



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105071844 B

(45)授权公告日 2018.04.10

(21)申请号 201510468412.2

H04L 5/00(2006.01)

(22)申请日 2015.08.03

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105071844 A

CN 104158577 A,2014.11.19,

CN 101185259 A,2008.05.21,

US 2010002801 A1,2010.01.07,

(43)申请公布日 2015.11.18

审查员 刘雯雯

(73)专利权人 北京邮电大学

地址 100876 北京市海淀区西土城路10号

邮电大学新科研楼630行政办公室

(72)发明人 赵慧 郑森垚 赵龙 郑侃

(74)专利代理机构 北京柏杉松知识产权代理事

务所(普通合伙) 11413

代理人 马敬 项京

(51)Int.Cl.

H04B 7/0413(2017.01)

H04B 7/0426(2017.01)

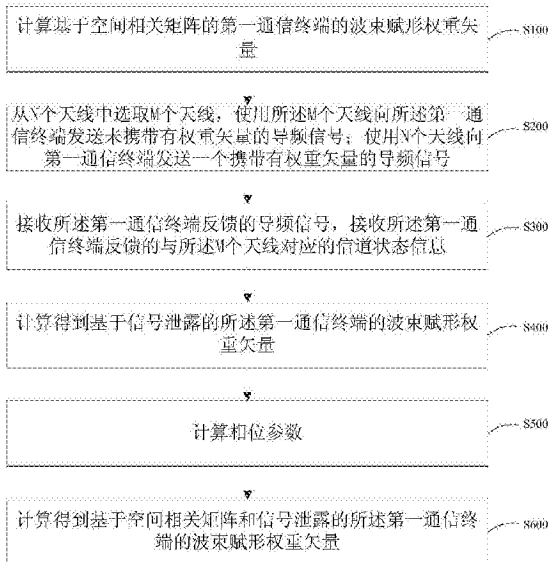
权利要求书4页 说明书14页 附图4页

(54)发明名称

确定波束赋形权重矢量的方法及装置

(57)摘要

本发明实施例提供的一种确定波束赋形权重矢量的方法及装置,可以利用部分天线对应的信道的信道状态信息,综合考虑空间相关性和信号泄露来确定波束赋形矢量。本发明除了在所选天线上发送未携带有 $\vec{W}_{sc}$ 的导频信号外,还发送携带有所述 $\vec{W}_{sc}$ 的导频信号来获得计算波束赋形权重矢量的相关信息。由于本发明只在部分天线上发送导频信号,并且只需要一个额外的导频信号就可以获得计算波束赋形权重矢量的相关信息,因此本发明可以降低系统的导频开销。由于本发明中信道信息获取比例是可以调整的,因此本发明可以灵活地平衡系统的性能和开销。此外,本发明的波束赋形权重矢量计算复杂度低,操作步骤简单,更容易实现。



1. 一种确定波束赋形权重矢量的方法,其特征在于,应用于使用大规模多输入多输出技术的频分双工FDD通信系统的基站中,所述基站通过N个天线与第一通信终端通信连接,所述方法包括:

计算基于空间相关矩阵的第一通信终端的波束赋形权重矢量 $\vec{w}_{sc}$ ,包括:

通过公式

$$\vec{w}_{sc} = v_{\lambda_{\max}}(\mathbf{R})$$

计算得到基于空间相关矩阵的第一通信终端的波束赋形权重矢量 $\vec{w}_{sc}$ ,其中, $v_{\lambda_{\max}}(\mathbf{R})$ 表示矩阵R的最大特征值对应的特征矢量,矩阵R是所述第一通信终端的空间相关矩阵,矩阵R的权重分量的定义如下:

$$[\mathbf{R}]_{pq} = \frac{\mathbb{E}\left\{\left[\vec{h}\right]_p^H \times \left[\vec{h}\right]_q\right\}}{\sqrt{\mathbb{E}\left\{\left[\vec{h}\right]_p^H \times \left[\vec{h}\right]_p\right\} \mathbb{E}\left\{\left[\vec{h}\right]_q^H \times \left[\vec{h}\right]_q\right\}}}$$

$[\mathbf{R}]_{pq}$ 为所述矩阵R的第p行第q列的权重分量, $\left[\vec{h}\right]_p$ 和 $\left[\vec{h}\right]_q$ 分别为所述N个天线对应的信道的信道状态信息 $\vec{h}$ 的第p个权重分量和第q个权重分量, $\left[\vec{h}\right]_p^H$ 表示 $\left[\vec{h}\right]_p$ 的共轭转置, $\left[\vec{h}\right]_q^H$ 表示 $\left[\vec{h}\right]_q$ 的共轭转置,符号 $\mathbb{E}\{x\}$ 表示随机变量x的期望值;

从所述N个天线中选取M个天线,M和N均为正整数且 $M < N$ ,使用所述M个天线向所述第一通信终端发送未携带有所述 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号;使用所述N个天线向所述第一通信终端发送一个携带有所述 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号;

接收所述第一通信终端反馈的导频信号 $\vec{h}\vec{w}_{sc}$ ,接收所述第一通信终端反馈的与所述M个天线对应的信道状态信息 $\vec{h}$ ,其中,所述 $\vec{h}$ 是由所述第一通信终端根据接收的未携带有所述 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号进行信道估计得到的,所述导频信号 $\vec{h}\vec{w}_{sc}$ 为经过信道后的携带有所述 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号;

基于所述 $\vec{h}$ ,计算得到基于信号泄露的所述第一通信终端的波束赋形权重矢量 $\vec{w}_{sl}$ ,包括:

通过公式

$$\vec{w}_{sl} \propto \text{maxeigenvector} \left[ \left( \sum_{i=1, i \neq k}^K \vec{h}_i^H \vec{h}_i + \sigma^2 \mathbf{I}_N \right)^{-1} \vec{h}_k^H \vec{h}_k \right]$$

计算得到基于信号泄露的所述第一通信终端的波束赋形权重矢量 $\vec{w}_{sl}$ ,其中,k为所述第一通信终端的编号,K为与所述基站通信连接的通信终端的数量, $i \in K$ , $\vec{h}_i$ 为编号为i的通

信终端对应的信道的信道状态信息,  $\vec{h}_k$  为所述第一通信终端对应的信道的信道状态信息,  $\vec{h}_i^H$  为  $\vec{h}_i$  的共轭转置,  $\vec{h}_k^H$  为  $\vec{h}_k$  的共轭转置,  $\sigma^2$  为噪声的能量,  $I_N$  为维度为  $N \times N$  的单位矩阵;

通过公式

$$\omega = \angle(\vec{h}\vec{w}_{sc} - \vec{h}\vec{w}) - \angle(\vec{h}\vec{w}_{SL})$$

计算相位参数  $\omega$ , 其中,  $\vec{w}$  为  $\vec{w}_{sc}$  在所述  $M$  个天线中每一个天线相对应的权重分量组成的波束赋形权重矢量, 且满足  $[\vec{w}]_i = \begin{cases} [\vec{w}_{sc}]_i, & i \in \mathbb{M} \\ 0, & i \in (\mathbb{N} - \mathbb{M}) \end{cases}$ , 其中,  $i$  为  $\vec{w}_{sc}$  中权重分量的序号,  $\mathbb{M}$  为所述  $M$  个天线所对应的序号的集合,  $\mathbb{N}$  为所述  $N$  个天线所对应的序号的集合;  $[\vec{w}]_i$  和  $[\vec{w}_{sc}]_i$  分别为矢量  $\vec{w}$  和  $\vec{w}_{sc}$  的第  $i$  个权重分量;  $\angle(\vec{h}\vec{w}_{sc} - \vec{h}\vec{w})$  和  $\angle(\vec{h}\vec{w}_{SL})$  分别表示复数  $(\vec{h}\vec{w}_{sc} - \vec{h}\vec{w})$  和  $(\vec{h}\vec{w}_{SL})$  的相位;

通过公式

$$[\vec{w}_{scSL}]_i = \begin{cases} \left[ \frac{\|\vec{w}\|_2}{\|\vec{w}_{SL}\|_2} \vec{h}\vec{w}_{SL} e^{j\omega} \right]_i, & i \in \mathbb{M} \\ [\vec{w}_{sc}]_i, & i \in (\mathbb{N} - \mathbb{M}) \end{cases}$$

计算得到基于空间相关矩阵和信号泄露的所述第一通信终端的波束赋形权重矢量  $\vec{w}_{scSL}$ ,  $\vec{w}_{scSL}$  为  $[\vec{w}_{scSL}]_i$  的集合; 其中,  $\|\vec{w}\|_2$  和  $\|\vec{w}_{SL}\|_2$  分别为所述  $\vec{w}$  和所述  $\vec{w}_{SL}$  的二范数,  $e^{j\omega}$  为复相位。

2. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 所述使用所述  $N$  个天线向所述第一通信终端发送一个携带有所述  $\vec{w}_{sc}$  的导频信号, 包括:

将一个携带有所述  $\vec{w}_{sc}$  的导频信号拆分为  $N$  个子信号, 使用所述  $N$  个天线发送所述  $N$  个子信号, 其中, 每一个天线均发送一个所述子信号且各天线发送的子信号不同。

3. 根据权利要求1至2中任一项所述的方法, 其特征在于, 还包括:

根据所述  $\vec{w}_{scSL}$  进行波束赋形。

4. 一种确定波束赋形权重矢量的装置, 其特征在于, 应用于使用大规模多输入多输出技术的频分双工FDD通信系统的基站中, 所述基站通过  $N$  个天线与第一通信终端通信连接, 所述装置包括: 第一权重计算单元、导频信号发送单元、信号接收单元、第二权重计算单元、相位参数计算单元和第三权重计算单元,

所述第一权重计算单元, 用于计算基于空间相关矩阵的第一通信终端的波束赋形权重矢量  $\vec{w}_{sc}$ , 具体用于:

通过公式

$$\vec{w}_{sc} = v_{\lambda_{\max}}(\mathbf{R})$$

计算得到基于空间相关矩阵的第一通信终端的波束赋形权重矢量 $\vec{w}_{sc}$ ，其中， $v_{\lambda_{\max}}(\mathbf{R})$ 表示矩阵R的最大特征值对应的特征矢量，矩阵R是所述第一通信终端的空间相关矩阵，矩阵R的权重分量的定义如下：

$$[\mathbf{R}]_{pq} = \frac{\mathbb{E}\left\{[\vec{h}]_p^H \times [\vec{h}]_q\right\}}{\sqrt{\mathbb{E}\left\{[\vec{h}]_p^H \times [\vec{h}]_p\right\} \mathbb{E}\left\{[\vec{h}]_q^H \times [\vec{h}]_q\right\}}}$$

$[\mathbf{R}]_{pq}$ 为所述矩阵R的第p行第q列的权重分量， $[\vec{h}]_p$ 和 $[\vec{h}]_q$ 分别为所述N个天线对应的信道的信道状态信息 $\vec{h}$ 的第p个权重分量和第q个权重分量， $[\vec{h}]_p^H$ 表示 $[\vec{h}]_p$ 的共轭转置， $[\vec{h}]_q^H$ 表示 $[\vec{h}]_q$ 的共轭转置，符号 $\mathbb{E}\{x\}$ 表示随机变量x的期望值；

所述导频信号发送单元，用于从所述N个天线中选取M个天线，M和N均为正整数且 $M < N$ ，使用所述M个天线向所述第一通信终端发送未携带有所述 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号；使用所述N个天线向所述第一通信终端发送一个携带有所述 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号；

所述信号接收单元，用于接收所述第一通信终端反馈的导频信号 $\vec{h}\vec{w}_{sc}$ ，接收所述第一通信终端反馈的与所述M个天线对应的信道状态信息 $\vec{h}$ ，其中，所述 $\vec{h}$ 是由所述第一通信终端根据接收的未携带有所述 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号进行信道估计得到的，所述导频信号 $\vec{h}\vec{w}_{sc}$ 为经过信道后的携带有所述 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号；

所述第二权重计算单元，用于基于所述 $\vec{h}$ ，计算得到基于信号泄露的所述第一通信终端的波束赋形权重矢量 $\vec{w}_{sl}$ ，具体用于：

通过公式

$$\vec{w}_{sl} \propto \text{maxeigenvector} \left[ \left( \sum_{i=1, i \neq k}^K \vec{h}_i^H \vec{h}_i + \sigma^2 \mathbf{I}_N \right)^{-1} \vec{h}_k^H \vec{h}_k \right]$$

计算得到基于信号泄露的所述第一通信终端的波束赋形权重矢量 $\vec{w}_{sl}$ ，其中，k为所述第一通信终端的编号，K为与所述基站通信连接的通信终端的数量， $i \in K$ ， $\vec{h}_i$ 为编号为i的通信终端对应的信道的信道状态信息， $\vec{h}_k$ 为所述第一通信终端对应的信道的信道状态信息， $\vec{h}_i^H$ 为 $\vec{h}_i$ 的共轭转置， $\vec{h}_k^H$ 为 $\vec{h}_k$ 的共轭转置， $\sigma^2$ 为噪声的能量， $\mathbf{I}_N$ 为维度为N\*N的单位矩阵；

所述相位参数计算单元，用于通过公式

$$\omega = \angle(\vec{h}\vec{w}_{sc} - \vec{h}\vec{w}_{sl}) - \angle(\vec{h}\vec{w}_{sl})$$

计算相位参数 $\omega$ ，其中， $\vec{w}$ 为 $\vec{w}_{sc}$ 在所述M个天线中每一个天线相对应的权重分量组成

的波束赋形权重矢量,且满足 $[\vec{w}]_i = \begin{cases} [\vec{w}_{sc}]_i, & i \in \mathbb{M} \\ 0, & i \in (\mathbb{N} - \mathbb{M}) \end{cases}$ ,其中, $i$ 为 $\vec{w}_{sc}$ 中权重分量的序号, $\mathbb{M}$ 为所述M个天线所对应的序号的集合, $\mathbb{N}$ 为所述N个天线所对应的序号的集合; $[\vec{w}]_i$ 和 $[\vec{w}_{sc}]_i$ 分别为矢量 $\vec{w}$ 和 $\vec{w}_{sc}$ 的第*i*个权重分量; $\angle(\vec{h}\vec{w}_{sc} - \vec{h}\vec{w})$ 和 $\angle(\vec{h}\vec{w}_{SL})$ 分别表示复数 $(\vec{h}\vec{w}_{sc} - \vec{h}\vec{w})$ 和 $(\vec{h}\vec{w}_{SL})$ 的相位;

所述第三权重计算单元,用于通过公式

$$[\vec{w}_{SCSL}]_i = \begin{cases} \left[ \frac{\|\vec{w}\|_2}{\|\vec{w}_{SL}\|_2} \vec{h}\vec{w}_{SL} e^{j\omega} \right]_i, & i \in \mathbb{M} \\ [\vec{w}_{sc}]_i, & i \in (\mathbb{N} - \mathbb{M}) \end{cases}$$

计算得到基于空间相关矩阵和信号泄露的所述第一通信终端的波束赋形权重矢量 $\vec{w}_{SCSL}$ , $\vec{w}_{SCSL}$ 为 $[\vec{w}_{SCSL}]_i$ 的集合;其中, $\|\vec{w}\|_2$ 和 $\|\vec{w}_{SL}\|_2$ 分别为所述 $\vec{w}$ 和所述 $\vec{w}_{SL}$ 的二范数, $e^{j\omega}$ 为复相位。

5. 根据权利要求4所述的装置,其特征在于,所述导频信号发送单元,具体用于:

从所述N个天线中选取M个天线,M和N均为正整数且M<N,使用所述M个天线向所述第一通信终端发送未携带有所述 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号;将一个携带有所述 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号拆分为N个子信号,使用所述N个天线发送所述N个子信号,其中,每一个天线均发送一个所述子信号且各天线发送的子信号不同。

6. 根据权利要求4至5中任一项所述的装置,其特征在于,还包括:波束赋形单元,用于根据所述 $\vec{w}_{SCSL}$ 进行波束赋形。

## 确定波束赋形权重矢量的方法及装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及通信技术领域,特别是涉及确定波束赋形权重矢量的方法及装置。

### 背景技术

[0002] 大规模多输入多输出(Massive MIMO,Massive Multiple-Input Multiple-Output)技术可以在不增加系统带宽和能量的情况下提高系统的频谱效率,它利用成百上千根天线同时同频服务很多用户的通信终端。由于其波束极其窄,可以将能量集中对准用户的通信终端,进而成倍提高系统的频谱效率或能效。在发射信号之前,首先需要对信号进行波束赋形。波束赋形是一种基于天线阵列的信号预处理技术,波束赋形通过调整天线阵列中每个阵元的加权系数产生具有指向性的波束,从而能够获得明显的阵列增益。

[0003] 现有的波束赋形方法一般为如下两种:

[0004] 方法一:基于信号泄露(SL,Signal Leakage)的波束赋形方法。该方法的主要思想是:对于每一个通信终端来说,寻找一个波束赋形矢量,使得进行波束赋形后,该通信终端的信号能量与该通信终端给其他通信终端带来信号泄露能量和噪声能量总和的比值最大。该方法的优点是在考虑对其他通信终端的干扰下,本通信终端的性能最优,然而在构造波束赋形矢量时需要获得每一个通信终端对应的信道的实时信道状态信息。

[0005] 方法二:基于空间相关性(SC,Spatial Correlation)的波束赋形方法。该方法的主要思想是:利用基站的天线到移动终端的信道的空间相关信息,寻找一个波束赋形矢量,使得进行波束赋形后,基站到该通信终端的信号能量最大。该方法的优点是在构造波束赋形矢量时不需要获得每个通信终端对应的信道的实时信道状态信息,然而其性能较差。

[0006] 在频分双工(FDD)通信系统中,由于缺乏信道的互易性,获取信道状态信息的方式是下行发送导频信号,通过通信终端进行信道状态信息估计,然后上行反馈信道状态信息。对于使用Massive MIMO技术的FDD通信系统,当天线规模很大时,下行导频和上行反馈的开销将难以承受。因此,方法一在使用Massive MIMO技术的FDD通信系统中应用将给该系统带来无法承受的系统开销。而方法二在使用Massive MIMO技术的FDD通信系统中应用,将使得该系统的性能处于比较低的水平。

### 发明内容

[0007] 本发明实施例的目的在于提供一种确定波束赋形权重矢量的方法及装置,以在不给使用Massive MIMO技术的FDD通信系统带来过多系统开销的基础上,使系统的性能处于比较高的水平。

[0008] 为达到上述目的,本发明实施例公开了一种确定波束赋形权重矢量的方法,应用于使用大规模多输入多输出技术的频分双工FDD通信系统的基站中,所述基站通过N个天线与第一通信终端通信连接,所述方法包括:

[0009] 计算基于空间相关矩阵的第一通信终端的波束赋形权重矢量 $\vec{w}_{sc}$ ;

[0010] 从所述N个天线中选取M个天线,M和N均为正整数且 $M < N$ ,使用所述M个天线向所述

第一通信终端发送未携带有所述 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号；使用所述N个天线向所述第一通信终端发送一个携带有所述 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号；

[0011] 接收所述第一通信终端反馈的导频信号 $\vec{h}\vec{w}_{sc}$ ，接收所述第一通信终端反馈的与所述M个天线对应的信道状态信息 $\vec{h}$ ，其中，所述 $\vec{h}$ 是由所述第一通信终端根据接收的未携带有所述 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号进行信道估计得到的，所述导频信号 $\vec{h}\vec{w}_{sc}$ 为经过信道后的携带有所述 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号；

[0012] 基于所述 $\vec{h}$ ，计算得到基于信号泄露的所述第一通信终端的波束赋形权重矢量 $\vec{w}_{SL}$ ；

[0013] 通过公式

$$[0014] \quad \omega = \angle(\vec{h}\vec{w}_{sc} - \vec{h}\vec{w}) - \angle(\vec{h}\vec{w}_{SL})$$

[0015] 计算相位参数 $\omega$ ，其中， $\vec{w}$ 为 $\vec{w}_{sc}$ 在所述M个天线中每一个天线相对应的权重分量组成的波束赋形权重矢量，且满足 $[\vec{w}]_i = \begin{cases} [\vec{w}_{sc}]_i, & i \in \mathbb{M} \\ 0, & i \in (\mathbb{N} - \mathbb{M}) \end{cases}$ ，其中， $i$ 为 $\vec{w}_{sc}$ 中权重分量的序号， $\mathbb{M}$ 为所述M个天线所对应的序号的集合， $\mathbb{N}$ 为所述N个天线所对应的序号的集合；

$[\vec{w}]_i$ 和 $[\vec{w}_{sc}]_i$ 分别为矢量 $\vec{w}$ 和 $\vec{w}_{sc}$ 的第 $i$ 个权重分量； $\angle(\vec{h}\vec{w}_{sc} - \vec{h}\vec{w})$ 和 $\angle(\vec{h}\vec{w}_{SL})$ 分别表示复数 $(\vec{h}\vec{w}_{sc} - \vec{h}\vec{w})$ 和 $(\vec{h}\vec{w}_{SL})$ 的相位；

[0016] 通过公式

$$[0017] \quad [\vec{w}_{SCSL}]_i = \begin{cases} \left[ \frac{\|\vec{w}\|_2}{\|\vec{w}_{SL}\|_2} \vec{h}\vec{w}_{SL} e^{j\omega} \right]_i, & i \in \mathbb{M} \\ [\vec{w}_{sc}]_i, & i \in (\mathbb{N} - \mathbb{M}) \end{cases}$$

[0018] 计算得到基于空间相关矩阵和信号泄露的所述第一通信终端的波束赋形权重矢量 $\vec{w}_{SCSL}$ ， $\vec{w}_{SCSL}$ 为 $[\vec{w}_{SCSL}]_i$ 的集合；其中， $\|\vec{w}\|_2$ 和 $\|\vec{w}_{SL}\|_2$ 分别为所述 $\vec{w}$ 和所述 $\vec{w}_{SL}$ 的二范数， $e^{j\omega}$ 为复相位。

[0019] 可选的，所述计算基于空间相关矩阵的第一通信终端的波束赋形权重矢量 $\vec{w}_{sc}$ ，包括：

[0020] 通过公式

$$[0021] \quad \vec{w}_{sc} = v_{\lambda_{\max}}(\mathbf{R})$$

[0022] 计算得到基于空间相关矩阵的第一通信终端的波束赋形权重矢量 $\vec{w}_{sc}$ ，其中， $v_{\lambda_{\max}}(\mathbf{R})$ 表示矩阵R的最大特征值对应的特征矢量，矩阵R是所述第一通信终端的空间相关矩阵，矩阵R的权重分量的定义如下：

$$[0023] \quad [R]_{pq} = \frac{\mathbb{E}\{[\vec{h}]_p^H \times [\vec{h}]_q\}}{\sqrt{\mathbb{E}\{[\vec{h}]_p^H \times [\vec{h}]_p\} \mathbb{E}\{[\vec{h}]_q^H \times [\vec{h}]_q\}}}$$

[0024]  $[R]_{pq}$ 为所述矩阵R的第p行第q列的权重分量,  $[\vec{h}]_p$ 和 $[\vec{h}]_q$ 分别为所述N个天线对应的信道的信道状态信息 $\vec{h}$ 的第p个权重分量和第q个权重分量,  $[\vec{h}]_p^H$ 表示 $[\vec{h}]_p$ 的共轭转置,  $[\vec{h}]_q^H$ 表示 $[\vec{h}]_q$ 的共轭转置, 符号 $\mathbb{E}\{x\}$ 表示随机变量x的期望值。

[0025] 可选的, 所述使用所述N个天线向所述第一通信终端发送一个携带有所述 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号, 包括:

[0026] 将一个携带有所述 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号拆分为N个子信号, 使用所述N个天线发送所述N个子信号, 其中, 每一个天线均发送一个所述子信号且各天线发送的子信号不同。

[0027] 可选的, 所述基于所述 $\vec{h}$ , 计算得到基于信号泄露的所述第一通信终端的波束赋形权重矢量 $\vec{w}_{SL}$ , 包括:

[0028] 通过公式

$$[0029] \quad \vec{w}_{SL} \propto \text{maxeigenvector} \left[ \left( \sum_{i=1, i \neq k}^K \vec{h}_i^H \vec{h}_i + \sigma^2 I_N \right)^{-1} \vec{h}_k^H \vec{h}_k \right]$$

[0030] 计算得到基于信号泄露的所述第一通信终端的波束赋形权重矢量 $\vec{w}_{SL}$ , 其中, k为所述第一通信终端的编号, K为与所述基站通信连接的通信终端的数量,  $i \in K$ ,  $\vec{h}_i$ 为编号为i的通信终端对应的信道的信道状态信息,  $\vec{h}_k$ 为所述第一通信终端对应的信道的信道状态信息,  $\vec{h}_i^H$ 为 $\vec{h}_i$ 的共轭转置,  $\vec{h}_k^H$ 为 $\vec{h}_k$ 的共轭转置,  $\sigma^2$ 为噪声的能量,  $I_N$ 为维度为N\*N的单位矩阵。

[0031] 可选的, 还包括:

[0032] 根据所述 $\vec{w}_{SCSL}$ 进行波束赋形。

[0033] 一种确定波束赋形权重矢量的装置, 应用于使用大规模多输入多输出技术的频分双工FDD通信系统的基站中, 所述基站通过N个天线与第一通信终端通信连接, 所述装置包括: 第一权重计算单元、导频信号发送单元、信号接收单元、第二权重计算单元、相位参数计算单元和第三权重计算单元,

[0034] 所述第一权重计算单元, 用于计算基于空间相关矩阵的第一通信终端的波束赋形权重矢量 $\vec{w}_{sc}$ ;

[0035] 所述导频信号发送单元, 用于从所述N个天线中选取M个天线, M和N均为正整数且 $M < N$ , 使用所述M个天线向所述第一通信终端发送未携带有所述 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号; 使用所述N



个天线向所述第一通信终端发送一个携带有所述 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号；

[0036] 所述信号接收单元,用于接收所述第一通信终端反馈的导频信号 $\vec{h}\vec{w}_{sc}$ ,接收所述第一通信终端反馈的与所述M个天线对应的信道状态信息 $\vec{h}$ ,其中,所述 $\vec{h}$ 是由所述第一通信终端根据接收的未携带有所述 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号进行信道估计得到的,所述导频信号 $\vec{h}\vec{w}_{sc}$ 为经过信道后的携带有所述 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号；

[0037] 所述第二权重计算单元,用于基于所述 $\vec{h}$ ,计算得到基于信号泄露的所述第一通信终端的波束赋形权重矢量 $\vec{w}_{SL}$ ；

[0038] 所述相位参数计算单元,用于通过公式

$$[0039] \quad \omega = \angle(\vec{h}\vec{w}_{sc} - \vec{h}\vec{w}) - \angle(\vec{h}\vec{w}_{SL})$$

[0040] 计算相位参数 $\omega$ ,其中, $\vec{w}$ 为 $\vec{w}_{sc}$ 在所述M个天线中每一个天线相对应的权重分量

组成的波束赋形权重矢量,且满足 $[\vec{w}]_i = \begin{cases} [\vec{w}_{sc}]_i, & i \in \mathbf{M} \\ 0, & i \in (\mathbf{N} - \mathbf{M}) \end{cases}$ ,其中, $i$ 为 $\vec{w}_{sc}$ 中权重分量的

序号, $\mathbf{M}$ 为所述M个天线所对应的序号的集合, $\mathbf{N}$ 为所述N个天线所对应的序号的集合；

$[\vec{w}]_i$ 和 $[\vec{w}_{sc}]_i$ 分别为矢量 $\vec{w}$ 和 $\vec{w}_{sc}$ 的第*i*个权重分量； $\angle(\vec{h}\vec{w}_{sc} - \vec{h}\vec{w})$ 和 $\angle(\vec{h}\vec{w}_{SL})$ 分别表

示复数 $(\vec{h}\vec{w}_{sc} - \vec{h}\vec{w})$ 和 $(\vec{h}\vec{w}_{SL})$ 的相位；

[0041] 所述第三权重计算单元,用于通过公式

$$[0042] \quad [\vec{w}_{scSL}]_i = \begin{cases} \left[ \frac{\|\vec{w}\|_2}{\|\vec{w}_{SL}\|_2} \vec{h}\vec{w}_{SL} e^{j\omega} \right]_i, & i \in \mathbf{M} \\ [\vec{w}_{sc}]_i, & i \in (\mathbf{N} - \mathbf{M}) \end{cases}$$

[0043] 计算得到基于空间相关矩阵和信号泄露的所述第一通信终端的波束赋形权重矢量 $\vec{w}_{scSL}$ , $\vec{w}_{scSL}$ 为 $[\vec{w}_{scSL}]_i$ 的集合；其中, $\|\vec{w}\|_2$ 和 $\|\vec{w}_{SL}\|_2$ 分别为所述 $\vec{w}$ 和所述 $\vec{w}_{SL}$ 的二范数, $e^{j\omega}$ 为复相位。

[0044] 可选的,所述第一权重计算单元,具体用于：

[0045] 通过公式

$$[0046] \quad \vec{w}_{sc} = v_{\lambda_{\max}}(\mathbf{R})$$

[0047] 计算得到基于空间相关矩阵的第一通信终端的波束赋形权重矢量 $\vec{w}_{sc}$ ,其中, $v_{\lambda_{\max}}(\mathbf{R})$ 表示矩阵R的最大特征值对应的特征矢量,矩阵R是所述第一通信终端的空间相关矩阵,矩阵R的权重分量的定义如下：

$$[0048] \quad [\mathbf{R}]_{pq} = \frac{\mathbb{E} \left\{ [\vec{h}]_p^H \times [\vec{h}]_q \right\}}{\sqrt{\mathbb{E} \left\{ [\vec{h}]_p^H \times [\vec{h}]_p \right\} \mathbb{E} \left\{ [\vec{h}]_q^H \times [\vec{h}]_q \right\}}}$$

[0049]  $[\mathbf{R}]_{pq}$ 为所述矩阵R的第p行第q列的权重分量,  $[\vec{h}]_p$ 和 $[\vec{h}]_q$ 分别为所述N个天线对应的信道的信道状态信息 $\vec{h}$ 的第p个权重分量和第q个权重分量,  $[\vec{h}]_p^H$ 表示 $[\vec{h}]_p$ 的共轭转置,  $[\vec{h}]_q^H$ 表示 $[\vec{h}]_q$ 的共轭转置, 符号 $\mathbb{E}\{x\}$ 表示随机变量x的期望值。

[0050] 可选的, 所述导频信号发送单元, 具体用于:

[0051] 从所述N个天线中选取M个天线, M和N均为正整数且 $M < N$ , 使用所述M个天线向所述第一通信终端发送未携带有所述 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号; 将一个携带有所述 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号拆分为N个子信号, 使用所述N个天线发送所述N个子信号, 其中, 每一个天线均发送一个所述子信号且各天线发送的子信号不同。

[0052] 可选的, 所述第二权重计算单元, 具体用于:

[0053] 通过公式

$$[0054] \quad \vec{w}_{SL} \propto \text{maxeigenvector} \left[ \left( \sum_{i=1, i \neq k}^K \vec{h}_i^H \vec{h}_i + \sigma^2 \mathbf{I}_N \right)^{-1} \vec{h}_k^H \vec{h}_k \right]$$

[0055] 计算得到基于信号泄露的所述第一通信终端的波束赋形权重矢量 $\vec{w}_{SL}$ , 其中, k为所述第一通信终端的编号, K为与所述基站通信连接的通信终端的数量,  $i \in K$ ,  $\vec{h}_i$ 为编号为i的通信终端对应的信道的信道状态信息,  $\vec{h}_k$ 为所述第一通信终端对应的信道的信道状态信息,  $\vec{h}_i^H$ 为 $\vec{h}_i$ 的共轭转置,  $\vec{h}_k^H$ 为 $\vec{h}_k$ 的共轭转置,  $\sigma^2$ 为噪声的能量,  $\mathbf{I}_N$ 为维度为 $N \times N$ 的单位矩阵。

[0056] 可选的, 还包括: 波束赋形单元, 用于根据所述 $\vec{w}_{SCL}$ 进行波束赋形。

[0057] 本发明实施例提供了一种确定波束赋形权重矢量的方法及装置, 可以利用部分天线对应的信道的信道状态信息, 综合考虑空间相关性和信号泄露来确定波束赋形矢量。本发明除了在所选天线上发送未携带有 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号外, 还发送携带有所述 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号来获得计算波束赋形权重矢量的相关信息。由于本发明只在部分天线上发送导频信号, 并且只需要一个额外的导频信号就可以获得计算波束赋形权重矢量的相关信息, 因此本发明可以降低系统的导频开销。由于本发明中信道信息获取比例是可以调整的, 因此本发明可以灵活地平衡系统的性能和开销。此外, 本发明的波束赋形权重矢量计算复杂度低, 操作步骤简单, 更容易实现。

## 附图说明

[0058] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0059] 图1为本发明实施例提供的一种确定波束赋形权重矢量的方法的流程图;

[0060] 图2为本发明实施例提供的不同方案的仿真结果示意图;

[0061] 图3为本发明实施例提供的不同方案下,通信终端SINR的CDF曲线图;

[0062] 图4为本发明实施例提供的一种确定波束赋形权重矢量的装置的结构示意图。

### 具体实施方式

[0063] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0064] 在使用大规模多输入多输出技术的频分双工FDD通信系统中,紧凑的天线阵列结构使得天线间的衰落相关性急剧增加,基站天线阵列的发送相关阵是准静态的,相比于信道矢量是缓慢变化的。因此在使用Massive MIMO技术的FDD通信系统中,波束赋形可以利用信道的空间相关性,以降低对实时信道的依赖。此时,通信终端的信道矢量也可以表示为:

$$\vec{h} = \vec{h} \times \mathbf{R}^{\frac{1}{2}};$$

[0065] 其中, $\vec{h}$ 为服从独立同分布的均值为0的复高斯信道向量,记作 $\vec{h} \sim \mathbf{CN}(0, \mathbf{I}_N)$ , $\mathbf{I}_N$ 是大小为 $N \times N$ 的单位矩阵。矩阵 $\mathbf{R}_k$ 为发送相关阵,并且发送相关矩阵 $\mathbf{R}_k$ 被定义为:

$$[\mathbf{R}]_{pq} = \frac{\mathbb{E} \{ [\mathbf{h}]_p^H \times [\mathbf{h}]_q \}}{\sqrt{\mathbb{E} \{ [\mathbf{h}]_p^H \times [\mathbf{h}]_p \} \mathbb{E} \{ [\mathbf{h}]_q^H \times [\mathbf{h}]_q \}}}$$

[0067] 式中, $[\mathbf{R}]_{pq}$ 为发送相关矩阵 $\mathbf{R}$ 的第 $p$ 行第 $q$ 列的权重分量, $[\mathbf{h}]_p$ 和 $[\mathbf{h}]_q$ 分别为信道向量 $\vec{h}$ 的第 $p$ 个权重分量和第 $q$ 个权重分量,符号 $\mathbb{E}\{x\}$ 表示随机变量 $x$ 的期望值, $x^H$ 表示复数 $x$ 的复共轭。因此上述系统模型也可表示为:

$$y = \sqrt{\rho} \vec{h} \mathbf{R}^{\frac{1}{2}} \vec{w} x + j + n$$

[0069] 其中, $j$ 为其他通信终端对当前通信终端的干扰, $n$ 为噪声, $y$ 为当前通信终端的接收符号, $\sqrt{\rho}$ 为信号的发射功率, $\mathbf{R}$ 为发送相关矩阵, $\vec{w}$ 为当前通信终端的波束赋形权重矢量, $x$ 为当前通信终端的发送信号。

[0070] 发送相关阵 $\mathbf{R}$ 的数值大小取决于无线传播环境和天线配置,且其是缓慢变化的。

[0071] 从上面的介绍中我们可以看到,由于发送相关阵 $\mathbf{R}$ 是信道向量的二阶统计特征,相比于瞬时变化的信道向量,其变化速度取决于用户方位,属于准静态的,所以基于空间相关

性的赋形方法的权重向量 $\vec{w}_{sc}$ 也是准静态的,这将大大减小其对实时信道信息的依赖,从而减少系统获取信道信息的开销。

[0072] 基于空间相关性的波束赋形方法可以有效减少系统开销,但是其系统性能也相应地下降了,性能较差;相反地,基于信号泄露的波束赋形方法的系统性能很好,但是该方法需要获得实时信道信息,而在使用Massive MIMO技术的FDD通信系统中获取全部实时信道信息是不切实际的。

[0073] 如图1所示,本发明实施例提供一种确定波束赋形权重矢量的方法,应用于使用大规模多输入多输出技术的频分双工FDD通信系统的基站中,所述基站通过N个天线与第一通信终端通信连接,该方法可以包括:

[0074] S100、计算基于空间相关矩阵的第一通信终端的波束赋形权重矢量 $\vec{w}_{sc}$ ;

[0075] 其中,步骤S100可以包括:

[0076] 通过公式

$$[0077] \quad \vec{w}_{sc} = \operatorname{argmax} \|\mathbf{R}^2 \vec{w}\|_2 = v_{\lambda_{\max}}(\mathbf{R})$$

[0078] 计算得到基于空间相关矩阵的第一通信终端的波束赋形权重矢量 $\vec{w}_{sc}$ ,其中, $v_{\lambda_{\max}}(\mathbf{R})$ 表示矩阵R的最大特征值对应的特征矢量,矩阵R是所述第一通信终端的空间相关矩阵,矩阵R的权重分量的定义如下:

$$[0079] \quad [\mathbf{R}]_{pq} = \frac{\mathbb{E}\{[\vec{h}]_p^H \times [\vec{h}]_q\}}{\sqrt{\mathbb{E}\{[\vec{h}]_p^H \times [\vec{h}]_p\} \mathbb{E}\{[\vec{h}]_q^H \times [\vec{h}]_q\}}}$$

[0080]  $[\mathbf{R}]_{pq}$ 为所述矩阵R的第p行第q列的权重分量, $[\vec{h}]_p$ 和 $[\vec{h}]_q$ 分别为所述N个天线对应的信道的信道状态信息 $\vec{h}$ 的第p个权重分量和第q个权重分量, $[\vec{h}]_p^H$ 表示 $[\vec{h}]_p$ 的共轭转置, $[\vec{h}]_q^H$ 表示 $[\vec{h}]_q$ 的共轭转置,符号 $\mathbb{E}\{x\}$ 表示随机变量x的期望值。

[0081] S200、从所述N个天线中选取M个天线,M和N均为正整数且 $M < N$ ,使用所述M个天线向所述第一通信终端发送未携带有所述 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号;使用所述N个天线向所述第一通信终端发送一个携带有所述 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号;

[0082] 例如,假定基站有80个天线,从中选取20个天线,在这20个天线上分别向所述第一通信终端发送导频信号。这样,所述第一通信终端就可以通过信道估计,得到这20个天线到所述第一通信终端使用的信道的信道状态信息;此外,再发送一个导频信号,这个导频信号经过权重矢量 $\vec{w}_{sc}$ 处理后将得到80个带不同权重的子信号,分别在80个天线上发送。这样,所述第一通信终端就可以接收到一个过信道的带有所述 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号,将该信号反馈回基站之后,基站就可以根据该信号计算本发明中需要用到的相位信息。

[0083] 其中,所述使用所述N个天线向所述第一通信终端发送一个携带有所述 $\vec{w}_{sc}$ 的导

频信号,可以包括:

[0084] 将一个携带有所述 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号拆分为N个子信号,使用所述N个天线发送所述N个子信号,其中,每一个天线均发送一个所述子信号且各天线发送的子信号不同。

[0085] S300、接收所述第一通信终端反馈的过信道的导频信号 $\vec{h}\vec{w}_{sc}$ ,接收所述第一通信终端反馈的与所述M个天线对应的信道状态信息 $\vec{h}$ ,其中,所述 $\vec{h}$ 是由所述第一通信终端根据接收的未携带有所述 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号进行信道估计得到的,所述导频信号 $\vec{h}\vec{w}_{sc}$ 为经过信道后的携带有所述 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号;

[0086] 其中,所述过信道的导频信号 $\vec{h}\vec{w}_{sc}$ 即为所述第一通信终端接收到的经过信道后N个子信号叠加之后得到的信号。

[0087] S400、基于所述 $\vec{h}$ ,计算得到基于信号泄露的所述第一通信终端的波束赋形权重矢量 $\vec{w}_{SL}$ ;

[0088] 其中,步骤S400可以包括:

[0089] 通过公式

$$[0090] \quad \vec{w}_{SL} \propto \text{maxeigenvector} \left[ \left( \sum_{i=1, i \neq k}^K \vec{h}_i^H \vec{h}_i + \sigma^2 I_N \right)^{-1} \vec{h}_k^H \vec{h}_k \right]$$

[0091] 计算得到基于信号泄露的所述第一通信终端的波束赋形权重矢量 $\vec{w}_{SL}$ ,其中,k为所述第一通信终端的编号,K为与所述基站通信连接的通信终端的数量, $i \in K$ , $\vec{h}_i$ 为编号为i的通信终端对应的信道的信道状态信息, $\vec{h}_k$ 为所述第一通信终端对应的信道的信道状态信息, $\vec{h}_i^H$ 为 $\vec{h}_i$ 的共轭转置, $\vec{h}_k^H$ 为 $\vec{h}_k$ 的共轭转置, $\sigma^2$ 为噪声的能量, $I_N$ 为维度为N\*N的单位矩阵。

[0092] S500、通过公式

$$[0093] \quad \omega = \angle(\vec{h}\vec{w}_{sc} - \vec{h}\vec{w}) - \angle(\vec{h}\vec{w}_{SL})$$

[0094] 计算相位参数 $\omega$ ,其中, $\vec{w}$ 为 $\vec{w}_{sc}$ 在所述M个天线中每一个天线相对应的权重分量组成的波束赋形权重矢量,且满足 $[\vec{w}]_i = \begin{cases} [\vec{w}_{sc}]_i, & i \in M \\ 0, & i \in (N - M) \end{cases}$ ,其中,i为 $\vec{w}_{sc}$ 中权重分量的序号,M为所述M个天线所对应的序号的集合,N为所述N个天线所对应的序号的集合; $[\vec{w}]_i$ 和 $[\vec{w}_{sc}]_i$ 分别为矢量 $\vec{w}$ 和 $\vec{w}_{sc}$ 的第i个权重分量; $\angle(\vec{h}\vec{w}_{sc} - \vec{h}\vec{w})$ 和 $\angle(\vec{h}\vec{w}_{SL})$ 分别表示复数 $(\vec{h}\vec{w}_{sc} - \vec{h}\vec{w})$ 和 $(\vec{h}\vec{w}_{SL})$ 的相位;

[0095] 其中,理论推导表明,当相位参数 $\omega$ 满足上述关系式时,本发明就能在考虑空间相

关性和信号泄露的基础上,同时保证所述第一通信终端的接收能量,从而使得系统的波束赋形增益得到最大化提升。

[0096] S600、通过公式

$$[0097] \quad [\vec{w}_{SCSL}]_i = \begin{cases} \left[ \frac{\|\vec{w}\|_2}{\|\vec{w}_{SL}\|_2} \vec{h}\vec{w}_{SL} e^{j\omega} \right]_i, i \in M \\ [\vec{w}_{SC}]_i, i \in (N - M) \end{cases}$$

[0098] 计算得到基于空间相关矩阵和信号泄露的所述第一通信终端的波束赋形权重矢量 $\vec{w}_{SCSL}$ ,  $\vec{w}_{SCSL}$ 为 $[\vec{w}_{SCSL}]_i$ 的集合;其中, $\|\vec{w}\|_2$ 和 $\|\vec{w}_{SL}\|_2$ 分别为所述 $\vec{w}$ 和所述 $\vec{w}_{SL}$ 的二范数, $e^{j\omega}$ 为复相位。

[0099] 为了评估本发明实施例提供的一种确定波束赋形权重矢量的方法的性能,我们搭建了一个使用大规模多输入多输出技术的频分双工FDD通信系统的系统级仿真平台,并进行了大量的仿真实验测试。

[0100] 下面简单介绍本系统级仿真平台的系统结构组成:平台中的网络拓扑模型包含19个宏小区,每个小区又分为3个扇区。基站位于每个小区的中心位置,并配有2D平面天线阵列。仿真中用到的主要参数如表1所述。

[0101] 表1 系统仿真参数表

[0102]

参数名	参数值
场景	3D 城市宏蜂窝 (3D-UMa)
网络拓扑	六边形 19 宏小区, 3 扇区每小区
站间距	500 m
基站发射功率/带宽/载波频率	43dBm/5 MHz/2 GHz
热噪声功率密度/移动终端噪声系数	-174dBm/Hz / 9 dB
天线最大方向性增益	8 dBi
基站天线数	$N=N_h*N_v=8*10=80$
天线间距	$d_v=d_h=0.5\lambda$

[0103]

移动终端移动速度	3 km/h (水平面移动)
移动终端高度 (米)	1.5
移动终端分布	30 用户每扇区, 均匀分布
LOS/NLOS 条件/3D 衰落模型	根据 3GPP 协议 TR36.873
多用户调度情况	同时服务 8 个用户
调度方式	轮询调度

[0104] 为了评估本发明实施例提供的方法的性能,我们首先对不同信道信息获取比例下本发明的性能进行仿真,接着在某个固定的信道信息获取比例下对比本发明与其他传统波束赋形方法,如最大比发送 (MRT, Maximum Ratio Transmission), 迫零 (ZF, Zero-Forcing) 以及背景技术中提及的方法一SL和方法二SC。

[0105] 一、不同信息获取比例下提出方案的性能

[0106] 对于本发明,当信道信息获取的比例为 $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{1}{3}$ 、 $\frac{1}{4}$ 时,分别表示为SCSL (2)、SCSL (3)、SCSL (4)。仿真的结果如图2所示。

[0107] 从图2可以看出,本发明的性能介于方法SC和方法SL之间,这说明了本发明可以在方法SC的基础上进一步提高系统性能。此外,从图2中可以看出,随着信道信息获取比例的增加,本发明的性能会逐提升,当获取所有信道信息时,达到SL的性能,这说明了本发明可以通过调节信道信息获取比例来平衡系统的性能和开销。

[0108] 图3给出本发明提出的SCSL,基于空间相关性的SC,基于信号泄露的SL,MRT和ZF波束赋形方案下,通信终端SINR的CDF曲线。从图3中可以看出,本发明好于传统基于相关阵的SC和MRT波束赋形方案,差于基于全信道信息的ZF和SL波束赋形方案,性能表现居中。

[0109] 综上所述,上面提及的各种波束赋形方法的特点如下表2所示。

[0110] 表2 本发明与传统技术方案的特征对比

[0111]

方案	空间相关性	瞬时信道信息	性能	开销
SC	√	×	性能差	准静态, 开销低
MRT	×	√	性能一般	依赖实时信道信息, 开销大
SL	×	√	性能好	依赖实时信道信息, 开销大
ZF	×	√	性能好	依赖实时信道信息, 开销大
SCSL	√	√	可灵活平衡系统性能和开销	

[0112] 本发明实施例提供了一种确定波束赋形权重矢量的方法, 可以利用部分天线对应的信道的信道状态信息, 综合考虑空间相关性和信号泄露来确定波束赋形矢量。本发明除了在所选天线上发送未携带有 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号外, 还发送携带有所述 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号来获得计算波束赋形权重矢量的相关信息。由于本发明只在部分天线上发送导频信号, 并且只需要一个额外的导频信号就可以获得计算波束赋形权重矢量的相关信息, 因此本发明可以降低系统的导频开销。由于本发明中信道信息获取比例是可以调整的, 因此本发明可以灵活地平衡系统的性能和开销。此外, 本发明的波束赋形权重矢量计算复杂度低, 操作步骤简单, 更容易实现。

[0113] 在本发明实施例提供的另一种确定波束赋形权重矢量的方法中, 还可以包括:

[0114] 根据所述 $\vec{w}_{scsl}$ 进行波束赋形。

[0115] 在利用上述方法计算得到各个终端的波束赋形权重矢量后, 基站利用上述计算得到的 $\vec{w}_{scsl}$ 调整天线阵列中每个阵元的加权系数产生具有指向性的波束, 该波束综合考虑了所述第一通信终端的接收能量以及其他通信终端对所述第一通信终端的干扰, 可以在只考虑空间相关性的指向性波束上进一步提高波束的赋形增益, 从而提升通信系统的总体性能。

[0116] 与上述的一种确定波束赋形权重矢量的方法相对应, 本发明还提供了一种确定波束赋形权重矢量的装置。

[0117] 如图4所示, 本发明实施例提供了一种确定波束赋形权重矢量的装置, 应用于使用大规模多输入多输出技术的频分双工FDD通信系统的基站中, 所述基站通过N个天线与第一



通信终端通信连接,所述装置包括:第一权重计算单元100、导频信号发送单元200、信号接收单元300、第二权重计算单元400、相位参数计算单元500和第三权重计算单元600,

[0118] 所述第一权重计算单元100,用于计算基于空间相关矩阵的第一通信终端的波束赋形权重矢量 $\vec{w}_{sc}$ ;

[0119] 其中,所述第一权重计算单元100,可以具体用于:

[0120] 通过公式

$$[0121] \quad \vec{w}_{sc} = \operatorname{argmax} \|\mathbf{R}^2 \vec{w}\|_2 = v_{\lambda_{\max}}(\mathbf{R})$$

[0122] 计算得到基于空间相关矩阵的第一通信终端的波束赋形权重矢量 $\vec{w}_{sc}$ ,其中, $v_{\lambda_{\max}}(\mathbf{R})$ 表示矩阵R的最大特征值对应的特征矢量,矩阵R是所述第一通信终端的空间相关矩阵,矩阵R的权重分量的定义如下:

$$[0123] \quad [\mathbf{R}]_{pq} = \frac{\mathbb{E}\{[\vec{h}]_p^H \times [\vec{h}]_q\}}{\sqrt{\mathbb{E}\{[\vec{h}]_p^H \times [\vec{h}]_p\} \mathbb{E}\{[\vec{h}]_q^H \times [\vec{h}]_q\}}}$$

[0124]  $[\mathbf{R}]_{pq}$ 为所述矩阵R的第p行第q列的权重分量, $[\vec{h}]_p$ 和 $[\vec{h}]_q$ 分别为所述N个天线对应的信道的信道状态信息 $\vec{h}$ 的第p个权重分量和第q个权重分量, $[\vec{h}]_p^H$ 表示 $[\vec{h}]_p$ 的共轭转置, $[\vec{h}]_q^H$ 表示 $[\vec{h}]_q$ 的共轭转置,符号 $\mathbb{E}\{x\}$ 表示随机变量x的期望值。

[0125] 所述导频信号发送单元200,用于从所述N个天线中选取M个天线,M和N均为正整数且 $M < N$ ,使用所述M个天线向所述第一通信终端发送未携带有所述 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号;使用所述N个天线向所述第一通信终端发送一个携带有所述 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号;

[0126] 其中,所述导频信号发送单元200,可以具体用于:

[0127] 从所述N个天线中选取M个天线,M和N均为正整数且 $M < N$ ,使用所述M个天线向所述第一通信终端发送未携带有所述 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号;将一个携带有所述 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号拆分为N个子信号,使用所述N个天线发送所述N个子信号,其中,每一个天线均发送一个所述子信号且各天线发送的子信号不同。

[0128] 所述信号接收单元300,用于接收所述第一通信终端反馈的导频信号 $\vec{h}\vec{w}_{sc}$ ,接收所述第一通信终端反馈的与所述M个天线对应的信道状态信息 $\vec{h}$ ,其中,所述 $\vec{h}$ 是由所述第一通信终端根据接收的未携带有所述 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号进行信道估计得到的,所述导频信号 $\vec{h}\vec{w}_{sc}$ 为经过信道后的携带有所述 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号;

[0129] 所述第二权重计算单元400,用于基于所述 $\vec{h}$ ,计算得到基于信号泄露的所述第一通信终端的波束赋形权重矢量 $\vec{w}_{sl}$ ;

[0130] 其中,所述第二权重计算单元400,可以具体用于:

[0131] 通过公式

$$[0132] \quad \vec{\bar{w}}_{\text{SL}} \propto \text{maxeigenvector} \left[ \left( \sum_{i=1, i \neq k}^K \vec{\bar{h}}_i^H \vec{\bar{h}}_i + \sigma^2 \mathbf{I}_N \right)^{-1} \vec{\bar{h}}_k^H \vec{\bar{h}}_k \right]$$

[0133] 计算得到基于信号泄露的所述第一通信终端的波束赋形权重矢量 $\vec{\bar{w}}_{\text{SL}}$ ,其中, $k$ 为所述第一通信终端的编号, $K$ 为与所述基站通信连接的通信终端的数量, $i \in K$ , $\vec{\bar{h}}_k$ 表示用户 $k$ 的 $\vec{\bar{h}}$ , $\vec{\bar{h}}_i^H$ 表示 $\vec{\bar{h}}_i$ 的共轭转置, $\vec{\bar{h}}_k^H$ 表示 $\vec{\bar{h}}_k$ 的共轭转置, $\sigma^2$ 表示噪声的能量, $\mathbf{I}_N$ 是维度为 $N \times N$ 的单位矩阵。

[0134] 所述相位参数计算单元500,用于通过公式

$$[0135] \quad \omega = \angle \left( \vec{\bar{h}} \vec{\bar{w}}_{\text{sc}} - \vec{\bar{h}} \vec{\bar{w}} \right) - \angle \left( \vec{\bar{h}} \vec{\bar{w}}_{\text{SL}} \right)$$

[0136] 计算相位参数 $\omega$ ,其中, $\vec{\bar{w}}$ 为 $\vec{\bar{w}}_{\text{sc}}$ 在所述 $M$ 个天线中每一个天线相对应的权重分量组成的波束赋形权重矢量,且满足 $[\vec{\bar{w}}]_i = \begin{cases} [\vec{\bar{w}}_{\text{sc}}]_i, & i \in \mathbf{M} \\ 0, & i \in (\mathbf{N} - \mathbf{M}) \end{cases}$ ,其中, $i$ 为 $\vec{\bar{w}}_{\text{sc}}$ 中权重分量的序号, $\mathbf{M}$ 为所述 $M$ 个天线所对应的序号的集合, $\mathbf{N}$ 为所述 $N$ 个天线所对应的序号的集合; $[\vec{\bar{w}}]_i$ 和 $[\vec{\bar{w}}_{\text{sc}}]_i$ 分别为矢量 $\vec{\bar{w}}$ 和 $\vec{\bar{w}}_{\text{sc}}$ 的第 $i$ 个权重分量; $\angle \left( \vec{\bar{h}} \vec{\bar{w}}_{\text{sc}} - \vec{\bar{h}} \vec{\bar{w}} \right)$ 和 $\angle \left( \vec{\bar{h}} \vec{\bar{w}}_{\text{SL}} \right)$ 分别表示复数 $\left( \vec{\bar{h}} \vec{\bar{w}}_{\text{sc}} - \vec{\bar{h}} \vec{\bar{w}} \right)$ 和 $\left( \vec{\bar{h}} \vec{\bar{w}}_{\text{SL}} \right)$ 的相位;

[0137] 所述第三权重计算单元600,用于通过公式

$$[0138] \quad [\vec{\bar{w}}_{\text{SCSL}}]_i = \begin{cases} \left[ \frac{\|\vec{\bar{w}}\|_2}{\|\vec{\bar{w}}_{\text{SL}}\|_2} \vec{\bar{h}} \vec{\bar{w}}_{\text{SL}} e^{j\omega} \right]_i, & i \in \mathbf{M} \\ [\vec{\bar{w}}_{\text{sc}}]_i, & i \in (\mathbf{N} - \mathbf{M}) \end{cases}$$

[0139] 计算得到基于空间相关矩阵和信号泄露的所述第一通信终端的波束赋形权重矢量 $\vec{\bar{w}}_{\text{SCSL}}$ , $\vec{\bar{w}}_{\text{SCSL}}$ 为 $[\vec{\bar{w}}_{\text{SCSL}}]_i$ 的集合;其中, $\|\vec{\bar{w}}\|_2$ 和 $\|\vec{\bar{w}}_{\text{SL}}\|_2$ 分别为所述 $\vec{\bar{w}}$ 和所述 $\vec{\bar{w}}_{\text{SL}}$ 的二范数, $e^{j\omega}$ 为复相位。

[0140] 在本发明其他实施例中,图4所示装置还可以包括:波束赋形单元,用于根据所述 $\vec{\bar{w}}_{\text{SCSL}}$ 进行波束赋形。

[0141] 在利用上述方法计算得到各个终端的波束赋形权重矢量后,基站利用上述计算得到的 $\vec{\bar{w}}_{\text{SCSL}}$ 调整天线阵列中每个阵元的加权系数产生具有指向性的波束,该波束综合考虑了所述第一通信终端的接收能量以及其他通信终端对所述第一通信终端的干扰,可以在只考虑空间相关性的指向性波束上进一步提高波束的赋形增益,从而提升通信系统的总体性能。

[0142] 本发明实施例提供了一种确定波束赋形权重矢量的装置,可以利用部分天线对应

的信道的信道状态信息,综合考虑空间相关性和信号泄露来确定波束赋形矢量。本发明除了在所选天线上发送未携带有 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号外,还发送携带有所述 $\vec{w}_{sc}$ 的导频信号来获得计算波束赋形权重矢量的相关信息。由于本发明只在部分天线上发送导频信号,并且只需要一个额外的导频信号就可以获得计算波束赋形权重矢量的相关信息,因此本发明可以降低系统的导频开销。由于本发明中信道信息获取比例是可以调整的,因此本发明可以灵活地平衡系统的性能和开销。此外,本发明的波束赋形权重矢量计算复杂度低,操作步骤简单,更容易实现。

[0143] 需要说明的是,在本文中,诸如第一和第二等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来,而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且,术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含,从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素,而且还包括没有明确列出的其他要素,或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下,由语句“包括一个……”限定的要素,并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。

[0144] 本说明书中的各个实施例均采用相关的方式描述,各个实施例之间相同相似的部分互相参见即可,每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处。尤其,对于装置实施例而言,由于其基本相似于方法实施例,所以描述的比较简单,相关之处参见方法实施例的部分说明即可。

[0145] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并非用于限定本发明的保护范围。凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换、改进等,均包含在本发明的保护范围内。

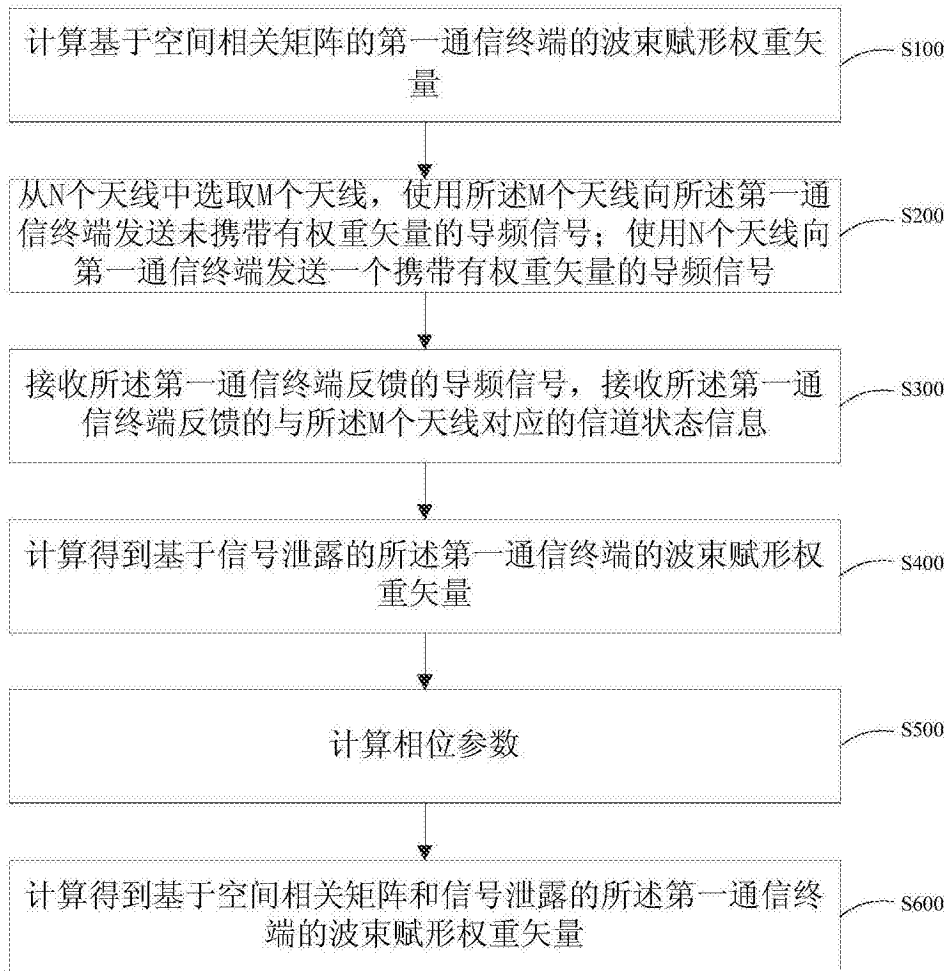


图1

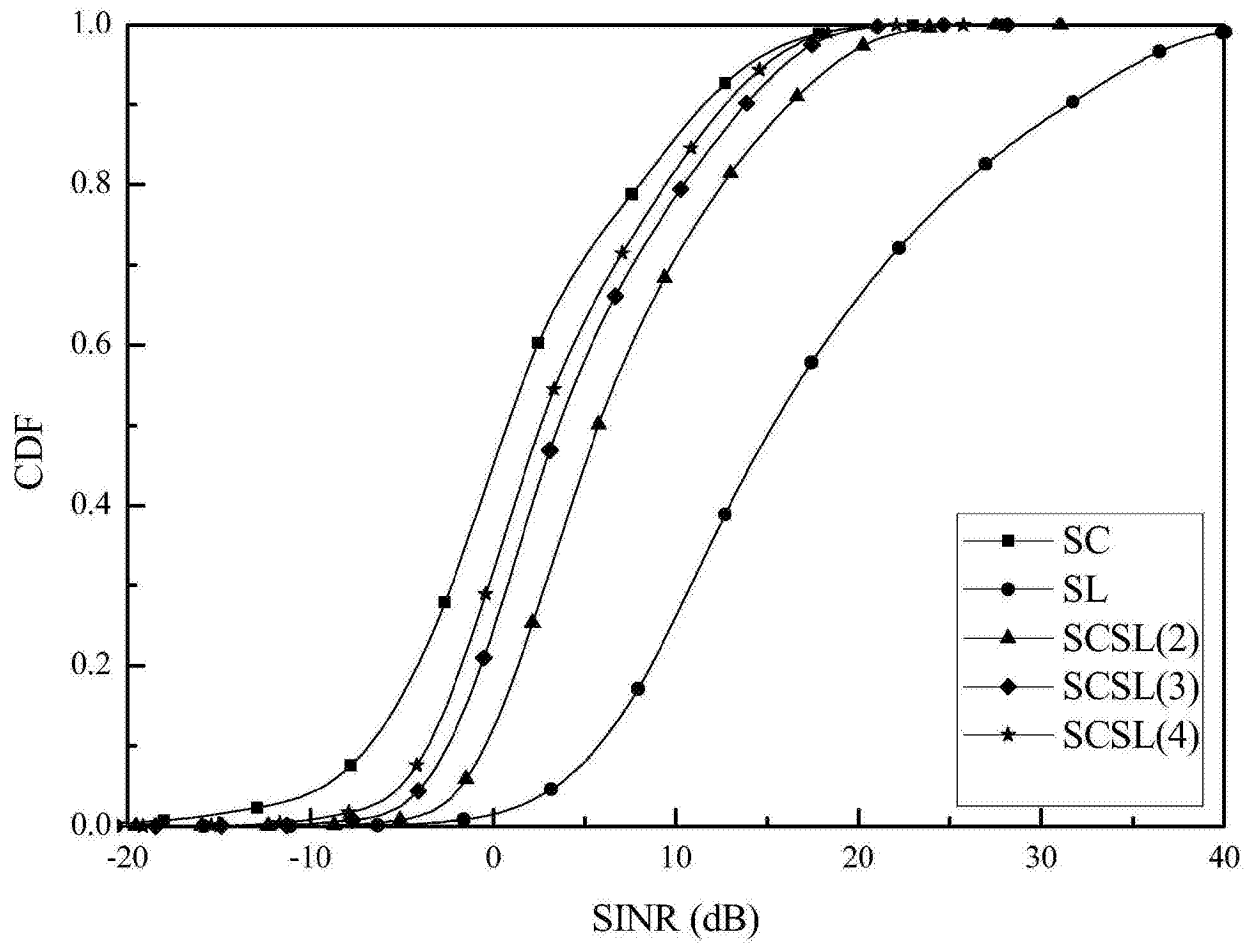


图2

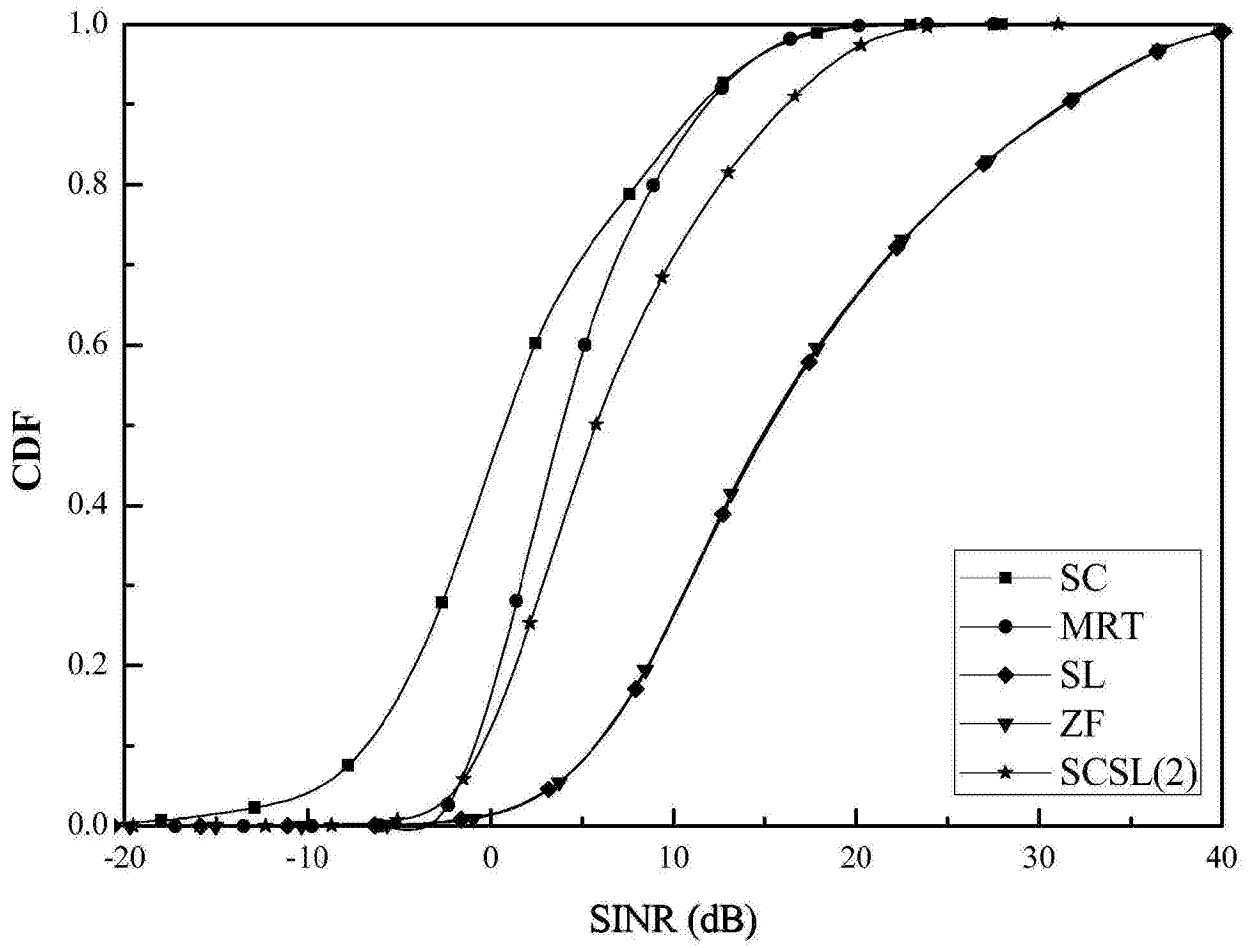


图3

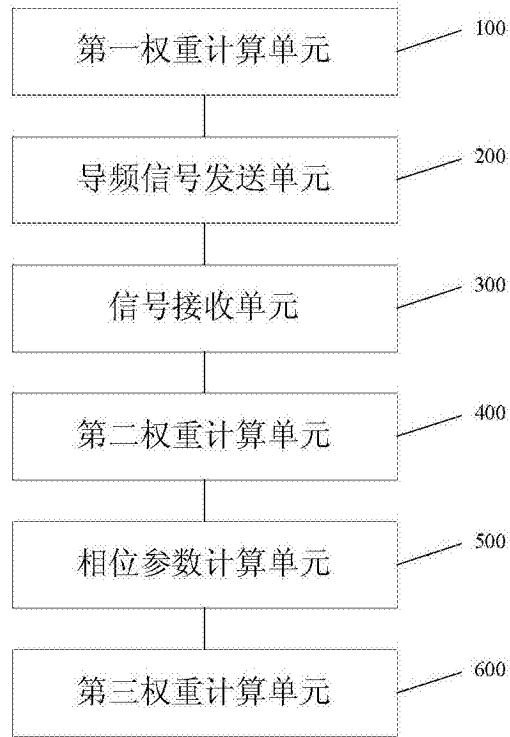


图4