足:

$$H' G d = (\sqrt{P_{target\_1}} d_1, \sqrt{P_{target\_2}} d_2, \dots, \sqrt{P_{target\_nR}} d_{nR})^T。由此, 可以根据公式计算出$$

此时的预处理矩阵为 $G = (H')^+ P$ , 其中 $H'$ 表示由发送天线组合 $C$ (前一步骤里得到)和 $n_R$ 个接收天线所组成的MIMO结构的空时信道特性, 即 $(H')^+ = \{H_{k1}^T, H_{k2}^T, \dots\}$ 。另外,  $(H')^+$ 表示矩阵 $H'$ 的伪逆矩阵,

$$P = \text{diag}(\sqrt{P_{target\_1}}, \sqrt{P_{target\_2}}, \dots, \sqrt{P_{target\_nR}})。$$

(3) 计算采用该预处理矩阵 $G$ 时的总发送功率, 如步骤407。此时基站总发送功率的计算式为 $P_{total} = \sum_i \sum_j |G_{ij}|^2$ , 其中 $G_{i,j}$ 为预处理矩阵 $G$ 中第 $i$ 行第 $j$ 列元素。

(4) 这一步里首先将该天线组合 $C$ 下计算所得的发送总功率 $P_{total}$ 存储下来。前面提到, 本方法所要求的从 $n_T$ 个发送天线中选取 $n_T'$ 个发送天线共有 $C_{total} = C_{n_T}^{n_T'}$ 个组合。因此, 在对这 $C_{total} = C_{n_T}^{n_T'}$ 个发送天线组合下的发送总功率进行比较之前, 需要将这 $C_{total} = C_{n_T}^{n_T'}$ 个发送天线组合下的预处理矩阵 $G$ 都要计算一遍, 即重复前面的操作。当得到所有

$C_{total} = C_{nT}$  个发送天线组合下的发送总功率后, 我们便选取发送总功率最低的发送天线组合作为最终的天线选择结果, 并采用此发送天线组合下按 (2) 中方法计算所得的G作为最终的预处理矩阵。

(b) 采用基于范数的选取方式, 如步骤409、步骤410。与采用遍历的方法相比, 该基于范数的方法可以有效地降低实现复杂度。其思想是直接从信道特性矩阵H中选取范数值最大的 $n_{T'}$  个列, 并选取该 $n_{T'}$  个列所对应的发送天线作为最终的发送天线组合。具体说来, 包括:

(1) 计算H中各列的范数值。其中, 第k列的范数值为

$$g_k = \sum_i |H_{i,k}|^2 \quad i=1,2,\dots,n_R, \quad \text{其中} H_{i,k} \text{为矩阵H中第} i \text{行第} k \text{列元素。}$$

(2) 比较 $g_k, k=1, 2, \dots, n_R$ , 并得到其中最大的 $n_{T'}$  个值, 将其下标表示为 $C = \{k_1, k_2, \dots\}$ 。

(3) 选取 $C = \{k_1, k_2, \dots\}$  作为最终的发送天线组合, 如步骤409, 此时的预处理矩阵计算式为 $G = (H')^+ P$ , 如步骤410, 其中H' 表示由发送天线组合C和 $n_R$  个接收天线所组成的MIMO结构的信道特性, 即

$$(H')^T = \{H_{k_1}^T, H_{k_2}^T, \dots\}。 \text{另外, } (H')^+ \text{表示矩阵} H' \text{的伪逆矩阵,}$$

$$P = \text{diag}(\sqrt{P_{target\_1}}, \sqrt{P_{target\_2}}, \dots, \sqrt{P_{target\_nR}})。$$

图5所示为本发明所采用的方法与传统方法的性能比较。

其中, 对传统方法来说, 仿真中采用的 $n_{T'}$ 和 $n_R$ 均为4。对本发明方法来说,  $n_{T'}$ 和 $n_R$ 分别为6和4, 但经过发送天线选择后的发送天线数目与传统方法中相同, 即 $n_{T'} = 4$ 。另外, 信道采用了平坦衰落信道, 采用16QAM调制。图5所示为采用传统方法和本发明申请中的天线选择方法后的BER性能, 其中本发明方法(1)和(2)分别对应与前面所述的遍历和基于范数这两种方法。由图5的结果可见, 与传统方法相比, 采用本发明申请中提出的方法可以获得更好的BER性能。

尽管以上已经结合本发明的优选实施例示出了本发明, 但是本领域的技术人员将会理解, 在不脱离本发明的精神和范围的情况下, 可以对本发明进行各种修改、替换和改变。因此, 本发明不应由上述实

施例来限定，而应由所附权利要求及其等价物来限定。

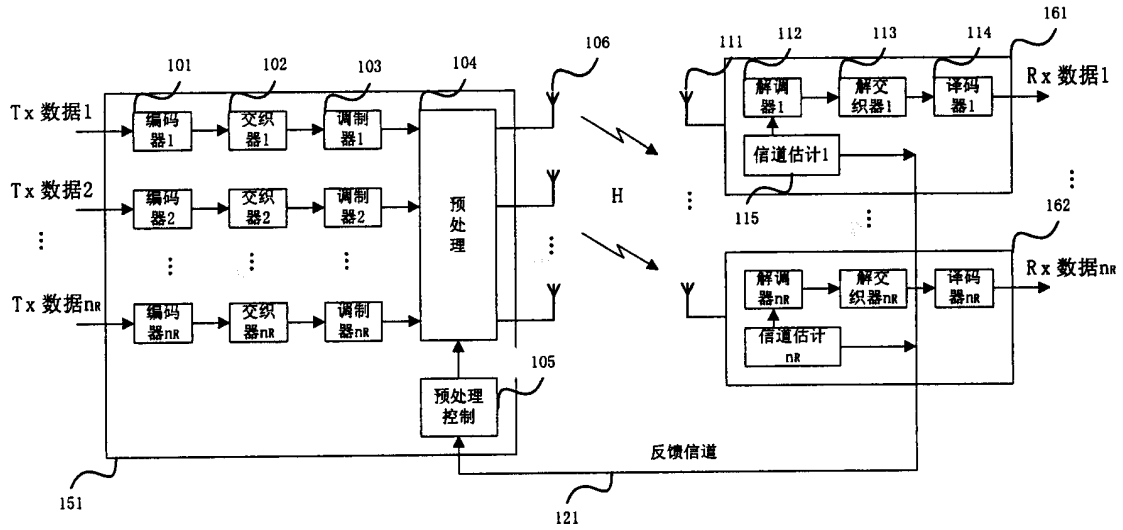


图 1

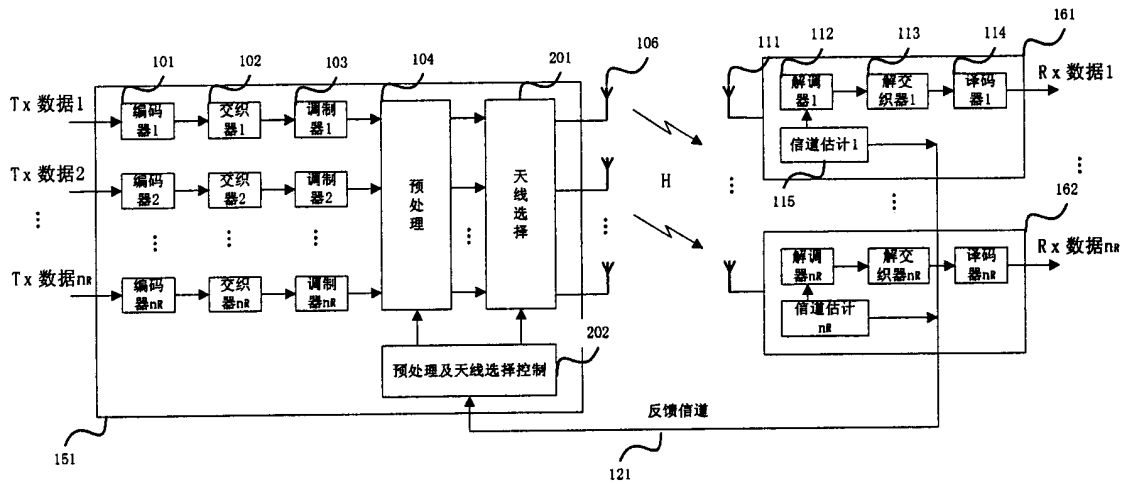


图 2

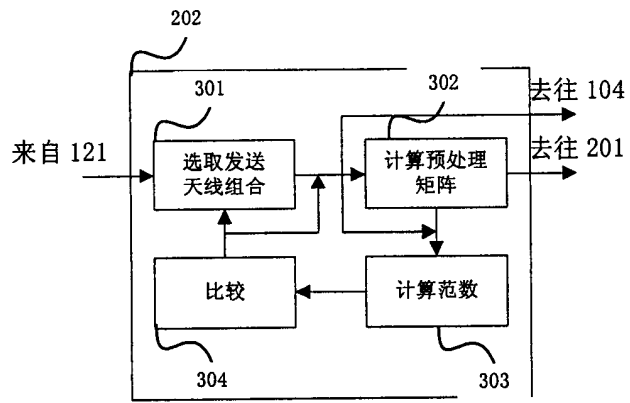


图 3

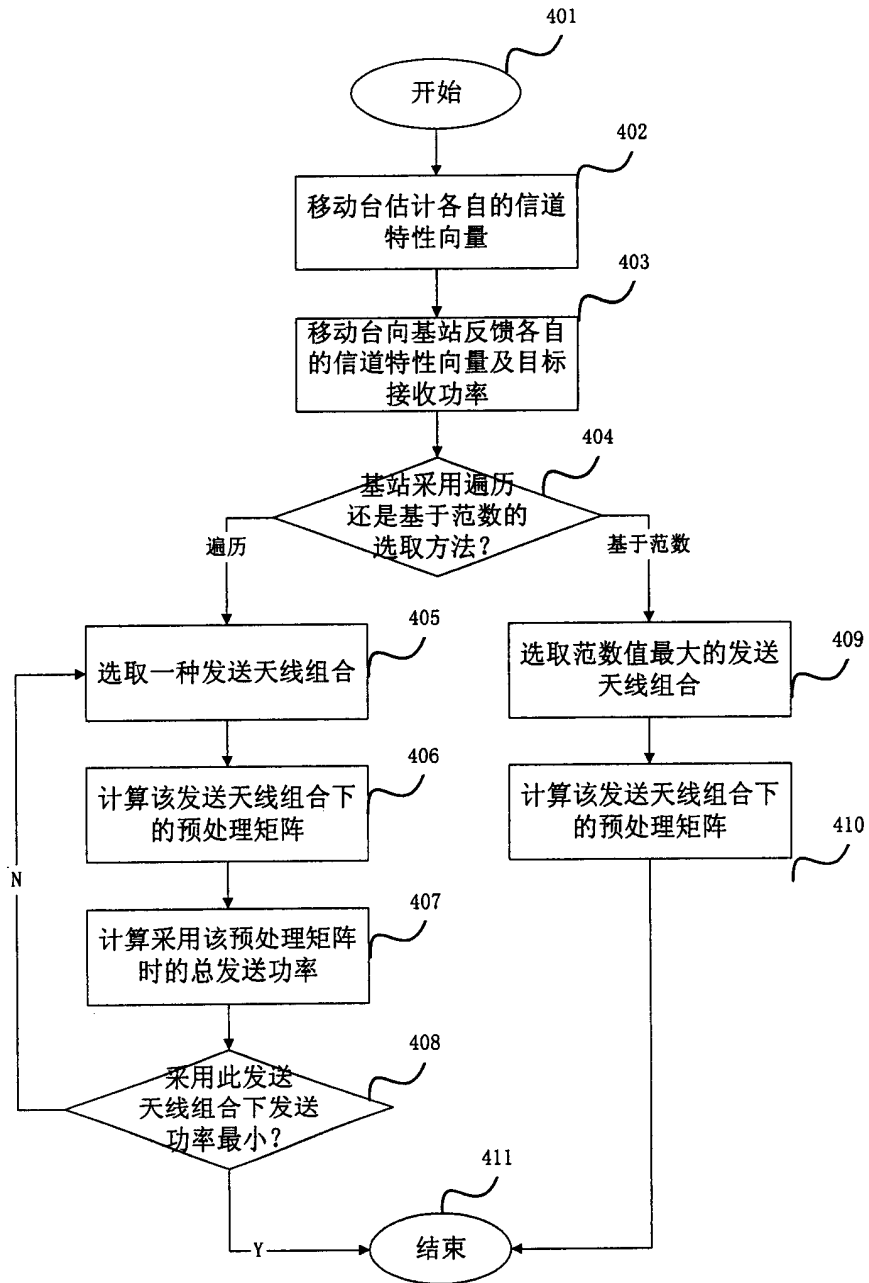


图 4

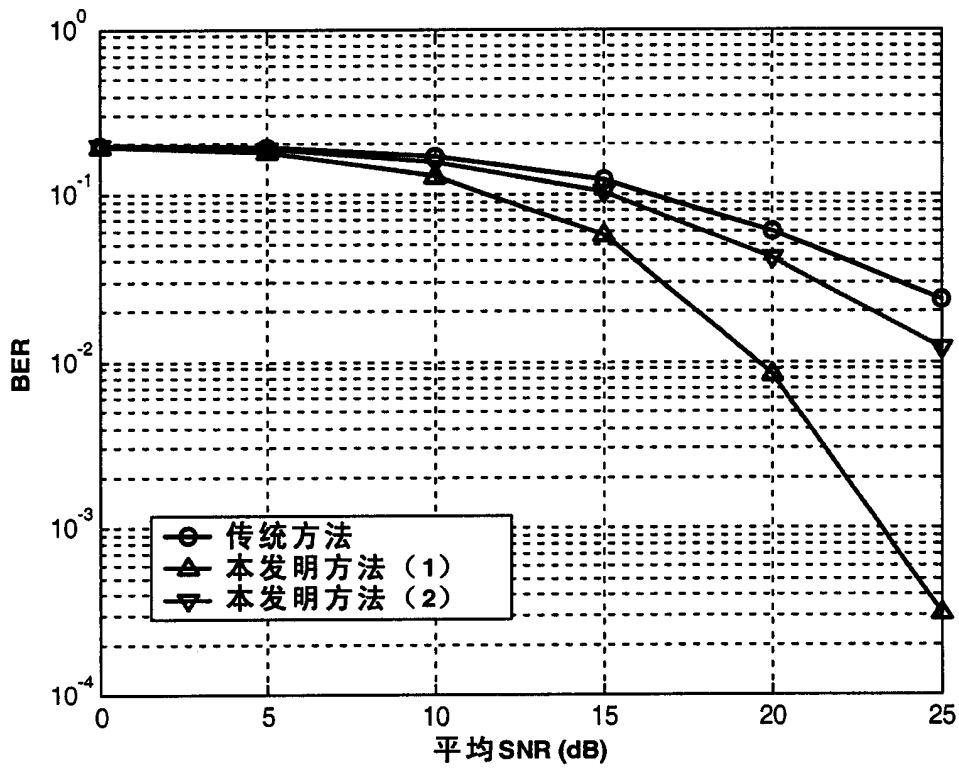


图 5