



# (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104184555 B

(45)授权公告日 2017.06.23

(21)申请号 201410445738.9

(22)申请日 2014.09.03

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 104184555 A

(43)申请公布日 2014.12.03

(73)专利权人 西安电子科技大学  
地址 710071 陕西省西安市太白南路二号

(72)发明人 王伟 李勇朝 马克 刘灿  
井文文 张海林

(74)专利代理机构 北京世誉鑫诚专利代理事务  
所(普通合伙) 11368

代理人 郭官厚

(51)Int.Cl.

H04L 1/00(2006.01)

H04B 7/06(2006.01)

(56)对比文件

CN 103684700 A,2014.03.26,  
CN 101388702 A,2009.03.18,  
US 2013/0156075 A1,2013.06.20,  
CN 102412885 A,2012.04.11,

张帆等.基于有限反馈的大规模3D MIMO多  
用户传输方法及其码本设计.《数据采集与处  
理》.2014,第29卷(第3期),

审查员 郝玉香

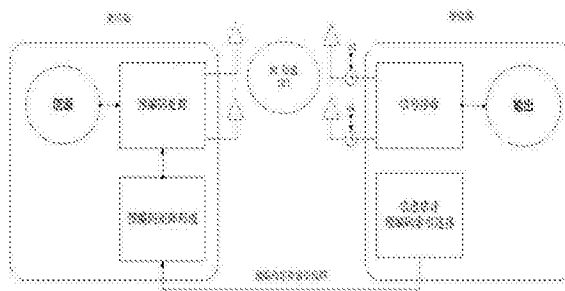
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

一种适用于3D MIMO系统的基于双码本的预  
编码方法

(57)摘要

本发明公开了一种适用于3D MIMO系统的基  
于双码本的预编码方法,其特征在于,在充分考  
虑实际信道空间特性的前提下,分别在垂直方向  
和水平方向上进行了两次预编码设计,由于垂直  
方向上信道相关性较大,因此垂直方向上采用了  
DFT码本,由于水平方向上格拉斯曼码本性能更  
好,因此水平方向上采用了格拉斯曼预编码方  
案,即DFT码本和格拉斯曼码本联合形成了本发  
明的预编码方法。本发明的有益之处在于:本发  
明的DFT码本和格拉斯曼码本联合所形成的双码  
本预编码方法与传统的预编码方案相比,极大地  
提高了用户的信号性能,有效降低了系统的误比  
特率。



1. 一种适用于3D MIMO系统的基于双码本的预编码方法,其特征在于,包括以下步骤:

(1) 假设基站端天线阵列行数为 $N_t$ ,每一根天线上的阵元数为 $N_v$ ,接收端天线数为 $N_r$ ,则获得信道矩阵 $H$ 的维度: $N_r \times (N_t \times N_v)$ ,所述基站端采用平面阵列结构,天线阵子在水平和垂直方向上的距离能够调整;

(2) 接收端接收到信号后,对信道矩阵 $H$ 进行估计,从而得到大小为 $N_r \times (N_t \times N_v)$ 的信道矩阵,假设基站端第 $i$ 根发射天线与接收天线间子信道矩阵为 $H_i$ ,子信道矩阵 $H_i$ 的大小为 $N_r \times N_v$ ,则将信道矩阵 $H$ 重写为:

$$H = [H_1, H_2, H_3, \dots, H_N];$$

(3) 在垂直方向上,信道采用空间相关性较大的DFT码本,所述DFT码本的形式如下:

$$\text{Codebook} = \frac{1}{\sqrt{N_v}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & e^{-i2\pi 1 \frac{1}{N}} & \dots & e^{-i2\pi 1 \frac{N-1}{N}} \\ 1 & e^{-i2\pi 2 \frac{1}{N}} & \dots & e^{-i2\pi 2 \frac{N-1}{N}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & e^{-i2\pi (N_v-1) \frac{1}{N}} & \dots & e^{-i2\pi (N_v-1) \frac{N-1}{N}} \end{bmatrix}$$

其中, $N$ 表示DFT码本的列数,所述DFT码本的大小为 $(\log_2 N)$  bits;

根据DFT码本对每个子信道矩阵 $H_i$ 进行最佳码字选择,选取DFT码本中的某一系列 $v_i$ 为最佳码字,当对所有子信道矩阵完成码字选择后,得到预编码矩阵 $W_v$ :

$$W_v = \begin{bmatrix} v_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & v_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & v_{N_t} \end{bmatrix}$$

所述预编码矩阵 $W_v$ 在垂直方向上的大小为 $(N_t \times N_v) \times N_t$ ;

此时,等效信道 $H_{\text{equal}} = H \times W_v$ ,将等效信道 $H_{\text{equal}}$ 视作水平信道,

在该步骤中,得到预编码矩阵 $W_v$ 的过程为:

遍历步骤(2)中信道矩阵 $H$ 里的每一个子信道矩阵 $H_i$ ,根据以下准则选取DFT码本的列:

$$v_i = \arg \max_{v_m \in \text{Codebook}} (v_m^H H_i^H H_i v_m)$$

其中, $v_m$ 为DFT码本Codebook中的第 $m$ 列,

$v_m^H$ 表示对矩阵 $v_m$ 进行共轭转置操作,

$H_i^H$ 表示对矩阵 $H_i$ 进行共轭转置操作,

随后,通过加0操作将垂直方向上的预编码矩阵 $W_v$ 的原维度 $N_t \times N_v$ 扩展为 $(N_t \times N_v) \times N_t$ ;

(4) 在水平方向上,采用空间相关性较小的格拉斯曼码本,根据格拉斯曼码本对等效信道 $H_{\text{equal}}$ 进行最佳码字选择,得到水平预编码矩阵 $W_h$ ,在该步骤中,得到水平预编码矩阵 $W_h$ 的过程为:

$$W_m = H_{\text{equal}} \times c_m, c_m \in \text{Codebook}_H$$

$$W_m = U_m S_m V_m^H$$

其中, $c_m$ 为格拉斯曼码本中的第 $m$ 个码字,

对于吞吐量最大准则:

$$d_m = \text{trace}(S_m^H \times S_m)$$

其中,  $\text{trace}(S_m^H \times S_m)$  表示矩阵  $S_m^H \times S_m$  的迹;

对于最小奇异值准则:

$d_m$  为矩阵  $S_m$  中的最小非零元素, 根据以下方法选择最佳码字序号:

$$i = \arg \max_{m \in \{1, 2, \dots, 2^M\}} d_m$$

从而得到水平预编码矩阵  $W_h$ :

$$W_h = c_i, c_i \in \text{Codebook}_H;$$

(5) 接收端分别将选取的垂直方向上的预编码矩阵  $W_v$  和水平方向上的预编码矩阵  $W_h$  所对应的索引反馈给基站端, 基站端根据索引选择出对应的垂直方向上的预编码矩阵  $W_v$  和水平方向上的预编码矩阵  $W_h$  形成双码本, 基站端获得三维预编码矩阵  $W_{\text{codebook}}$ :

$$W_{\text{codebook}} = W_v \times W_h;$$

(6) 基站根据三维预编码矩阵  $W_{\text{codebook}}$  对发送信号进行预编码处理, 形成三维波束并将处理后的发送信号发射到接收端, 接收端接收到信号后, 返回到步骤 (2), 若信号发送完成, 则通信成功完成。

## 一种适用于3D MIMO系统的基于双码本的预编码方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种预编码方法,具体涉及一种适用于3D MIMO系统的基于双码本的预编码方法,属于无线通信技术领域。

### 背景技术

[0002] 传统的预编码技术只是对水平方向上进行波束调整。随着终端数目的增多,用户数据业务的扩张,需求服务的用户也逐渐增多,因此用户间的干扰越来越严重,尤其是处于小区边缘的用户。同样,随着城市的发展和建筑物的密集,楼层越来越高,传统的二维预编码技术的缺点被放大,无法满足上述不断变化着的技术。

[0003] 3D MIMO (Three dimension multiple-input multiple-output,三维多输入多输出)系统及其相关技术是近年来通信行业所密切关注和研究的方向之一。3D MIMO系统可以利用空间的富余,为发送信号带来垂直方向上自由度,可以减少用户间的干扰,提升系统容量,改善小区边缘用户的信号质量。在目前MIMO系统里的预编码技术已经相对成熟,然而,并没有为3D MIMO系统中的空间天线阵列而设计的3D预编码码本。因此,研究针对3D MIMO系统的特性而设计的预编码码本很有必要。

[0004] 目前,已经有一部分学者针对该问题提出了一些解决方案,例如:

[0005] 文献1《Exploring the Vertical Dimension of Dynamic Beam Steering》采用固定下倾角方案。固定下倾角主要是通过对某特定大小通信系统(如小区数、用户数、小区半径已实现固定),使用一组(组中固定下倾角的数量大于等于2)不同的固定下倾角来调试,得出经验性结论。设定一个near DT和far DT来对固定的通信系统进行调试,具有较多的缺陷和不足:不能动态的对准用户,不能使SNR及干扰最优。

[0006] 文献2《TRANSPARENT USER-SPECIFIC 3D MIMO IN FDD USING BEAMSPACE METHODS》在不改变基站天线的阵因子,并且对用户终端不做任何改变的情况下,对基站天线阵元进行独立和自适应的调整,垂直维度实现主瓣方向的灵活调整。预编码反馈方式还是采用传统的2D MIMO方式来进行的。

[0007] 文献3《DYNAMIC BEAMFORMING FOR THREE DIMENSIONAL MIMO TECHNIQUE IN LTE-ADVANCED NETWORKS》偏向于对信道进行划分,将信号划分为水平信道和垂直信道后做两次预编码。但是没有考虑反馈。

### 发明内容

[0008] 为解决现有技术的不足,本发明的目的在于提供一种适用于3D MIMO系统的、能够极大的提高用户的信号性能、有效降低3D MIMO系统的误比特率的、基于双码本的预编码方法。

[0009] 为了实现上述目标,本发明采用如下的技术方案:

[0010] 一种适用于3D MIMO系统的基于双码本的预编码方法,其特征在于,包括以下步骤:

[0011] (1) 假设基站端天线阵列行数为 $N_t$ ,每一根天线上的阵元数为 $N_v$ ,接收端天线数为 $N_r$ ,则获得信道矩阵 $H$ 的维度: $N_r \times (N_t \times N_v)$ ,前述基站端采用平面阵列结构,天线阵子在水平和垂直方向上的距离能够调整;

[0012] (2) 接收端接收到信号后,对信道矩阵 $H$ 进行估计,从而得到大小为 $N_r \times (N_t \times N_v)$ 的信道矩阵,假设基站端第 $i$ 根发射天线与接收天线间子信道矩阵为 $H_i$ ,子信道矩阵 $H_i$ 的大小为 $N_r \times N_v$ ,则将信道矩阵 $H$ 重写为:

$$[0013] \quad H = [H_1, H_2, H_3, \dots, H_N];$$

[0014] (3) 在垂直方向上,信道采用空间相关性较大的DFT码本,前述DFT码本的形式如下:

$$[0015] \quad \text{Codebook} = \frac{1}{\sqrt{N_v}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & e^{-i2\pi 1 \frac{1}{N}} & \dots & e^{-i2\pi 1 \frac{N-1}{N}} \\ 1 & e^{-i2\pi 2 \frac{1}{N}} & \dots & e^{-i2\pi 2 \frac{N-1}{N}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & e^{-i2\pi(N_v-1) \frac{1}{N}} & \dots & e^{-i2\pi(N_v-1) \frac{N-1}{N}} \end{bmatrix}$$

[0016] 其中, $N$ 表示DFT码本的列数,前述DFT码本的大小为 $(\log_2 N)$  bits;

[0017] 根据DFT码本对每个子信道矩阵 $H_i$ 进行最佳码字选择,选取DFT码本中的某一系列 $v_i$ 为最佳码字,当对所有子信道矩阵完成码字选择后,得到预编码矩阵 $W_v$ :

$$[0018] \quad W_v = \begin{bmatrix} v_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & v_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & v_{N_t} \end{bmatrix}$$

[0019] 前述预编码矩阵 $W_v$ 在垂直方向上的大小为 $(N_t \times N_v) \times N_t$ ;

[0020] 此时,等效信道 $H_{\text{equal}} = H \times W_v$ ,将等效信道 $H_{\text{equal}}$ 视作水平信道;

[0021] (4) 在水平方向上,采用空间相关性较小的格拉斯曼码本,根据格拉斯曼码本对等效信道 $H_{\text{equal}}$ 进行最佳码字选择,得到水平预编码矩阵 $W_h$ ;

[0022] (5) 接收端分别将选取的垂直方向上的预编码矩阵 $W_v$ 和水平方向上的预编码矩阵 $W_h$ 所对应的索引反馈给基站端,基站端根据索引选择出对应的垂直方向上的预编码矩阵 $W_v$ 和水平方向上的预编码矩阵 $W_h$ 形成双码本,基站端获得三维预编码矩阵 $W_{\text{codebook}}$ :

$$[0023] \quad W_{\text{codebook}} = W_v \times W_h;$$

[0024] (6) 基站根据三维预编码矩阵 $W_{\text{codebook}}$ 对发送信号进行预编码处理,形成三维波束并将处理后的发送信号发射到接收端,接收端接收到信号后,返回到步骤(2),若信号发送完成,则通信成功完成。

[0025] 前述的适用于3D MIMO系统的基于双码本的预编码方法,其特征在于,在步骤(3)中,得到预编码矩阵 $W_v$ 的过程为:

[0026] 遍历步骤(2)中信道矩阵 $H$ 里的每一个子信道矩阵 $H_i$ ,根据以下准则选取DFT码本的列:

$$[0027] \quad v_i = \arg \max_{v_m \in \text{Codebook}} (v_m^H H_i^H H_i v_m)$$

[0028] 其中,  $v_m$  为DFT码本Codebook中的第 $m$ 列,

[0029]  $v_m^H$ 表示对矩阵 $v_m$ 进行共轭转置操作,

[0030]  $H_i^H$ 表示对矩阵 $H_i$ 进行共轭转置操作,

[0031] 随后,通过加0操作将垂直方向上的预编码矩阵 $W_v$ 的原维度 $N_t \times N_v$ 扩展为 $(N_t \times N_v) \times N_t$ 。

[0032] 前述的适用于3D MIMO系统的基于双码本的预编码方法,其特征在于,在步骤(4)中,得到水平预编码矩阵 $W_h$ 的过程为:

[0033] 遍历规定反馈比特数 $M$ 下的格拉斯曼码本Codebook $H$ ,对步骤(3)中得到的等效信道矩阵 $H_{\text{equal}}$ 按照吞吐量最大准则或者最小奇异值准则选取预编码矩阵 $W_h$ 。

[0034] 前述的适用于3D MIMO系统的基于双码本的预编码方法,其特征在于,在步骤(4)中,得到水平预编码矩阵 $W_h$ 的过程为:

$$[0035] \quad w_m = H_{\text{equal}} \times c_m, c_m \in \text{Codebook}_H$$

$$[0036] \quad w_m = U_m S_m V_m^H$$

[0037] 其中,  $c_m$  为格拉斯曼码本中的第 $m$ 个码字,

[0038] 对于吞吐量最大准则:

$$[0039] \quad d_m = \text{trace} (S_m^H \times S_m)$$

[0040] 其中,  $\text{trace} (S_m^H \times S_m)$  表示矩阵 $S_m^H \times S_m$ 的迹;

[0041] 对于最小奇异值准则:

[0042]  $d_m$ 为矩阵 $S_m$ 中的最小非零元素,根据以下方法选择最佳码字序号:

$$[0043] \quad i = \arg \max_{m \in \{1, 2, \dots, 2^M\}} d_m$$

[0044] 从而得到水平预编码矩阵 $W_h$ :

$$[0045] \quad W_h = c_i, c_i \in \text{Codebook}_H.$$

[0046] 本发明的有益之处在于:在充分考虑实际信道空间特性的前提下,分别在垂直方向和水平方向上进行了两次预编码设计,由于垂直方向上信道相关性较大,因此垂直方向上采用了DFT码本,由于水平方向上格拉斯曼码本性能更好,因此水平方向上采用了格拉斯曼预编码方案,本发明的DFT码本和格拉斯曼码本联合所形成的双码本预编码方法与传统的预编码方案相比,极大地提高了用户的信号性能,有效降低了系统的误比特率。

## 附图说明

[0047] 图1是本发明的预编码方法的主要流程图;

[0048] 图2是产生双码本的流程图;

[0049] 图3是本发明的方法与传统预编码方法在单流下的性能对比图;

[0050] 图4是本发明的方法与传统预编码方法在双流下的性能对比图。

## 具体实施方式

[0051] 本发明的预编码方法,其在充分考虑实际信道空间特性的前提下,分别在垂直方

向和水平方向上进行了两次预编码设计,由于垂直方向上信道相关性较大,因此垂直方向上采用DFT码本,由于水平方向上格拉斯曼码本性能更好,因此水平方向上采用格拉斯曼预编码方案,DFT码本和格拉斯曼码本联合形成了本发明的预编码方法。

[0052] 本发明的预编码方法是基于双码本形成的,适用于3D MIMO系统。在本方法所适用的3D MIMO系统场景中,基站采用的是有源天线阵列系统,天线阵列为均匀平面阵,即天线是2D摆放,水平和垂直间距能够动态调整。

[0053] 以下结合附图和具体实施例对本发明作具体的介绍。

[0054] 参照图1和图2,本发明的适用于3D MIMO系统的基于双码本的预编码方法包括以下步骤:

[0055] 1、假设基站端天线阵列行数为 $N_t$ ,每一根天线上的阵元数为 $N_v$ ,接收端天线数为 $N_r$ ,则获得信道矩阵 $H$ 的维度: $N_r \times (N_t \times N_v)$ 。

[0056] 在本实施例中,基站端采用 $4 \times 4$ 天线阵列,接收端两根天线,即 $N_r = 2$ 。

[0057] 2、接收端接收到信号后,对信道矩阵 $H$ 进行估计,从而得到大小为 $N_r \times (N_t \times N_v)$ 的三维信道矩阵,假设基站端第 $i$ 根发射天线与接收天线间子信道矩阵为 $H_i$ ,子信道矩阵 $H_i$ 的大小为 $N_r \times N_v$ ,则将信道矩阵 $H$ 重写为:

$$[0058] \quad H = [H_1, H_2, H_3, \dots, H_{N_t}]$$

[0059] 3、由于信道在垂直方向具有较大的空间相关性,因此,在垂直方向上信道采用空间相关性较大的DFT码本,该DFT码本的形式如下:

$$[0060] \quad \text{Codebook} = \frac{1}{\sqrt{N_v}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & e^{-i2\pi 1 \frac{1}{N}} & \dots & e^{-i2\pi 1 \frac{N-1}{N}} \\ 1 & e^{-i2\pi 2 \frac{1}{N}} & \dots & e^{-i2\pi 2 \frac{N-1}{N}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & e^{-i2\pi (N_v-1) \frac{1}{N}} & \dots & e^{-i2\pi (N_v-1) \frac{N-1}{N}} \end{bmatrix}$$

[0061] 其中, $N$ 表示DFT码本的列数,DFT码本的大小为 $(\log_2 N)$  bits。

[0062] 根据DFT码本对每个子信道矩阵 $H_i$ 进行最佳码字选择,选取DFT码本中的某一系列 $v_i$ 为最佳码字,当对所有子信道矩阵完成码字选择后,得到预编码矩阵 $W_v$ :

$$[0063] \quad W_v = \begin{bmatrix} v_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & v_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & v_{N_t} \end{bmatrix}$$

[0064] 其中,预编码矩阵 $W_v$ 在垂直方向上的大小为 $(N_t \times N_v) \times N_t$ 。

[0065] 在本实施例中,得到预编码矩阵 $W_v$ 的详细过程为:

[0066] 遍历步骤2中信道矩阵 $H$ 里的每一个子信道矩阵 $H_i$ ,根据以下准则选取DFT码本的列:

$$[0067] \quad v_i = \arg \max_{v_m \in \text{Codebook}} (v_m^H H_i^H H_i v_m)$$

[0068] 其中, $v_m$ 为DFT码本Codebook中的第 $m$ 列,

[0069]  $v_m^H$ 表示对矩阵 $v_m$ 进行共轭转置操作,

[0070]  $H_i^H$ 表示对矩阵 $H_i$ 进行共轭转置操作,

[0071] 随后,通过加0操作将垂直方向上的预编码矩阵 $W_v$ 的原维度 $N_t \times N_v$ 扩展为 $(N_t \times N_v) \times N_t$ 。

[0072] 经过上述垂直预编码后,信道已经等效为二维的MIMO信道。此时等效信道 $H_{\text{equal}} = H \times W_v$ ,预编码矩阵 $W_v$ 由DFT码本变换而来,等效信道 $H_{\text{equal}}$ 等效为天线阵列行数为 $N_t$ 、接收端天线数为 $N_r$ 的2D环境下的MIMO信道,等效信道 $H_{\text{equal}}$ 可视作水平信道。

[0073] 4、由于信道在水平方向上的空间相关性较小,因此,在水平方向上采用空间相关性较小的格拉斯曼码本,格拉斯曼码本即利用格拉斯曼空间装箱原理准则而设计的码本,然后根据格拉斯曼码本对等效信道 $H_{\text{equal}}$ 进行最佳码字选择,得到水平预编码矩阵 $W_h$ 。

[0074] 在本实施例中,得到水平预编码矩阵 $W_h$ 的过程为:

[0075] 遍历规定反馈比特数 $M$ 下的格拉斯曼码本 $\text{Codebook}_H$ ,对步骤3中得到的等效信道矩阵 $H_{\text{equal}}$ 按照吞吐量最大准则或者最小奇异值准则选取预编码矩阵 $W_h$ 。

[0076] 得到水平预编码矩阵 $W_h$ 的更详细的过程为:

[0077]  $w_m = H_{\text{equal}} \times c_m, c_m \in \text{Codebook}_H$

[0078]  $w_m = U_m S_m V_m^H$

[0079] 其中, $c_m$ 为格拉斯曼码本中的每 $m$ 个码字,

[0080] 对于吞吐量最大准则:

[0081]  $d_m = \text{trace}(S_m^H \times S_m)$

[0082] 其中, $\text{trace}(S_m^H \times S_m)$ 表示矩阵 $S_m^H \times S_m$ 的迹;

[0083] 对于最小奇异值准则:

[0084]  $d_m$ 为矩阵 $S_m$ 中的最小非零元素,根据以下方法选择最佳码字序号:

[0085] 
$$i = \arg \max_{m \in \{1, 2, \dots, 2^M\}} d_m$$

[0086] 从而得到水平预编码矩阵 $W_h$ :

[0087]  $W_h = c_i, c_i \in \text{Codebook}_H$ 。

[0088] 5、接收端分别将选取的垂直方向上的预编码矩阵 $W_v$ 和水平方向上的预编码矩阵 $W_h$ 所对应的索引反馈给基站端,基站端根据索引选择出对应的垂直方向上的预编码矩阵 $W_v$ 和水平方向上的预编码矩阵 $W_h$ 形成双码本,基站端获得三维预编码矩阵 $W_{\text{codebook}}$ :

[0089]  $W_{\text{codebook}} = W_v \times W_h$ 。

[0090] 6、基站根据三维预编码矩阵 $W_{\text{codebook}}$ 对发送信号进行预编码处理,形成三维波束并将处理后的发送信号发射到接收端,假设经过调制的发送信号为 $s$ ,则接收信号为:

[0091]  $y = H \times W_{\text{doublecodebook}} \times s + n$

[0092] 接收端接收到信号后,返回到步骤2,若信号发送完成,则通信成功完成。

[0093] 本发明的双码本预编码方法由DFT码本和格拉斯曼码本联合所形成,与传统的预编码方案相比,极大地提高了用户的信号性能,有效降低了系统的误比特率。本发明的方法所带来的有益效果可以通过以下仿真和分析来进一步进行说明。

[0094] 具体的仿真参数配置见表1。

[0095] 表1仿真参数配置表



[0096]

信道类型	WIM 3D
小区半径	200m
BS、MS最大最小距离	[10m,100m]
基站天线间距	水平0.5波长,垂直0.5波长
发送天线数	4×4
接收端天线数	2

[0097] 仿真中基站端所使用的有源天线阵列系统,其天线方向图参照3GPP TR 37.840如下:

[0098] (1) 水平方向上:

$$[0099] \quad A_H(\varphi) = -\min \left[ 12 \left( \frac{\varphi}{\varphi_{3dB}} \right)^2, A_m \right],$$

[0100] 其中,  $\varphi_{3dB}$  为水平3dB波束宽度,大小为  $\varphi_{3dB} = 65^\circ$ ,  $\varphi$  为水平发射角,  $A_m = 30\text{dB}$ ;

[0101] (2) 垂直方向上:

$$[0102] \quad A_V(\theta) = -\min \left[ 12 \left( \frac{\theta - 90}{\theta_{3dB}} \right)^2, SLA_v \right],$$

[0103] 其中,  $\theta_{3dB}$  为垂直3dB波束宽度,大小为  $\theta_{3dB} = 65^\circ$ ,  $\theta$  为垂直发射角,  $SLA_v = 30\text{dB}$ 。

[0104] 最终的3D天线方向图为:

$$[0105] \quad A(\varphi, \theta) = -\min \left\{ -[A_H(\varphi) + A_V(\theta)], A_m \right\}.$$

[0106] 基站端发送数据采用4QAM的调制方式,仿真中进行本发明所提出的基于双码本的预编码方法与现有的预编码方法的性能比较。即在同样的系统参数配置中(表1),分别仿真两种预编码方案下的误比特率曲线。

[0107] 图3为在单流环境下,本发明所提的预编码方法与传统的预编码方法以及单流下单用户性能最优的SVD方法的误比率性能比较图。

[0108] 图4为在双流环境下,本发明所提出的预编码方法与传统的预编码方法的误比率性能比较图。

[0109] 由图3和图4可以看出,在同样的反馈比特数下,与现有的预编码方法相比,本发明所提出双码本预编码方法给系统带来了极大的性能改善。

[0110] 综上所述,本发明所提出的基于双码本的预编码方法充分利用了信道信息,增加了垂直维度的预编码处理,使得天线主瓣更好地对准用户,不仅有效提高了用户的信号性能,而且显著降低了系统的误比特率。

[0111] 需要说明的是,上述实施例不以任何形式限制本发明,凡采用等同替换或等效变换的方式所获得的技术方案,均落在本发明的保护范围内。

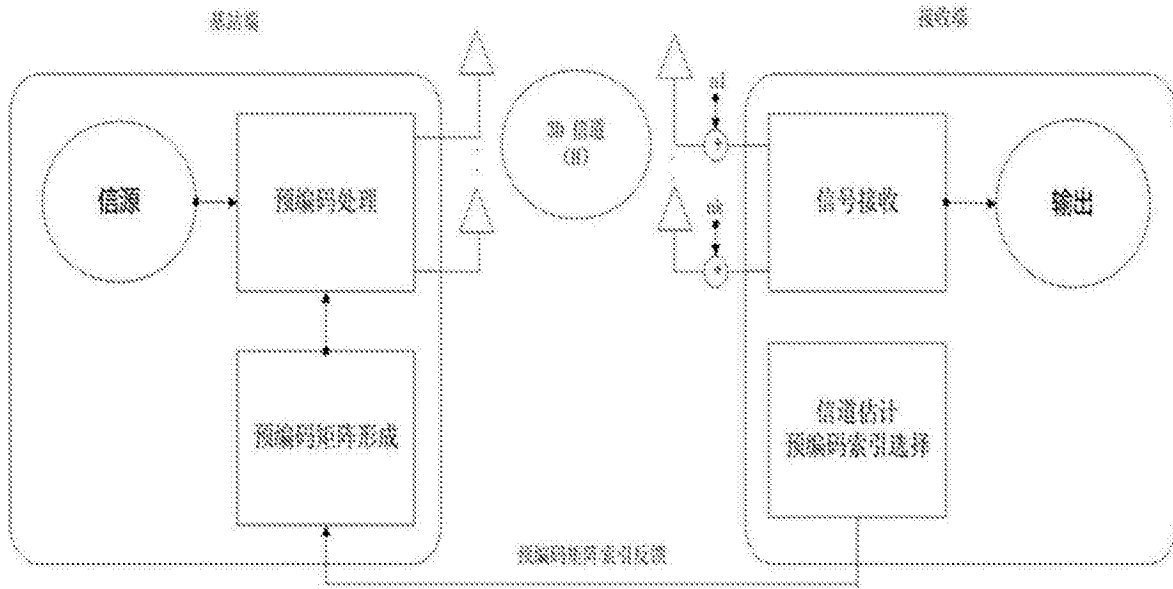


图1

$$H = \begin{bmatrix} h_{1,1,1} & \dots & h_{1,1,N_c} & \dots & h_{1,N_c,N_c} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ h_{N_r,1,1} & \dots & h_{N_r,1,N_c} & \dots & h_{N_r,N_c,N_c} \end{bmatrix}$$

$$\downarrow$$

$$H = [H_1, \dots, H_{N_r}] \quad \longrightarrow \quad H_{equal}$$

$$\downarrow \qquad \qquad \qquad \downarrow$$

$$W_v \qquad \qquad \qquad W_h$$

图2

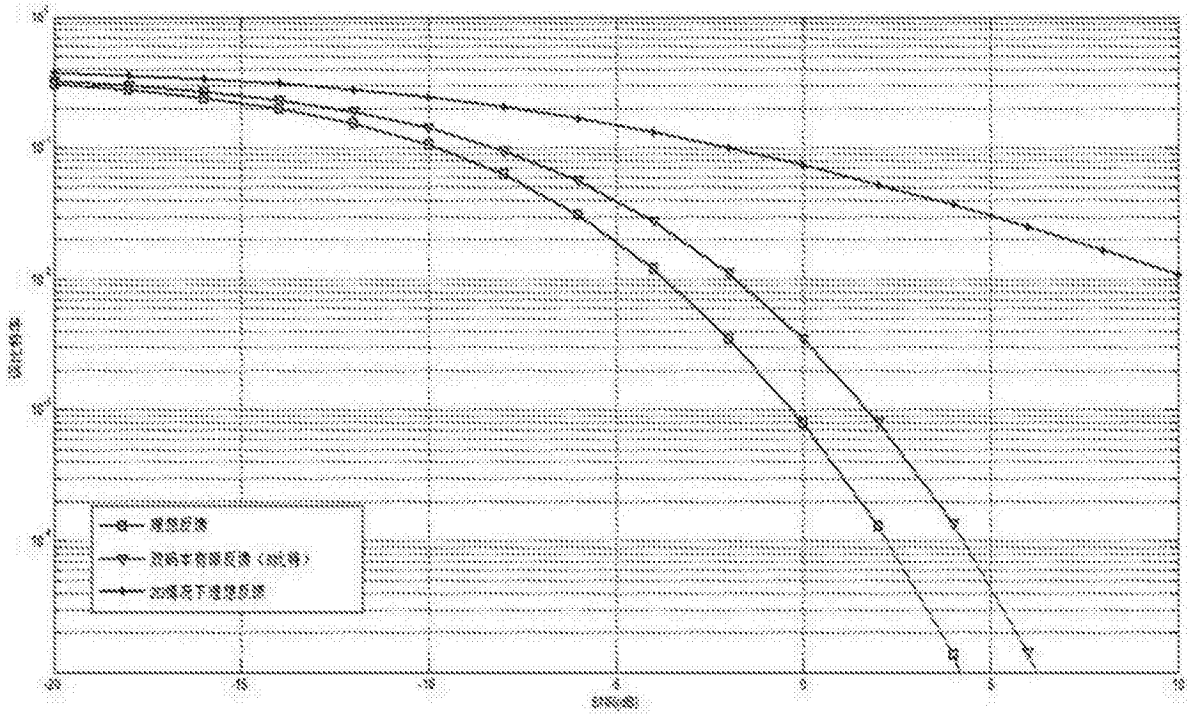


图3

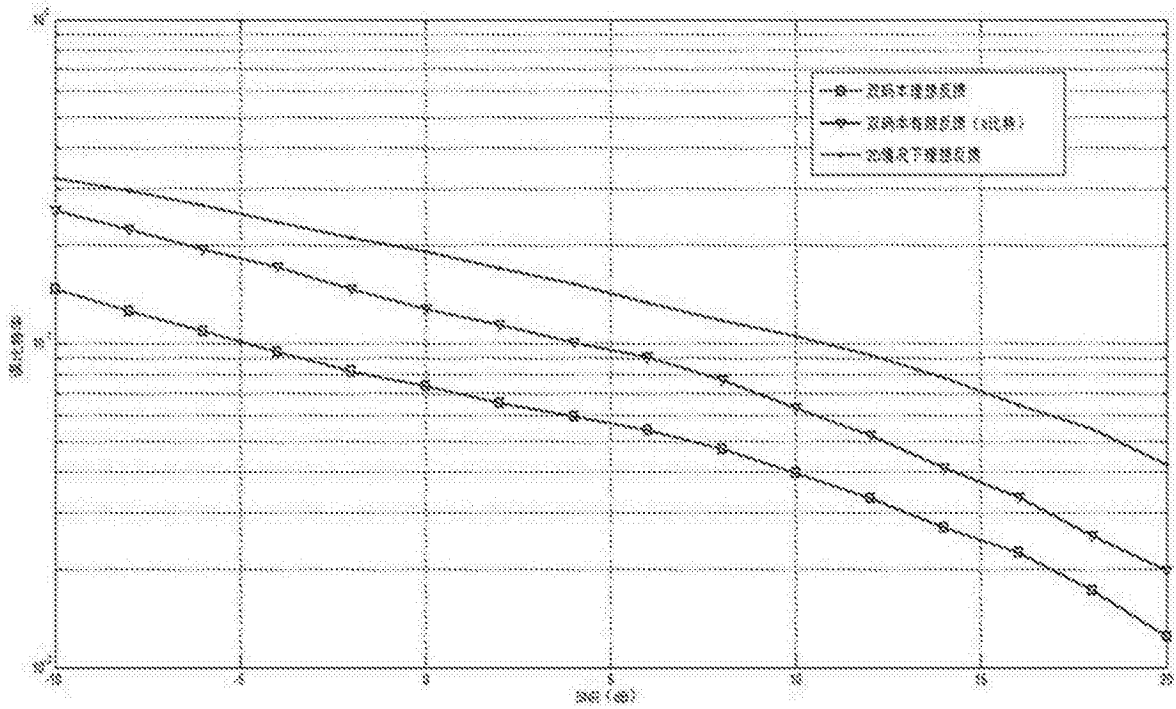


图4