



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102970106 B

(45) 授权公告日 2015. 08. 19

(21) 申请号 201210452194. X

CN 102075294 A, 2011. 05. 25,

(22) 申请日 2012. 11. 13

WO 02/052771 A2, 2002. 07. 04,

CN 101577611 A, 2009. 11. 11,

(73) 专利权人 北京航空航天大学

地址 100191 北京市海淀区学院路 37 号

审查员 刘万志

(72) 发明人 侯磊 杨晨阳

(74) 专利代理机构 北京永创新实专利事务所

11121

代理人 赵文利

(51) Int. Cl.

H04L 1/00(2006. 01)

H04L 1/06(2006. 01)

H04L 25/02(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101860386 A, 2010. 10. 13,

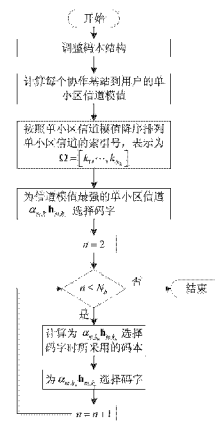
权利要求书3页 说明书9页 附图5页

(54) 发明名称

具有码字约束的码字选择以及相应的信道质量估计方法

(57) 摘要

本发明针对下行协作多点传输的隐反馈方案,公开了一种具有码字约束的码字选择以及相应的信道质量估计方法,码字选择方法为:步骤1:调整码本结构;步骤2:获取每个协作基站到用户m的单小区信道的信道模值;步骤3:按照单小区信道的信道模值降序排列单小区信道的索引号;步骤4:为信道模值最强的单小区信道选择码字;步骤5:为其他单小区信道选择码字;步骤6:判断单小区信道是否都选择码字完毕。信道质量估计方法包括:步骤1:估计其他调度用户所选码字的i-索引号;步骤2:估计其他调度用户所选码字的j-索引号;步骤3:根据i-索引号和j-索引号,估计其他调度用户的波束成形矢量;步骤4:获取用户m的信号下行传输时所受到的多用户干扰;步骤5:获取用户m的信道质量。



1. 一种具有码字约束的码字选择方法, 协作式多点联合传输系统设有 N_b 个基站, 服务范围内共有 M 个用户, 第 m 个用户的具有码字约束的码字选择方法为, $m = 1, \dots, M$:

步骤 1: 调整码本结构;

首先将码本的结构调整为:

$$\mathcal{C} = \{ \mathcal{U}^i | \mathcal{U}^i = \{ \mathbf{c}_{i,1}^i, \dots, \mathbf{c}_{i,N_i}^i \}, i=1, \dots, N \}$$

其中: \mathcal{C} 表示码本, 码本中一共有 N 个正交码字集合, \mathcal{U}^i 表示码本 \mathcal{C} 中第 i 个正交码字集合, \mathcal{U}^i 中有 N_i 个相互正交的码字, N_i 表示发射天线数, $\mathbf{c}_{i,j}^i \in \mathbb{C}^{N_i \times 1}$ 表示 \mathcal{U}^i 中的第 j 个码字, i 和 j 联合表示了 $\mathbf{c}_{i,j}^i$ 在码本中的索引号, 分别为 i -索引号和 j -索引号;

步骤 2: 获取每个协作基站到用户 m 的单小区信道的信道模值;

具体为:

$$|| \alpha_{m,k} \mathbf{h}_{m,k} || = \alpha_{m,k} || \mathbf{h}_{m,k} ||$$

其中: $\alpha_{m,k} \mathbf{h}_{m,k}$ 表示第 k 个协作基站到用户 m 的单小区信道, $\alpha_{m,k}$ 表示第 k 个协作基站到用户 m 的单小区信道的大尺度衰落因子, $\mathbf{h}_{m,k}$ 表示第 k 个协作基站到用户 m 的单小区信道的小尺度衰落信道, $||A||$ 表示 A 的模值, $k = 1, \dots, N_b$, N_b 表示协作基站个数;

步骤 3: 按照单小区信道的信道模值 $|| \alpha_{m,k} \mathbf{h}_{m,k} ||$ 降序排列单小区信道的索引号;

排列后的单小区信道的索引号表示为:

$$\Omega = [k_1, \dots, k_{N_b}]$$

其中: k_n 表示信道模值第 n 强的单小区信道的索引号, 即 $|| \alpha_{m,k_1} \mathbf{h}_{m,k_1} || \geq \dots \geq || \alpha_{m,k_{N_b}} \mathbf{h}_{m,k_{N_b}} ||$;

步骤 4: 为信道模值最强的单小区信道 $\alpha_{m,k_1} \mathbf{h}_{m,k_1}$ 选择码字;

方法如下:

$$\mathbf{v}_{m,k_1} = \mathbf{c}_{j_{m,k_1}}^{i_{m,k_1}} = \arg \max_{\mathbf{c}_j^i \in \mathcal{C}} | \bar{\mathbf{h}}_{m,k_1}^H \mathbf{c}_j^i |^2$$

其中: \mathbf{v}_{m,k_1} 表示用户 m 为单小区信道 $\alpha_{m,k_1} \mathbf{h}_{m,k_1}$ 选择的码字, $\bar{\mathbf{h}}_{m,k_1} = \mathbf{h}_{m,k_1} / || \mathbf{h}_{m,k_1} ||$ 表示该单小区信道的信道方向, $|| \mathbf{h}_{m,k_1} ||$ 表示 \mathbf{h}_{m,k_1} 的模值, \mathbf{c}_j^i 表示码本 \mathcal{C} 中的任意一个码字, $\mathbf{c}_{j_{m,k_1}}^{i_{m,k_1}}$ 表示通过运算从码本中选择出来的码字, 其在码本 \mathcal{C} 中的 i -索引号和 j -索引号分别为 i_{m,k_1} 和 j_{m,k_1} , A^H 表示 A 的共轭转置;

步骤 5: 为单小区信道 $\alpha_{m,k_n} \mathbf{h}_{m,k_n}$ 选择码字, $n \geq 2$;

该步骤具体分为两步:

(1) 首先计算为 $\alpha_{m,k_n} \mathbf{h}_{m,k_n}$ 选择码字时所采用的码本, 约束该码本是码本 \mathcal{C} 的一个子集, 其构造方法如下:

$$\mathcal{V}_{m,k_n} = \{ \mathbf{c}_{j_{m,k_n}}^1, \mathbf{c}_{j_{m,k_n}}^2, \dots, \mathbf{c}_{j_{m,k_n}}^N \}$$

其中： \mathcal{V}_{m,k_n} 表示用于 $\alpha_{m,k_n} \mathbf{h}_{m,k_n}$ 的码本， $\mathbf{c}_{j_{m,k_n}}^i$ 表示码本 \mathcal{C} 中第 i 个正交码字集 \mathcal{U}^i 的第 j_{m,k_n} 个码字， $i = 1, \dots, N$ ， j_{m,k_n} 的获取方法为：

$$j_{m,k_n} = \begin{cases} j_{m,k_1}, & |k_n - k_1| \text{ 为偶数} \\ (N_t + 1) - j_{m,k_1}, & |k_n - k_1| \text{ 为奇数} \end{cases}$$

其中： j_{m,k_1} 表示用户 m 为单小区信道 $\alpha_{m,k_1} \mathbf{h}_{m,k_1}$ 选择的码字 \mathbf{v}_{m,k_1} 的 j -索引号， N_t 表示单基站发射天线数；

(2) 码本构造完成之后，为 $\alpha_{m,k_n} \mathbf{h}_{m,k_n}$ 选择码字，方法如下：

$$\mathbf{v}_{m,k_n} = \mathbf{c}_{j_{m,k_n}}^{i_{m,k_n}} = \arg \max_{\mathbf{c}_{j_{m,k_n}}^i \in \mathcal{V}_{m,k_n}} |\bar{\mathbf{g}}_{m,k_n}^H \hat{\mathbf{w}}_{m,k_n}|^2$$

其中： \mathbf{v}_{m,k_n} 表示用户 m 为单小区信道 $\alpha_{m,k_n} \mathbf{h}_{m,k_n}$ 选择的码字， $\bar{\mathbf{g}}_{m,k_n} = \mathbf{g}_{m,k_n} / \|\mathbf{g}_{m,k_n}\|$ 表示信道方向， $\mathbf{g}_{m,k_n} = [\alpha_{k_1} \mathbf{h}_{m,k_1}^H, \dots, \alpha_{k_n} \mathbf{h}_{m,k_n}^H]^H$ 表示基站 $k_1 \sim$ 基站 k_n 到用户 m 的信道， $\hat{\mathbf{w}}_{m,k_n} = [\mathbf{v}_{m,k_1}^H, \dots, \mathbf{v}_{m,k_{n-1}}^H, (\mathbf{c}_{j_{m,k_n}}^i)^H]^H$ ， $\mathbf{c}_{j_{m,k_n}}^i$ 表示 \mathcal{V}_{m,k_n} 中的任意一个码字， \mathcal{V}_{m,k_n} 通过上一步骤得到， $\mathbf{c}_{j_{m,k_n}}^{i_{m,k_n}}$ 表示通过运算选择出来的码字，其在码本 \mathcal{C} 中的 i -索引号和 j -索引号分别为 i_{m,k_n} 和 j_{m,k_n} ， A^H 表示 A 的共轭转置；

步骤 6：设 $n = n+1$ ，如果 $n \leq N_b$ ，重复步骤 5；如果 $n > N_b$ ，则码字选择结束；

用户选择好码字之后，其波束成形矢量为：

$$\mathbf{w}_m = [\mathbf{v}_{m,1}^H, \mathbf{v}_{m,2}^H, \dots, \mathbf{v}_{m,N_b}^H]^H$$

其中： \mathbf{w}_m 表示用户 m 的波束成形矢量， $\mathbf{v}_{m,1}, \mathbf{v}_{m,2}, \dots, \mathbf{v}_{m,N_b}$ 表示用户 m 通过步骤 1 ~ 步骤 6 选择出来的码字， A^H 表示 A 的共轭转置。

2. 基于权利要求 1 所述码字选择方法的一种信道质量估计方法，用户选择好码字之后，根据所选码字估计信道质量，第 m 个选择的码字为 $\mathbf{v}_{m,1}, \mathbf{v}_{m,2}, \dots, \mathbf{v}_{m,N_b}$ ，则该用户信道质量估计方法为：

步骤 1：估计与用户 m 一起调度的其他调度用户所选码字的 i -索引号；

方法为：

$$i_{s,k} = i_{m,k}, k = 1, 2, \dots, N_b$$

其中： $i_{s,k}$ 表示其他调度用户为第 k 个协作基站所选码字的 i -索引号， $i_{m,k}$ 表示用户 m 为第 k 个协作基站所选码字的 i -索引号， N_b 表示协作基站数；

步骤 2：估计与用户 m 一起调度的其他调度用户所选码字的 j -索引号；

方法为：

$$j_{n,1} \in \{1 \leq j \leq N_t \mid j \neq j_{m,1}\}$$

$$j_{n,k} = (N_t + 1) - j_{n,k-1}, k \geq 2$$

其中： $j_{n,k}$ 表示其他调度用户为第 k 个协作基站所选码字的 j -索引号， $j_{m,k}$ 表示用户

m 为第 k 个协作基站所选码字的 j -索引号, N_t 表示单基站发射天线数; 根据上式, $j_{n,1}$ 有 N_t-1 种可能的取值, 得到 N_t-1 种 $\{j_{n,1}, j_{n,2}, \dots, j_{n,N_b}\}$, 将第 1 种可能的 $\{j_{n,1}, j_{n,2}, \dots, j_{n,N_b}\}$ 表示为 $\{j_{n,1}^{(l)}, j_{n,2}^{(l)}, \dots, j_{n,N_b}^{(l)}\}$;

步骤 3: 根据 i -索引号和 j -索引号, 估计其他调度用户的波束成形矢量;
方法为:

$$\mathcal{W} = \left\{ \mathbf{w}_{n_l} \mid \mathbf{w}_{n_l} = \left[\left(\mathbf{c}_{j_{n,1}^{(l)}}^{i_{n,1}} \right)^H, \left(\mathbf{c}_{j_{n,2}^{(l)}}^{i_{n,2}} \right)^H, \dots, \left(\mathbf{c}_{j_{n,N_b}^{(l)}}^{i_{n,N_b}} \right)^H \right]^H, l=1, \dots, N_t-1 \right\}$$

其中: $\mathbf{c}_{j_{n,k}^{(l)}}^{i_{n,k}}$ 表示表示码本 \mathcal{C} 中第 $i_{n,k}$ 个正交码字集 $\mathcal{U}^{i_{n,k}}$ 的第 $j_{n,k}^{(l)}$ 个码字, $k=1, 2, \dots, N_b$, $i_{n,k}$ 和 $j_{n,k}^{(l)}$ 分别通过步骤 1 和步骤 2 得到, \mathbf{w}_{n_l} 表示第 1 种可能的其他调度用户的波束成形矢量, \mathcal{W} 是 \mathbf{w}_{n_l} 的集合, 其表示所有可能的其他调度用户的波束成形矢量, A^H 表示 A 的共轭转置;

步骤 4: 获取用户 m 的信号下行传输时所受到的多用户干扰;
方法为:

$$\hat{I}_{\text{MU},m} = \frac{P}{N_t} \sum_{l=1}^{N_t-1} |\mathbf{g}_m^H \mathbf{w}_{n_l}|^2$$

其中: $\hat{I}_{\text{MU},m}$ 表示多用户干扰, P 表示协作簇的总发射功率, N_t 表示单基站发射天线数, $\mathbf{g}_m = [\alpha_{m,1} \mathbf{h}_{m,1}^H, \dots, \alpha_{m,N_b} \mathbf{h}_{m,N_b}^H]^H$ 表示用户 m 的下行信道, $\alpha_{m,k} \mathbf{h}_{m,k}$ 表示第 k 个协作基站到用户 m 的单小区信道, N_b 表示协作基站个数, \mathbf{w}_{n_l} 在步骤 3 中计算得到;

步骤 5: 获取用户 m 的信道质量;
方法为:

$$\text{CQI}_m = \frac{\frac{P}{N_t} |\mathbf{g}_m^H \mathbf{w}_m|^2}{\hat{I}_{\text{MU},m} + \sigma_m^2}$$

其中: CQI_m 表示用户 m 估计的信道质量信息, P 表示协作簇的总发射功率, N_t 表示单基站发射天线数, $\mathbf{g}_m = [\alpha_{m,1} \mathbf{h}_{m,1}^H, \dots, \alpha_{m,N_b} \mathbf{h}_{m,N_b}^H]^H$ 表示用户 m 的下行信道, $\alpha_{m,k} \mathbf{h}_{m,k}$ 表示第 k 个协作基站到用户 m 的单小区信道, \mathbf{w}_m 表示用户 m 的波束成形矢量, 通过上述一种具有码字约束的码字选择方法得到, $\hat{I}_{\text{MU},m}$ 表示通过步骤 4 计算得到的多用户干扰, σ_m^2 表示用户接收信号中的加性噪声和簇外干扰的功率。

具有码字约束的码字选择以及相应的信道质量估计方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种具有码字约束的码字选择以及相应的信道质量估计方法,属于频分双工无线通信系统中的协作通信技术领域。

背景技术

[0002] 为了提高无线通信系统的吞吐量,第3代合作伙伴计划(3rd Generation Partnership Project, 3GPP)提出了协作式多点联合传输(Coordinated Multiple Point Transmission With Joint Processing, CoMP-JP)技术。通过在基站间共享数据与信道信息并进行联合处理,CoMP-JP技术可以有效地降低小区间干扰、提高吞吐量,因此,它是提高小区吞吐量,尤其是边缘用户吞吐量的关键技术。在频分双工系统中,由于上下行信道不互易,只能通过用户反馈信道的方式使基站端获得信道信息。所以有限反馈技术是频分双工CoMP-JP系统中的重要技术。

[0003] 有限反馈技术主要有两种。一种是用户利用码本量化信道的方向和模值信息,并将量化信息反馈给基站端,基站端利用反馈信息重构量化的信道,然后将重构的量化信道作为真实信道进行多用户调度、预编码等基站端的处理,这种有限反馈技术在3GPP中被称为显反馈。由于在显反馈中基站端获知信道,所以它能够支持很多传统的基站端信号处理方法,例如贪婪用户调度方法和迫零预编码算法,所以目前对显反馈的研究比较多。另一种有限反馈技术是用户根据下行信道利用码本计算并反馈波束成形和信道质量信息(Channel Quality Indicator, CQI),基站端不再重构信道,而是直接利用用户反馈信息做多用户调度、波束成形等处理,这种有限反馈技术在3GPP中被称为隐反馈。在隐反馈中,通常会假设调度用户之间的波束成形相互正交,来辅助用户估计信道质量信息,一个典型的实现方案是不协作通信系统中的每用户酉速率控制(Per-User Unitary Rate Control, PU²RC)方案。较显反馈,隐反馈不需要在基站端重构信道因而不需要很大的反馈开销用于来反馈高质量的信道信息,因而更有利于降低CoMP-JP系统的反馈量;并且,当蜂窝小区内的用户数比较多时,基于正交波束成形的隐反馈性能要比基于迫零预编码的显反馈性能好。所以对基于正交波束成形的CoMP-JP隐反馈系统的研究是很有意义的。

[0004] 文献“Di Su, Lei Hou, and Chenyang Yang, “Limited feedback orthogonal beamforming in coordinated multi-point systems,” in Proc. IEEE Personal, Indoor and Mobile Radio Commun. (PIMRC), 2012.”提出一种基于正交波束成形的CoMP-JP隐反馈方案,虽然它的性能比常用的有限反馈方案好,但是也存在很多问题,例如信道质量信息CQI估计不准确,CQI的准确性既影响多用户调度又影响自适应调制编码,所以该问题会严重制约隐反馈方案的性能。存在该问题的主要原因有两个:一是它采用的码字选择方法仍是传统的码字选择方法,传统码字选择方法的特点是最小化信道或者波束成形的量化误差,并没有考虑对CQI估计的影响;二是在CoMP-JP系统中,正交波束成形的假设不能够为信道质量信息估计提供足够的先验信息,因此导致较大的CQI估计误差。所以需要提出一种新的码字选择方法,其兼顾量化误差和信道质量估计,同时可以结合正交

波束成形的假设为 CQI 估计提供足够的先验信息来降低 CQI 估计误差,进而提高隐反馈的系统性能。

发明内容

[0005] 本发明的目的是为了解决上述问题,提出一种具有码字约束的码字选择以及相应的信道质量估计方法,本发明为基于正交波束成形的 CoMP-JP 系统设计一种新型的码字选择方法,通过在码字选择过程中引入码字约束,来为信道质量指示(Channel Quality Indicator, CQI)的估计提供先验信息,达到了提高 CQI 估计准确性的技术效果;并且本发明根据提出的码字选择方法,给出了一种基于该码字选择方法的 CQI 估计方法。将本发明提出的码字选择方法和 CQI 估计方法应用于基于正交波束成形的 CoMP-JP 系统中,可以显著提高该系统的吞吐量。

[0006] 一种具有码字约束的码字选择方法,协作式多点联合传输系统设有 N_b 个基站,服务范围内共有 M 个用户,第 m 个用户的具有码字约束的码字选择方法为:

[0007] 步骤 1:调整码本结构;

[0008] 步骤 2:获取每个协作基站到用户 m 的单小区信道的信道模值;

[0009] 步骤 3:按照单小区信道的信道模值 $\|\alpha_{m,k}h_{m,k}\|$ 降序排列单小区信道的索引号;

[0010] 步骤 4:为信道模值最强的单小区信道 $\alpha_{m,k_1}h_{m,k_1}$ 选择码字;

[0011] 步骤 5:为单小区信道 $\alpha_{m,k_n}h_{m,k_n}$ 选择码字, $n \geq 2$;

[0012] 步骤 6:设 $n = n+1$,如果 $n \leq N_b$,重复步骤 5;如果 $n > N_b$,则码字选择结束;基于上述的一种信道质量估计方法,用户选择好码字之后,根据所选码字估计信道质量,第 m 个选择的码字为 $\mathbf{V}_{m,1}, \mathbf{V}_{m,2}, \dots, \mathbf{V}_{m,N_b}$,则该用户信道质量估计方法为:

[0013] 步骤 1:估计与用户 m 一起调度的其他调度用户所选码字的 i -索引号;

[0014] 步骤 2:估计与用户 m 一起调度的其他调度用户所选码字的 j -索引号;

[0015] 步骤 3:根据 i -索引号和 j -索引号,估计其他调度用户的波束成形矢量;

[0016] 步骤 4:获取用户 m 的信号下行传输时所受到的多用户干扰;

[0017] 步骤 5:获取用户 m 的信道质量;

[0018] 本发明的优点在于:

[0019] (1) 本发明为 CoMP-JP 系统提出一种具有码字约束的码字选择方法,它利用码字约束关系为 CQI 估计提供先验信息,来提高 CQI 的量化精度。它降低了可能产生的正交波束成形矢量的个数,当服务区内的用户数比较少时,降低正交波束成形矢量的个数有助于提高调度用户数;

[0020] (2) 本发明结合正交波束成形的假设以及本发明提出的码字选择方法,进一步提出了基于该波束成形假设以及码字选择方法的 CQI 计算方法。该方法计算得到的 CQI 比现有方法计算的 CQI 准确的多,并且当调度用户数为最大可能值时,该方法计算的 CQI 值与下行信号所经历的真实信干噪比相等,即 CQI 估计完全准确;

[0021] (3) CQI 精度和调度用户数对提高基于正交波束成形的隐反馈方案的性能都非常重要。本发明提出的码字选择方法和 CQI 估计方法,当用于基于正交波束成形的隐反馈 CoMP-JP 系统时,可以明显地提高该有限反馈系统的吞吐量。

附图说明

- [0022] 图 1 是本发明具有码字约束的码字选择方法的流程图；
 [0023] 图 2 为码本结构示意图；
 [0024] 图 3 为协作通信系统结构示意图和用户 m 下行信道的示意图；
 [0025] 图 4 为码本子集构造示意图；
 [0026] 图 5 是本发明信道质量估计方法的流程图；
 [0027] 图 6 为采用不同码字选择方法下，基于正交波束成形隐反馈的平均调度用户数；
 [0028] 图 7 为采用不同码字选择方法下，CQI 的估计误差的均值；
 [0029] 图 8 为采用不同码字选择方法下，CQI 的估计误差的均方差；
 [0030] 图 9 为将本发明用于正交波束成形隐反馈 CoMP-JP 时的系统和数据率。

具体实施方式

[0031] 下面将结合附图和实施例对本发明作进一步的详细说明。

[0032] 本发明是一种具有码字约束的码字选择方法，应用于协作通信有限反馈系统中，对于一个 N_b 个基站协作的 CoMP-JP 系统，服务范围内共有 M 个用户，则第 m ($m = 1, \dots, M$) 个用户的具有码字约束的码字选择方法的流程如图 1 所示，包括以下几个步骤：

[0033] 步骤 1：调整码本结构；

[0034] 在基于正交波束成形的有限反馈系统中，采用的码本是正交码本。首先将码本调整成如下结构：

$$[0035] \quad \mathcal{C} = \{ \mathcal{U}^i \mid \mathcal{U}^i = \{ \mathbf{c}_1^i, \dots, \mathbf{c}_j^i, \dots, \mathbf{c}_{N_t}^i \}, i = 1, \dots, N \}$$

[0036] 其中： \mathcal{C} 表示码本，如图 2 所示，码本中一共有 N 个正交码字集合， \mathcal{U}^i 表示码本 \mathcal{C} 中第 i 个正交码字集合， \mathcal{U}^i 中有 N_t 个相互正交的码字， N_t 表示发射天线数， $\mathbf{c}_j^i \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ 表示 \mathcal{U}^i 中的第 j 个码字，i 和 j 联合表示了 \mathbf{c}_j^i 在码本中的索引号，因此被分别称为 i-索引号和 j-索引号。

[0037] 步骤 2：获取每个协作基站到用户 m 的单小区信道的信道模值。

[0038] 按照如下公式：

$$[0039] \quad \| \alpha_{m,k} \mathbf{h}_{m,k} \| = \alpha_{m,k} \| \mathbf{h}_{m,k} \|$$

[0040] 其中： $\alpha_{m,k} \mathbf{h}_{m,k}$ 表示第 k 个协作基站到用户 m 的单小区信道， $\alpha_{m,k}$ 表示第 k 个协作基站到用户 m 的单小区信道的大尺度衰落因子， $\mathbf{h}_{m,k}$ 表示第 k 个协作基站到用户 m 的单小区信道的小尺度衰落信道， $\|A\|$ 表示 A 的模值， $k = 1, \dots, N_b$ ， N_b 表示协作基站个数。图 3 给出的是第 1 个协作基站和第 2 个协作基站到用户 m 的单小区信道示意图。

[0041] 步骤 3：按照单小区信道的信道模值 $\| \alpha_{m,k} \mathbf{h}_{m,k} \|$ 降序排列单小区信道的索引号；

[0042] 排列后的单小区信道的索引号表示为：

$$[0043] \quad \Omega = [k_1, \dots, k_{N_b}]$$

[0044] 其中： k_n 表示信道模值第 n 强的单小区信道的索引号，即

$$[0044] \quad \| \alpha_{m,k_1} \mathbf{h}_{m,k_1} \| \geq \dots \geq \| \alpha_{m,k_{N_b}} \mathbf{h}_{m,k_{N_b}} \|。$$

[0045] 步骤 4：为信道模值最强的单小区信道 $\alpha_{m,k_1} \mathbf{h}_{m,k_1}$ 选择码字，方法如下：

$$[0046] \quad \mathbf{v}_{m,k_1} = \mathbf{c}_{j_{m,k_1}}^{i_{m,k_1}} = \arg \max_{\mathbf{c}_j^i \in \mathcal{C}} |\bar{\mathbf{h}}_{m,k_1}^H \mathbf{c}_j^i|^2$$

[0047] 其中： \mathbf{v}_{m,k_1} 表示用户 m 为单小区信道 $\alpha_{m,k_1} \mathbf{h}_{m,k_1}$ 选择的码字， $\bar{\mathbf{h}}_{m,k_1} = \mathbf{h}_{m,k_1} / \|\mathbf{h}_{m,k_1}\|$ 表示该单小区信道的信道方向， $\|\mathbf{h}_{m,k_1}\|$ 表示 \mathbf{h}_{m,k_1} 的模值， \mathbf{c}_j^i 表示码本 c 中的任意一个码字， $\mathbf{c}_{j_{m,k_1}}^{i_{m,k_1}}$ 表示通过运算从码本中选择出来的码字，其在码本 c 中的 i-索引号和 j-索引号分别为 i_{m,k_1} 和 j_{m,k_1} ， A^H 表示 A 的共轭转置。从该公式中可以看出，为单小区信道 $\alpha_{m,k_1} \mathbf{h}_{m,k_1}$ 选择的码字是从码本 c 中挑选出来的。

[0048] 步骤 5：为单小区信道 $\alpha_{m,k_n} \mathbf{h}_{m,k_n}$ ($n \geq 2$)选择码字，该步骤具体分为两步：

[0049] (1)首先计算为 $\alpha_{m,k_n} \mathbf{h}_{m,k_n}$ 选择码字时所采用的码本。本发明约束该码本是码本 c 的一个子集，其构造方法如下：

$$[0050] \quad \mathcal{V}_{m,k_n} = \{\mathbf{c}_{j_{m,k_n}}^1, \mathbf{c}_{j_{m,k_n}}^2, \dots, \mathbf{c}_{j_{m,k_n}}^N\}$$

[0051] 其中： \mathcal{V}_{m,k_n} 表示用于 $\alpha_{m,k_n} \mathbf{h}_{m,k_n}$ 的码本， $\mathbf{c}_{j_{m,k_n}}^i$ ($i=1, \dots, N$)表示码本 c 中第 i 个正交码字集 \mathcal{U}^i 的第 j_{m,k_n} 个码字， j_{m,k_n} 的计算公式如下：

[0052]

$$j_{m,k_n} = \begin{cases} j_{m,k_1}, & |k_n - k_1| \text{ 为偶数} \\ (N_t + 1) - j_{m,k_1}, & |k_n - k_1| \text{ 为奇数} \end{cases}$$

[0053] 其中： j_{m,k_1} 表示用户 m 为单小区信道 $\alpha_{m,k_1} \mathbf{h}_{m,k_1}$ 选择的码字 \mathbf{v}_{m,k_1} 的 j-索引号， N_t 表示单基站发射天线数。图 4 给出该码本的一个例子。

[0054] (2)码本构造完成之后，为 $\alpha_{m,k_n} \mathbf{h}_{m,k_n}$ 选择码字，方法如下：

$$[0055] \quad \mathbf{v}_{m,k_n} = \mathbf{c}_{j_{m,k_n}}^{i_{m,k_n}} = \arg \max_{\mathbf{c}_j^i \in \mathcal{V}_{m,k_n}} |\bar{\mathbf{g}}_{m,k_n}^H \hat{\mathbf{w}}_{m,k_n}|^2$$

[0056] 其中： \mathbf{v}_{m,k_n} 表示用户 m 为单小区信道 $\alpha_{m,k_n} \mathbf{h}_{m,k_n}$ 选择的码字， $\bar{\mathbf{g}}_{m,k_n} = \mathbf{g}_{m,k_n} / \|\mathbf{g}_{m,k_n}\|$ 表示信道方向， $\mathbf{g}_{m,k_n} = [\alpha_{k_1} \mathbf{h}_{m,k_1}^H, \dots, \alpha_{k_n} \mathbf{h}_{m,k_n}^H]^H$ 表示基站 $k_1 \sim$ 基站 k_n 到用户 m 的信道， $\hat{\mathbf{w}}_{m,k_n} = [\mathbf{v}_{m,k_1}^H, \dots, \mathbf{v}_{m,k_{n-1}}^H, (\mathbf{c}_{j_{m,k_n}}^i)^H]^H$ ， $\mathbf{c}_{j_{m,k_n}}^i$ 表示 \mathcal{V}_{m,k_n} 中的任意一个码字， \mathcal{V}_{m,k_n} 通过上一步骤得到， $\mathbf{c}_{j_{m,k_n}}^{i_{m,k_n}}$ 表示通过运算选择出来的码字，其在码本 c 中的 i-索引号和 j-索引号分别为 i_{m,k_n} 和 j_{m,k_n} ， A^H 表示 A 的共轭转置。

[0057] 步骤 6：设 $n = n+1$ ，如果 $n \leq N_b$ ，重复步骤 5；如果 $n > N_b$ ，则码字选择结束。

[0058] 用户选择好码字之后，其波束成形矢量的计算方法如下：

$$[0059] \quad \mathbf{w}_m = [\mathbf{v}_{m,1}^H, \mathbf{v}_{m,2}^H, \dots, \mathbf{v}_{m,N_b}^H]^H$$

[0060] 其中： \mathbf{w}_m 表示用户 m 的波束成形矢量， $\mathbf{v}_{m,1}, \mathbf{v}_{m,2}, \dots, \mathbf{v}_{m,N_b}$ 表示用户 m 通过步骤 1~ 步骤 6 选择出来的码字， A^H 表示 A 的共轭转置。

[0061] 本发明是一种信道质量估计方法，基于上述的具有码字约束的码字选择方法，用户选择好码字之后，需要根据所选码字估计信道质量指示 CQI。仍以服务的第 m ($m = 1, \dots, M$) 个用户为例，通过上面的码字选择步骤，用户 m 选择的码字为 $\mathbf{v}_{m,1}, \mathbf{v}_{m,2}, \dots, \mathbf{v}_{m,N_b}$ ，则该用户的 CQI 估计方法，流程如图 5 如下：

[0062] 步骤 1：估计与用户 m 一起调度的其他调度用户所选码字的 i-索引号，计算方法

如下：

[0063] $i_{n,k} = i_{m,k}, k = 1, 2, \dots, N_b$

[0064] 其中： $i_{n,k}$ 表示其他调度用户为第k个协作基站所选码字的i-索引号， $i_{m,k}$ 表示用户m为第k个协作基站所选码字的i-索引号， N_b 表示协作基站数。

[0065] 步骤2：估计与用户m一起调度的其他调度用户所选码字的j-索引号，计算方法如下：

[0066] $j_{n,1} \in \{1 \leq j \leq N_t \mid j \neq j_{m,1}\}$

[0067] $j_{n,k} = (N_t + 1) - j_{n,k-1}, k \geq 2$

[0068] 其中： $j_{n,k}$ 表示其他调度用户为第k个协作基站所选码字的j-索引号， $j_{m,k}$ 表示用户m为第k个协作基站所选码字的j-索引号， N_t 表示单基站发射天线数。根据上式， $j_{n,1}$ 有 $N_t - 1$ 种可能的取值，所以可以计算出 $N_t - 1$ 种 $\{j_{n,1}, j_{n,2}, \dots, j_{n,N_b}\}$ ，将第1种可能的 $\{j_{n,1}, j_{n,2}, \dots, j_{n,N_b}\}$ 表示为 $\{j_{n,1}^{(l)}, j_{n,2}^{(l)}, \dots, j_{n,N_b}^{(l)}\}$ 。

[0069] 步骤3：根据i-索引号和j-索引号，估计其他调度用户的波束成形矢量；

[0070] 根据步骤1和步骤2计算的其他调度用户所选码字的i-索引号和j-索引号，从码本中得到这些码字并利用码字计算这些用户的波束成形矢量，计算方法如下：

$$[0071] \quad \mathcal{W} = \left\{ \mathbf{w}_{n_l} \mid \mathbf{w}_{n_l} = \left[\left(\mathbf{c}_{j_{n,1}^{(l)}}^{i_{n,1}} \right)^H, \left(\mathbf{c}_{j_{n,2}^{(l)}}^{i_{n,2}} \right)^H, \dots, \left(\mathbf{c}_{j_{n,N_b}^{(l)}}^{i_{n,N_b}} \right)^H \right]^H, l = 1, \dots, N_t - 1 \right\}$$

[0072] 其中： $\mathbf{c}_{j_{n,k}^{(l)}}^{i_{n,k}}$ 表示表示码本c中第 $i_{n,k}$ 个正交码字集 $\mathcal{U}^{i_{n,k}}$ 的第 $j_{n,k}^{(l)}$ 个码字， $k = 1, 2, \dots, N_b$ ， $i_{n,k}$ 和 $j_{n,k}^{(l)}$ 分别通过步骤1和步骤2得到， \mathbf{w}_{n_l} 表示第1种可能的其他调度用户的波束成形矢量， \mathcal{W} 是 \mathbf{w}_{n_l} 的集合，其表示所有可能的其他调度用户的波束成形矢量， A^H 表示A的共轭转置。

[0073] 步骤4：获取用户m的信号下行传输时所受到的多用户干扰，按照如下公式计算：

$$[0074] \quad \hat{I}_{\text{MU},m} = \frac{P}{N_t} \sum_{l=1}^{N_t-1} |\mathbf{g}_m^H \mathbf{w}_{n_l}|^2$$

[0075] 其中： $\hat{I}_{\text{MU},m}$ 表示多用户干扰，P表示协作簇的总发射功率， N_t 表示单基站发射天线数， $\mathbf{g}_m = [\alpha_{m,1} \mathbf{h}_{m,1}^H, \dots, \alpha_{m,N_b} \mathbf{h}_{m,N_b}^H]^H$ 表示用户m的下行信道， $\alpha_{m,k} \mathbf{h}_{m,k}$ 表示第k个协作基站到用户m的单小区信道， N_b 表示协作基站个数， \mathbf{w}_{n_l} 在步骤3中计算得到。

[0076] 步骤5：获取用户m的CQI，按照如下公式计算：

$$[0077] \quad \text{CQI}_m = \frac{\frac{P}{N_t} |\mathbf{g}_m^H \mathbf{w}_m|^2}{\hat{I}_{\text{MU},m} + \sigma_m^2}$$

[0078] 其中： CQI_m 表示用户m估计的信道质量信息，P表示协作簇的总发射功率， N_t 表示单基站发射天线数， $\mathbf{g}_m = [\alpha_{m,1} \mathbf{h}_{m,1}^H, \dots, \alpha_{m,N_b} \mathbf{h}_{m,N_b}^H]^H$ 表示用户m的下行信道， $\alpha_{m,k} \mathbf{h}_{m,k}$ 表示第k个协作基站到用户m的单小区信道， \mathbf{w}_m 表示用户m的波束成形矢量，通过上述一种具有码字约束的码字选择方法得到， $\hat{I}_{\text{MU},m}$ 表示通过步骤4计算得到的多用户干扰， σ_m^2 表示用户接收信号中的加性噪声和簇外干扰的功率。

[0079] 用户将所选码字在码本中的索引号以及 CQI 反馈给基站, 基站端利用反馈信息进行多用户调度、波束成形等一系列处理。其中多用户调度算法参考文献“Di Su, Lei Hou, and Chenyang Yang, “Limited feedback orthogonal beamforming in coordinated multi-point systems,” in Proc. IEEE Personal, Indoor and Mobile Radio Commun. (PIMRC), 2012.”, 基站确定调度用户之后, 为每个调度用户计算的波束成形, 计算方法如本发明一种具有码字约束的码字选择方法。

[0080] 本发明为基于正交波束成形的 CoMP-JP 系统设计一种新型的码字选择方法, 通过在码字选择过程中引入码字约束, 来为信道质量指示(Channel Quality Indicator, CQI) 的估计提供先验信息, 达到了提高 CQI 估计准确性的技术效果; 并且本发明根据提出的码字选择方法, 给出了一种基于该码字选择方法的 CQI 估计方法。将本发明提出的码字选择方法和 CQI 估计方法应用于基于正交波束成形的 CoMP-JP 系统中, 可以显著提高该系统的吞吐量。

[0081] 实施例:

[0082] 通过 matlab 软件平台仿真本发明的性能。仿真参数设置主要基于“3GPP TR36.814 V9.0.0, “Further Advancements for E-UTRA Physical Layer Aspects (Release 9),” 3rd Generation Partnership Project, 2010.”考虑 2 个基站协作, 即 $N_b = 2$; 每个基站有 4 根发射天线, 即 $N_t = 4$; 用户随机散布在小区边缘, 用户位置满足 $\alpha_{\text{local}}^2 / \alpha_{\text{cross}}^2 \leq 3 \text{ dB}$; 单基站最大发射功率为 46dBm; 路径损耗模型为 $35.3 + 37.6 \log_{10} d$, d 表示用户到基站的距离; 小尺度信道建模为统计独立同分布的瑞利衰落信道; 小区半径为 250m; 热噪声方差为 -95dBm; 码本为文献“K. Zyczkowski and M. Kus, “Random unitary matrices,” J. Phys. A, Math. Gen., vol. 27, no. 12, pp. 4235 - 4245, Jun. 1994.”介绍的随机正交码本, 码本大小为 4bits。在上述条件下, 本发明提出的码字选择方法和 CQI 估计方法的具体为:

[0083] 本发明的一种具有码字约束的码字选择方法, 包括以下几个步骤:

[0084] 步骤 1: 将码本调整成如下结构:

$$[0085] \quad \mathcal{C} = \{ \mathcal{U}^i \mid \mathcal{U}^i = \{ \mathbf{c}_{1,i}^i, \dots, \mathbf{c}_{j,i}^i, \dots, \mathbf{c}_{N_t,i}^i \}, i = 1, \dots, N \}$$

[0086] 其中: \mathcal{C} 表示码本, \mathcal{U}^i 表示码本 \mathcal{C} 中第 i 个正交码字集合, 码本中一共有 N 个正交码字集合, 每个 \mathcal{U}^i 中有 N_t 个相互正交的码字, N_t 表示发射天线数, $\mathbf{c}_{j,i}^i \in \mathbb{C}^{N_t \times 1}$ 表示 \mathcal{U}^i 中的第 j 个码字, i 和 j 联合表示了 $\mathbf{c}_{j,i}^i$ 在码本中的索引号, 因此被分别称为 i -索引号和 j -索引号。

[0087] 步骤 2: 按照如下公式, 计算每个协作基站到用户 m 的单小区信道的信道模值。

$$[0088] \quad || \alpha_{m,k} h_{m,k} || = \alpha_{m,k} || h_{m,k} ||, k = 1, \dots, N_b$$

[0089] 其中: $\alpha_{m,k} h_{m,k}$ 表示第 k 个协作基站到用户 m 的单小区信道, $\alpha_{m,k}$ 表示第 k 个协作基站到用户 m 的单小区信道的大尺度衰落因子, $h_{m,k}$ 表示第 k 个协作基站到用户 m 的单小区信道的小尺度衰落信道, $||A||$ 表示 A 的模值, N_b 表示协作基站个数, $N_b = 2$ 。

[0090] 步骤 3: 按照单小区信道的信道模值 $|| \alpha_{m,k} h_{m,k} ||$ 降序排列单小区信道的索引号, 排列后的单小区信道的索引号表示为:

$$[0091] \quad \Omega = [k_1, k_2]$$

[0092] 其中: k_1 表示两个单小区信道中模值较强的信道索引号, 而 k_2 表示两个单小区信道中模值较弱的信道索引号。

[0093] 步骤 4:为信道模值最强的单小区信道 $\alpha_{m,k_1} \mathbf{h}_{m,k_1}$ 选择码字,方法如下:

$$[0094] \quad \mathbf{v}_{m,k_1} = \mathbf{c}_{j_{m,k_1}}^{i_{m,k_1}} = \arg \max_{\mathbf{c}_j^i \in \mathcal{C}} |\overline{\mathbf{h}}_{m,k_1}^H \mathbf{c}_j^i|^2$$

[0095] 其中: \mathbf{v}_{m,k_1} 表示用户 m 为单小区信道 $\alpha_{m,k_1} \mathbf{h}_{m,k_1}$ 选择的码字, $\overline{\mathbf{h}}_{m,k_1} = \mathbf{h}_{m,k_1} / \|\mathbf{h}_{m,k_1}\|$ 表示该单小区信道的信道方向, $\|\mathbf{h}_{m,k_1}\|$ 表示 \mathbf{h}_{m,k_1} 的模值, \mathbf{c}_j^i 表示码本 c 中的任意一个码字, $\mathbf{c}_{j_{m,k_1}}^{i_{m,k_1}}$ 表示通过运算从码本中选择出来的码字,其在码本 c 中的 i-索引号和 j-索引号分别为 i_{m,k_1} 和 j_{m,k_1} , A^H 表示 A 的共轭转置。从该公式中可以看出,为单小区信道 $\alpha_{m,k_1} \mathbf{h}_{m,k_1}$ 选择的码字是从码本 c 中挑选出来的。

[0096] 步骤 5:为单小区信道 $\alpha_{m,k_2} \mathbf{h}_{m,k_2}$ 选择码字,该步骤具体分为两步:

[0097] (1)首先计算为 $\alpha_{m,k_2} \mathbf{h}_{m,k_2}$ 选择码字时所采用的码本。本发明约束该码本是码本 c 的一个子集,其构造方法如下:

$$[0098] \quad \mathcal{V}_{m,k_2} = \{\mathbf{c}_{j_{m,k_2}}^1, \mathbf{c}_{j_{m,k_2}}^2, \dots, \mathbf{c}_{j_{m,k_2}}^N\}$$

[0099] 其中 \mathcal{V}_{m,k_2} 表示用于 $\alpha_{m,k_2} \mathbf{h}_{m,k_2}$ 的码本, $\mathbf{c}_{j_{m,k_2}}^i$ ($i=1, \dots, N$)表示码本 c 中第 i 个正交码字集 \mathcal{U}_i 的第 j_{m,k_2} 个码字, j_{m,k_2} 的计算公式如下:

$$[0100] \quad j_{m,k_2} = 5 - j_{m,k_1}$$

[0101] 其中 j_{m,k_1} 表示用户 m 为单小区信道 $\alpha_{m,k_1} \mathbf{h}_{m,k_1}$ 选择的码字 \mathbf{v}_{m,k_1} 的 j-索引号。

[0102] (2)码本构造完成之后,为 $\alpha_{m,k_2} \mathbf{h}_{m,k_2}$ 选择码字,方法如下:

$$[0103] \quad \mathbf{v}_{m,k_2} = \mathbf{c}_{j_{m,k_2}}^{i_{m,k_2}} = \arg \max_{\mathbf{c}_j^i \in \mathcal{V}_{m,k_2}} |\overline{\mathbf{g}}_{m,k_2}^H \hat{\mathbf{w}}_{m,k_2}|^2$$

[0104] 其中: \mathbf{v}_{m,k_2} 表示用户 m 为单小区信道 $\alpha_{m,k_2} \mathbf{h}_{m,k_2}$ 选择的码字, $\overline{\mathbf{g}}_{m,k_2} = \mathbf{g}_{m,k_2} / \|\mathbf{g}_{m,k_2}\|$ 表示信道方向, $\mathbf{g}_{m,k_n} = [\alpha_{k_1} \mathbf{h}_{m,k_1}^H, \alpha_{k_2} \mathbf{h}_{m,k_2}^H]^H$ 表示基站 k_1 和基站 k_2 到用户 m 的信道, $\hat{\mathbf{w}}_{m,k_2} = [\mathbf{v}_{m,k_1}, (\mathbf{c}_{j_{m,k_2}}^i)^H]^H$, $\mathbf{c}_{j_{m,k_2}}^i$ 表示 \mathcal{V}_{m,k_2} 中的任意一个码字, \mathcal{V}_{m,k_2} 通过上一步骤得到, $\mathbf{c}_{j_{m,k_2}}^{i_{m,k_2}}$ 表示通过运算选择出来的码字,其在码本 c 中的 i-索引号和 j-索引号分别为 i_{m,k_2} 和 j_{m,k_2} , A^H 表示 A 的共轭转置。

[0105] 用户选择好码字之后,其波束成形矢量的计算方法如下:

$$[0106] \quad \mathbf{w}_m = [\mathbf{v}_{m,1}^H, \mathbf{v}_{m,2}^H]^H$$

[0107] 其中 \mathbf{w}_m 表示用户 m 的波束成形矢量, $\mathbf{v}_{m,1}^H, \mathbf{v}_{m,2}^H$ 表示用户 m 通过步骤 1~步骤 5 选择出来的码字, A^H 表示 A 的共轭转置。

[0108] 本发明是一种信道质量估计方法,包括以下几个步骤:

[0109] 用户选择好码字之后,需要根据所选码字估计信道质量指示 CQI。仍以服务的第 m ($m=1, \dots, M$) 个用户为例,通过上面的码字选择步骤,用户 m 选择的码字为 $\mathbf{v}_{m,1}, \mathbf{v}_{m,2}, \dots, \mathbf{v}_{m,N_b}$,则该用户的 CQI 估计方法如下:

[0110] 步骤 1:估计与用户 m 一起调度的其他调度用户所选码字的 i-索引号,计算方法如下:

$$[0111] \quad i_{n,k} = i_{m,k}, k = 1, 2, \dots, N_b$$

[0112] 其中: $i_{n,k}$ 表示其他调度用户为第 k 个协作基站所选码字的 i-索引号, $i_{m,k}$ 表示用

户 m 为第 k 个协作基站所选码字的 i -索引号, N_b 表示协作基站数。

[0113] 步骤 2: 估计与用户 m 一起调度的其他调度用户所选码字的 j -索引号, 计算方法如下:

$$[0114] \quad j_{n,1} \in \{1 \leq j \leq N_t \mid j \neq j_{m,1}\}$$

$$[0115] \quad j_{n,2} = (N_t + 1) - j_{n,1}$$

[0116] 其中: $j_{n,k}$ 表示其他调度用户为第 k 个协作基站所选码字的 j -索引号, $j_{m,k}$ 表示用户 m 为第 k 个协作基站所选码字的 j -索引号, N_t 表示单基站发射天线数, $N_t = 4$ 。根据上式, $j_{n,1}$ 有 $N_t - 1$ 种可能的取值, 所以可以计算出 $N_t - 1$ 种 $\{j_{n,1}, j_{n,2}\}$, 将第 1 种可能的 $\{j_{n,1}, j_{n,2}\}$ 表示为 $\{j_{n,1}^{(1)}, j_{n,2}^{(1)}\}$ 。

[0117] 步骤 3: 根据步骤 1 和步骤 2 计算的其他调度用户所选码字的 i -索引号和 j -索引号, 从码本中得到这些码字并利用码字计算这些用户的波束成形矢量, 计算方法如下:

$$[0118] \quad \mathcal{W} = \left\{ \mathbf{w}_{n_l} \mid \mathbf{w}_{n_l} = \left[\left(\mathbf{c}_{j_{n,1}^{(l)}}^{i_{n,1}} \right)^H, \left(\mathbf{c}_{j_{n,2}^{(l)}}^{i_{n,2}} \right)^H \right]^H, l = 1, \dots, N_t - 1 \right\}$$

[0119] 其中: $\mathbf{c}_{j_{n,1}^{(l)}}^{i_{n,1}}$ 表示表示码本 c 中第 $i_{n,1}$ 个正交码字集 $\mathcal{U}^{i_{n,1}}$ 的第 $j_{n,1}^{(l)}$ 个码字, $\mathbf{c}_{j_{n,2}^{(l)}}^{i_{n,2}}$ 表示表示码本 c 中第 $i_{n,2}$ 个正交码字集 $\mathcal{U}^{i_{n,2}}$ 的第 $j_{n,2}^{(l)}$ 个码字, $i_{n,1}$ 和 $i_{n,2}$ 通过步骤 1 得到, $j_{n,1}^{(l)}$ 和 $j_{n,2}^{(l)}$ 通过步骤 2 得到, \mathbf{w}_{n_l} 表示第 l 种可能的其他调度用户的波束成形矢量, \mathcal{W} 是 \mathbf{w}_{n_l} 的集合, 其表示所有可能的其他调度用户的波束成形矢量, A^H 表示 A 的共轭转置。

[0120] 步骤 4: 计算用户 m 的信号下行传输时所受到的多用户干扰, 按照如下公式计算:

$$[0121] \quad \hat{I}_{MU,m} = \frac{P}{N_t} \sum_{l=1}^{N_t-1} |\mathbf{g}_m^H \mathbf{w}_{n_l}|^2$$

[0122] 其中: $\hat{I}_{MU,m}$ 表示多用户干扰, P 表示协作簇的总发射功率, N_t 表示单基站发射天线数, $\mathbf{g}_m = [\alpha_{m,1} \mathbf{h}_{m,1}^H, \dots, \alpha_{m,N_b} \mathbf{h}_{m,N_b}^H]^H$ 表示用户 m 的下行信道, $\alpha_{m,k} \mathbf{h}_{m,k}$ 表示第 k 个协作基站到用户 m 的单小区信道, N_b 表示协作基站个数, \mathbf{w}_{n_l} 在步骤 3 中计算得到。

[0123] 步骤 5: 计算用户 m 的 CQI, 按照如下公式计算:

$$[0124] \quad \text{CQI}_m = \frac{\frac{P}{N_t} |\mathbf{g}_m^H \mathbf{w}_m|^2}{\hat{I}_{MU,m} + \sigma_m^2}$$

[0125] 其中: CQI_m 表示用户 m 估计的信道质量信息, P 表示协作簇的总发射功率, N_t 表示单基站发射天线数, $\mathbf{g}_m = [\alpha_{m,1} \mathbf{h}_{m,1}^H, \dots, \alpha_{m,N_b} \mathbf{h}_{m,N_b}^H]^H$ 表示用户 m 的下行信道, $\alpha_{m,k} \mathbf{h}_{m,k}$ 表示第 k 个协作基站到用户 m 的单小区信道, \mathbf{w}_m 表示用户 m 的波束成形矢量, 通过上述(一)中具有码字约束的码字选择步骤得到, $\hat{I}_{MU,m}$ 表示通过步骤 4 计算得到的多用户干扰, σ_m^2 表示用户接收信号中的加性噪声和簇外干扰的功率。

[0126] 用户将所选码字在码本中的索引号以及 CQI 反馈给基站, 基站端利用反馈信息进行多用户调度、波束成形等一系列处理。其中多用户调度算法参考文献“Di Su, Lei Hou, and Chenyang Yang, “Limited feedback orthogonal beamforming in coordinated multi-point systems,” in Proc. IEEE Personal, Indoor and Mobile Radio Commun. (PIMRC), 2012.”。基站确定调度用户之后, 为每个调度用户计算的波束成形, 计算

方法如本发明一种具有码字约束的码字选择方法。

[0127] 对于基于正交波束成形的隐反馈 CoMP-JP 系统,比较了采用本发明的方法或者采用传统的方法时多小区系统的性能,如图 6、图 7、图 8、图 9 所示。图 6 比较了采用本发明的方法或者采用传统的联合码字选择方法时的平均调度用户数,从图 6 中可以看出,当小区内的用户数比较少时,本发明的码字选择方法有利于提高平均调度用户数。通过图 7 和图 8,可以看出本发明的方法既有利于降低 CQI 估计误差的均值,又有利于降低 CQI 估计误差的方差,总之,本发明提高了 CQI 估计的准确性,当小区内的用户数比较多、可以保证调度用户数为最大调度用户数时(≥ 50 个用户 / 小区),CQI 估计误差为零,即这种情况下 CQI 估计完全准确的。图 9 中,“ORBF CoMP”表示基于正交波束成形的隐反馈 CoMP-JP 系统,“ZFBF CoMP”表示采用迫零预编码的显反馈 CoMP-JP 系统,“PU2RC nonCoMP”表示不协作通信系统中的每用户酉速率控制方案,从图 9 中可以看出,将本发明的方法用于基于正交波束成形的隐反馈 CoMP-JP 系统中,不仅可以明显提高该系统的和数据率,同时,应用本发明的基于正交波束成形的隐反馈 CoMP-JP 系统比其他有限反馈方案的系统和数据率都高。

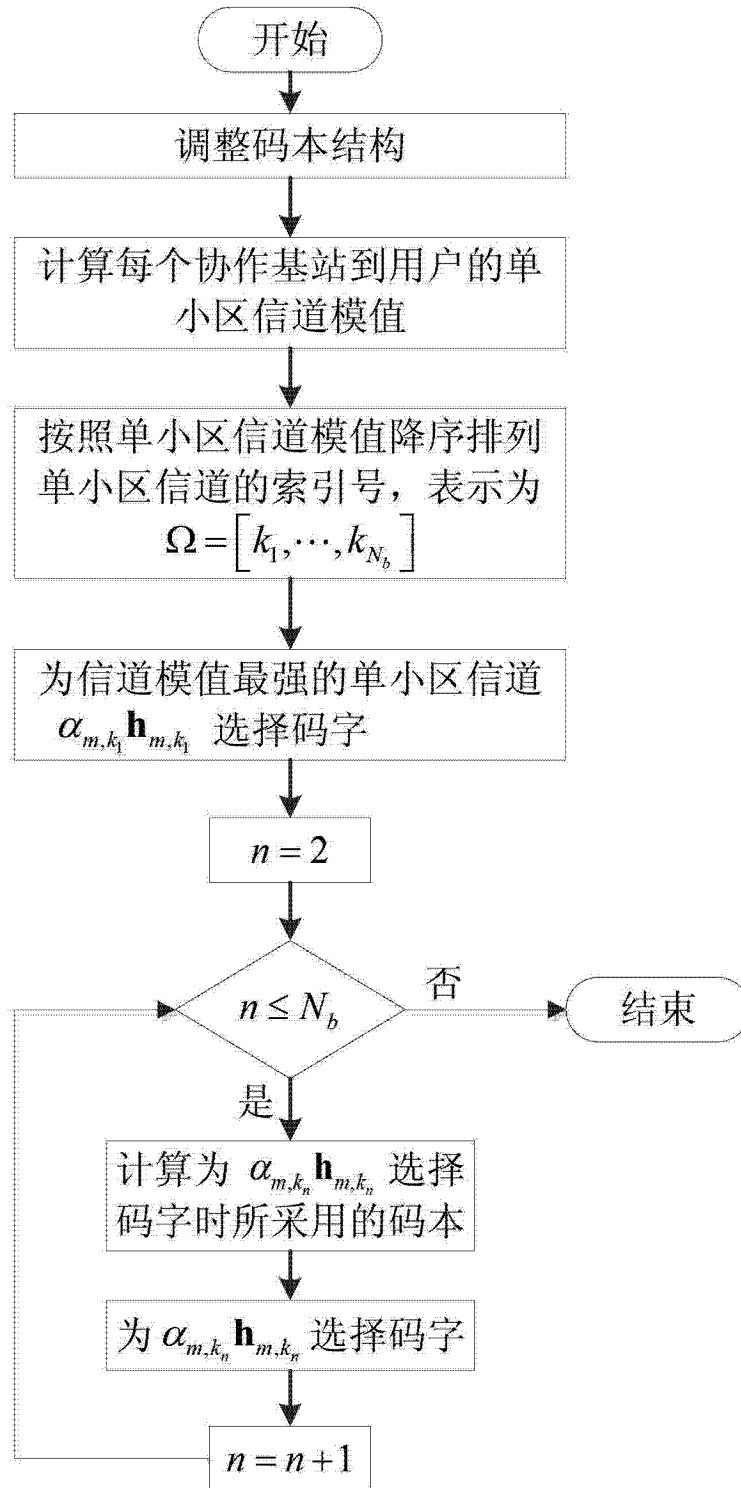


图 1

$$\underbrace{\left\{ \mathbf{c}_1^1, \mathbf{c}_2^1, \dots, \mathbf{c}_{N_t}^1 \right\}, \dots, \left\{ \mathbf{c}_1^i, \mathbf{c}_2^i, \dots, \mathbf{c}_{N_t}^i \right\}, \dots, \left\{ \mathbf{c}_1^N, \mathbf{c}_2^N, \dots, \mathbf{c}_{N_t}^N \right\}}_{\text{码本 } \mathcal{C}}$$

图 2

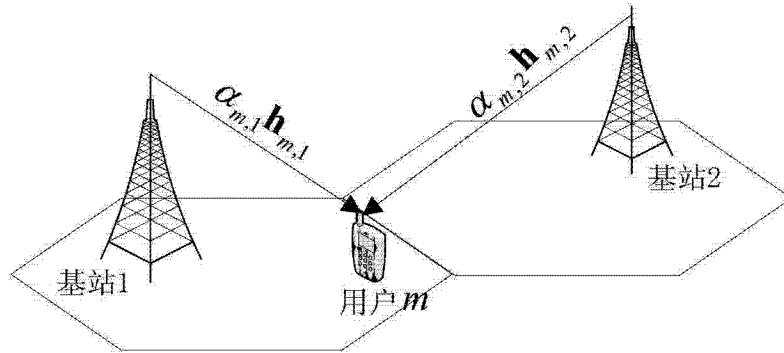


图 3

$$\underbrace{\left\{ \mathbf{c}_1^1, \mathbf{c}_2^1, \dots, \mathbf{c}_{N_t}^1 \right\}, \dots, \left\{ \mathbf{c}_1^i, \mathbf{c}_2^i, \dots, \mathbf{c}_{N_t}^i \right\}, \dots, \left\{ \mathbf{c}_1^N, \mathbf{c}_2^N, \dots, \mathbf{c}_{N_t}^N \right\}}_{\text{码本 } \mathcal{C}}$$

码本子集 $\mathcal{V}_{m,k}$

图 4

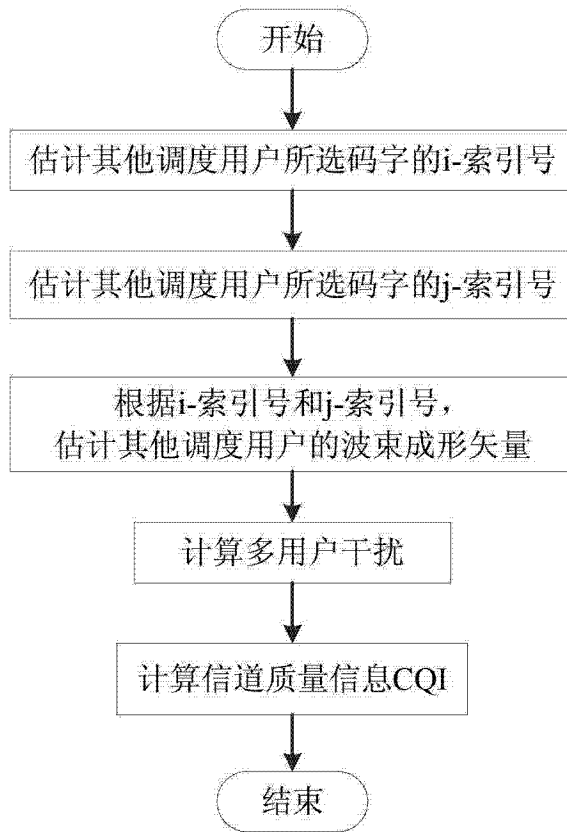


图 5

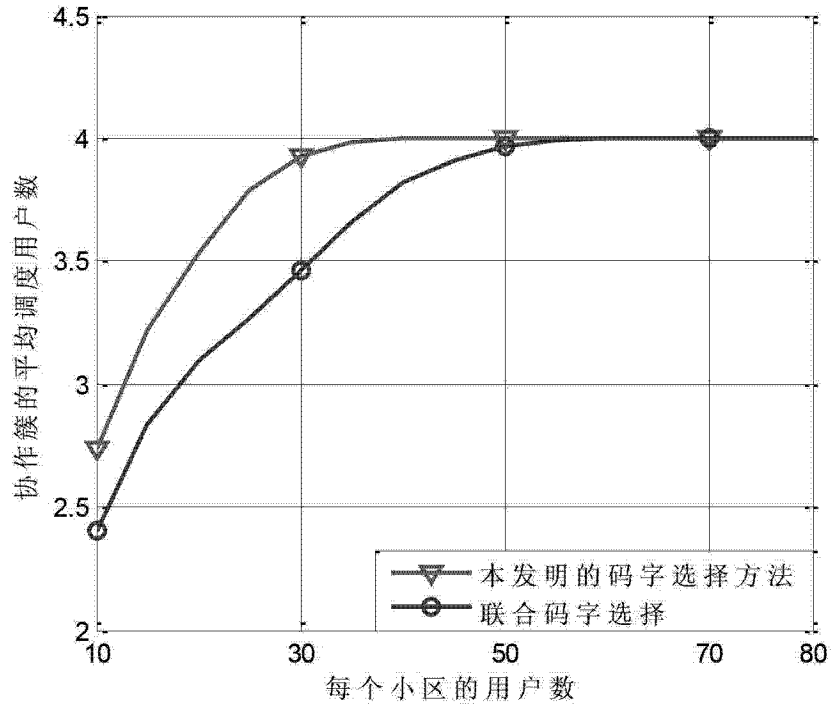


图 6

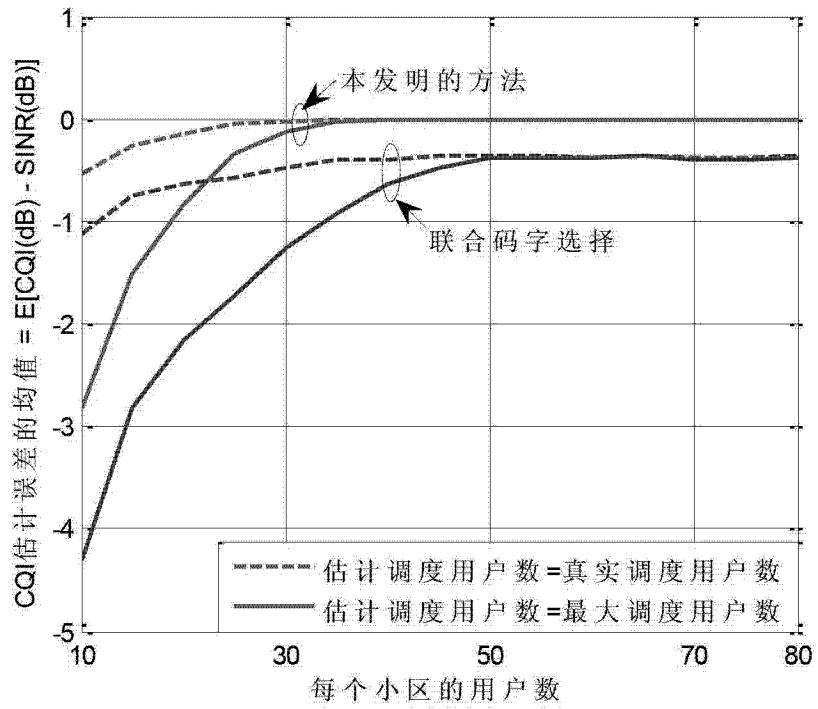


图 7

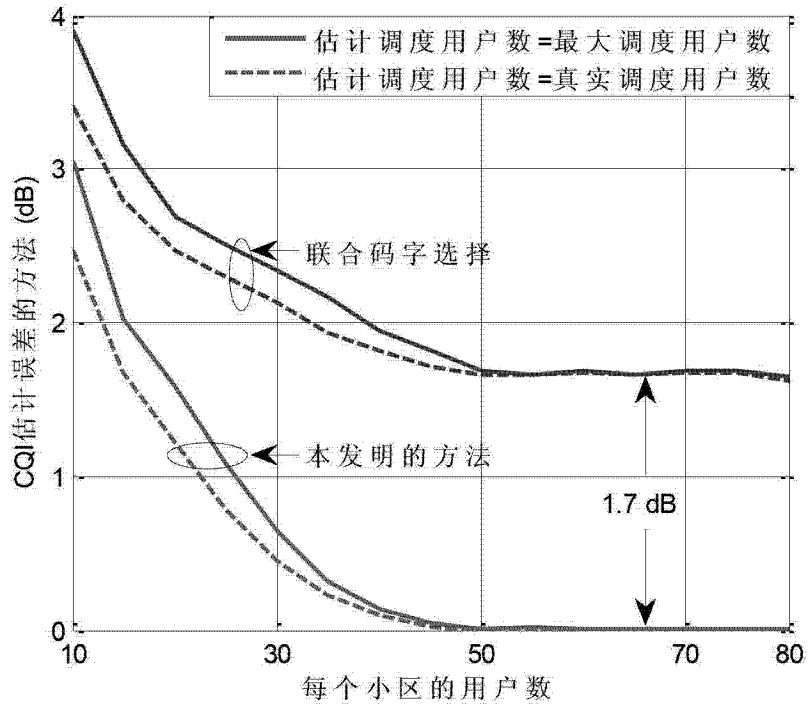


图 8

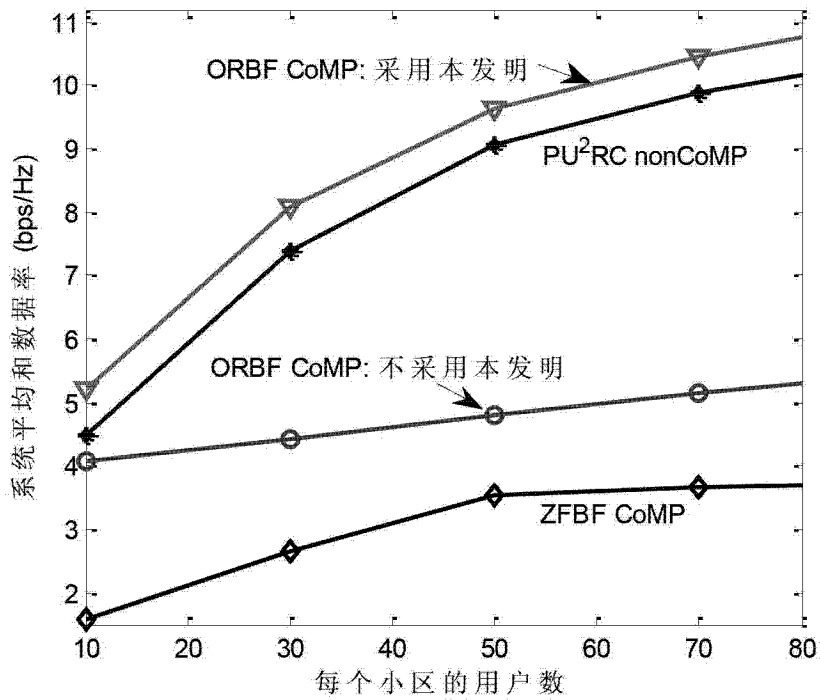


图 9