



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103354485 A

(43) 申请公布日 2013. 10. 16

(21) 申请号 201310299525. 5

(22) 申请日 2013. 07. 16

(71) 申请人 无锡交大联云科技有限公司

地址 214028 江苏省无锡市新区传感网大学
科技园清源路立业楼 C 区 210

(72) 发明人 唐海龙 苗萌 罗汉文 韦祥云

(74) 专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限
公司 32200

代理人 朱小兵

(51) Int. Cl.

H04L 1/00 (2006. 01)

H04B 7/04 (2006. 01)

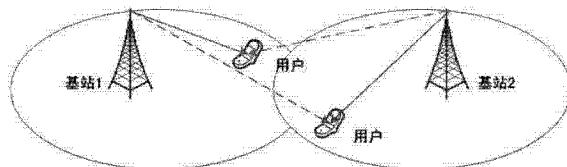
权利要求书5页 说明书10页 附图1页

(54) 发明名称

一种 MISO 干扰广播系统中基于功率分配的
自适应反馈方法

(57) 摘要

本发明公开了一种 MISO 干扰广播系统中基
于功率分配的自适应反馈方法，提出了一种在
MISO 干扰广播系统中基于功率分配的联合自适
应有限反馈思想，给出了一种低复杂度的功率分
配方案，分析了由于量化误差而引起的速率损耗，
在此基础上提出了一种自适应功率以及反馈比特
的联合分配方案。本发明在不增加系统内反馈开
销的基础上，通过用户自适应的反馈信道状态信
息，最终有效提高系统的吞吐量，用户自适应有限
比特反馈算法复杂度较低。



1. 一种 MISO 干扰广播系统中基于功率分配的自适应反馈方法, 其特征在于, 具体步骤如下:

步骤一: 在 MISO 干扰广播系统中设置初始参数, 包括系统码本、反馈比特数、各用户服务信道和干扰信道的反馈比特数的优化问题闭式解; 所述 MISO 干扰广播系统中, 基站的发射天线数为 M , 用户为单天线, 基站的总发射功率为 P , 基站和用户具有相同的码本 $C = \{c_1, c_2 \dots, c_{2^B}\}$, 其中 B 是最大反馈比特数, 各码本内的码字为 $1 \times M$ 型矩阵, 基站之间采用不同的码本;

步骤二: 用户端进行信道估计, 得到信道状态信息; 用户端获得主基站的信道状态信息为 $h_{k,i}$, k 表示的是用户的序号, i 表示的是服务用户 k 的主基站, 干扰基站的信道状态信息为 $z_{k,\tilde{i}}$, \tilde{i} 表示的是服务用户 k 的干扰基站, 所述 $h_{k,i}$ 和 $z_{k,\tilde{i}}$ 为 $M \times 1$ 矩阵; 用户分别向主基站和干扰基站反馈信道方向信息和信道质量信息;

步骤三: 用户接入 MISO 干扰广播系统后根据自身的信道增益和信道状态信息, 自适应的分配功率和选择反馈比特数 B_k ,

$$\text{主基站对用户 } k \text{ 的发射功率 } P_{k,i} = \frac{\|h_{k,i}\|}{\sum_k \|h_{k,i}\|} P,$$

$$\text{干扰基站对用户 } k \text{ 的发射功率 } P_{k,\tilde{i}} = \frac{\|z_{k,\tilde{i}}\|}{\sum_k \|z_{k,\tilde{i}}\|} P,$$

其中, $\|h_{k,i}\|$ 和 $\|z_{k,\tilde{i}}\|$ 分别表示的是系统服务信道的平均增益和干扰信道的平均增益;

步骤四: 用户按照码字匹配准则, 在系统码本的前 2^{B_k} 个码字中搜索最匹配的码字, 并将码字序号反馈给基站;

$$\text{用户的服务信道方向信息为 } \tilde{h}_{k,i} = h_{k,i} / \|h_{k,i}\|,$$

$$\text{干扰信道方向信息为 } \tilde{z}_{k,\tilde{i}} = z_{k,\tilde{i}} / \|z_{k,\tilde{i}}\|,$$

各基站信道的信道方向信息均采用随机向量量化, 信道之间采用不同的随机向量量化码本, 主基站为 $C_s = \{c_{s,1}, c_{s,2} \dots, c_{s,2^{B_i}}\}$, C_s 表示的是主基站采用的码本, B_i 表示的是服务信道所需要的反馈比特数; 干扰基站为 $C_t = \{c_{t,1}, c_{t,2} \dots, c_{t,2^{B_i}}\}$, C_t 表示的是干扰基站采用的码本, B_i 表示的是干扰信道所需要的反馈比特数; 采用最小距离准则选取最匹配的量化码字, 主基站和干扰基站的量化码字分别为

$$n_i = \arg \max_{1 \leq m \leq 2^{B_i}} |c_{s,m}^H \tilde{h}_{k,i}|, \quad n_{\tilde{i}} = \arg \max_{1 \leq l \leq 2^{B_i}} |c_{t,l}^H \tilde{z}_{k,\tilde{i}}| \quad (1)$$

并将该码字序号反馈给基站; 其中, m 表示的是码本 C_s 中码字的序列号, l 表示的是码

本 C_i 中码字的序列号, H 表示的矩阵的共轭转置;

步骤五: 基站得到用户反馈的码字序号后, 在自身的码本中重建出信道状态信息, 重建所得到的量化信道方向信息为 $\hat{h}_{k,i}$ ($k=\{1, 2, \dots, K_i\}$) 和 $\hat{z}_{L,i}$ ($L=\{1, 2, \dots, K_i\}$), 其中, K_i 表示的主基站服务的用户总数目, L 表示的是干扰基站所服务的用户的序列号, K_i 表示的干扰基站服务的用户总数目;

将重建所得的信道方向信息与实际信道方向信息之间的误差表述为:

$$\sin^2 \theta_k = \sin^2(\angle(\tilde{h}_{k,i}, \hat{h}_{k,i})) \quad (2)$$

其中 θ_k 表示的是量化信道方向信息与实际信道方向信息的夹角;

步骤六: 基站根据信道质量信息和信道方向信息进行功率分配和预编码矩阵设计, 并发射数据给用户端。

2. 如权利要求1所述的一种MISO干扰广播系统中基于功率分配的自适应反馈方法, 其特征在于, 所述步骤六中, 预编码矩阵设计的具体方法如下:

令 $H_s = [(\hat{h}_{1,i})^T, (\hat{h}_{2,i})^T \cdots (\hat{h}_{K_i,i})^T]^T$, H_s 表示的是信道矩阵, T 表示的矩阵的转置; 则预编码矩阵为:

$$W_s = H_s^* (H_s H_s^*)^{-1} \quad (3)$$

其中, * 表示伴随矩阵;

采用协作迫零波束成形方案来同时消除 MISO 干扰广播信道中用户和小区间的干扰, 每个基站根据它的服务信道与干扰信道的量化信道方向信息设计波束成形向量; 具体如下:

用户 (k, i) 的波束成形向量为 $w_{k,i}$, 消除用户间干扰和小区间干扰, 即

$$\begin{bmatrix} \hat{H}_{k,i} \\ \hat{Z}_i \end{bmatrix}_{(K_i+K_i-1) \times M} w_{k,i} = 0 \quad (4)$$

其中 $\hat{H}_{k,i}$ 表示小区内的用户到用户 (k, i) 的信道,

$$\hat{H}_{k,i} = [\hat{h}_{1,i}, \dots, \hat{h}_{k-1,i}, \hat{h}_{k+1,i}, \dots, \hat{h}_{K_i,i}]^H;$$

\hat{Z}_i 表示干扰小区中的用户对用户 (k, i) 的信道, $\hat{Z}_i = [\hat{z}_{1,i}, \dots, \hat{z}_{K_i,i}]^H$ 。

3. 如权利要求1所述的一种MISO干扰广播系统中基于功率分配的自适应反馈方法, 其特征在于: 所述步骤一中, 各用户服务信道和干扰信道的反馈比特数的优化问题闭式解, 求解方法具体如下:

将完美信道状态信息反馈与有限信道状态信息反馈下的速率差 $\Delta R_{k,i}$, 即速率损耗表示为:

$$\Delta R_{k,i}(P_{k,i}, P_{k,i}, K_i, K_i, M) \stackrel{\Delta}{=} E[R_{k,i}^{PFB} - R_{k,i}^{LPF}], \quad (5)$$

其中, E 表示的是取期望值, $R_{k,i}^{PFB}$ 表示在完美信道状态信息反馈下用户 (k, i) 的总速率, PFB 的含义是完美信道状态信息反馈, 即 :

$$R_{k,i}^{PFB} = \log_2(1 + P_{k,i} |\tilde{h}_{k,i}^H w_{k,i}^{PZF}|^2), \quad (6)$$

$R_{k,i}^{LFB}$ 表示的有限信道状态信息反馈下用户 (k, i) 的总速率, LFB 表示的是有限信道状态信息反馈, $w_{k,i}^{PZF}$ 表示的是在完美信道状态信息下用户 (k, i) 的波束成形向量, PZF 表示的是完美信道状态信息下的迫零波束成形 ;

与完美的信道信息相比, 在有限反馈系统下用户间干扰和小区间的干扰存在残余量, 有限反馈系统下用户 (k, i) 所能达到的速率为 :

$$R_{k,i}^{LFB} = \log_2\left(1 + \frac{P_{k,i} \|\tilde{h}_{k,i}\|^2 |\tilde{h}_{k,i}^H w_{k,i}|^2}{I_{IUI} + I_{ICI} + 1}\right) \quad (7)$$

其中, I_{IUI} 表示的是小区内用户间的干扰, $I_{IUI} = \|\tilde{h}_{k,i}\|^2 \sum_{j=1, j \neq k}^{K_i} \frac{\|\tilde{h}_{k,j}\| P}{\sum \|\tilde{h}_{k,j}\|} |\tilde{h}_{k,j}^H w_{j,i}|^2$;

I_{ICI} 表示的是小区间用户间的干扰, $I_{ICI} = \|z_{k,i}\|^2 \sum_{L=1}^{K_i} \frac{\|z_{k,L}\| P}{\sum \|z_{k,L}\|} |\tilde{z}_{k,i}^H w_{L,i}|^2$;

$w_{j,i}$ 表示的是主基站服务的用户 j 的波束成形向量, $h_{k,j}$ 表示的是用户 j 到用户 k 的信道状态信息, $w_{L,i}$ 表示的是干扰基站服务的用户 L 的波束成形向量, $z_{k,L}$ 表示的是用户 L 到用户 k 的干扰信道状态信息 ;

利用正交分解将信道方向信息分解为 :

$$\begin{aligned} \tilde{h}_{k,i} &= \hat{h}_{k,i} (\cos \theta_{k,i}) + q_{k,i} (\sin \theta_{k,i}) \\ \tilde{z}_{k,i} &= \hat{z}_{k,i} (\cos \theta_{k,i}) + r_{k,i} (\sin \theta_{k,i}) \end{aligned} \quad (8)$$

式中, $\theta_{k,i}$ 和 $\theta_{k,i}$ 分别表示真实信道方向信息与量化信道方向信息的角度, $q_{k,i}$ 和 $r_{k,i}$ 分别表示的是服务信道和干扰信道由于信道量化而引起的误差向量 ;

在有限反馈系统下用户 k 所能达到的速率为 :

$$R_{k,i}^{LFB} = \log_2\left(1 + \frac{P_{k,i} \|\tilde{h}_{k,i}\|^2 |\tilde{h}_{k,i}^H w_{k,i}|^2}{\tilde{I}_{IUI} + \tilde{I}_{ICI} + 1}\right) \quad (9)$$

其中, $\tilde{I}_{IUI} = \|\tilde{h}_{k,i}\|^2 \sin^2 \theta_{k,i} \sum_{j=1, j \neq k}^{K_i} \frac{\|\tilde{h}_{k,j}\| P}{\sum \|\tilde{h}_{k,j}\|} |q_{k,i}^H w_{j,i}|^2$,

$$\tilde{I}_{ICI} = \|z_{k,i}\|^2 \sin^2 \theta_{k,i} \sum_{L=1}^{K_i} \frac{\|z_{k,L}\| P}{\sum \|z_{k,L}\|} |r_{k,i}^H w_{L,i}|^2, \quad (10)$$

\tilde{I}_{IUI} 表示的是在有限反馈系统下小区内用户间的干扰, \tilde{I}_{ICI} 表示的是在有限反馈系统下小区间用户间的干扰;

速率损耗表示为:

$$\begin{aligned}\Delta R_{k,i} &\leq E[\log_2(1+P_{k,i} |h_{k,i}^H w_{k,i}^{PZF}|^2)] - E[\log_2(1+P_{k,i} |h_{k,i}^H w_{k,i}|^2)] + E[\log_2(\tilde{I}_{IUI} + \tilde{I}_{ICI} + 1)] \\ &= E[\log_2(\tilde{I}_{IUI} + \tilde{I}_{ICI} + 1)]\end{aligned}\quad (11)$$

其中, E 表示的对公式取期望值, 等号成立的条件是: $w_{k,i}^{PZF}$ 和 $w_{k,i}$ 具有相同的分布, 并且和 $h_{k,i}^H$ 都是相互独立的;

根据 Jensen 不等式, 表示为:

$$\Delta R_{k,i} \leq \log_2(E[\tilde{I}_{IUI}] + E[\tilde{I}_{ICI}] + 1) \quad (12)$$

$|q_{k,i}^H w_{j,i}|^2$ 和 $|r_{k,i}^H w_{L,i}|^2$ 服从 $(1, M-1)$ 的 β 分布, 随机变量 $\|h_{k,i}\|^2$ 、 $\sin^2 \theta_{k,i}$ 、 $|q_{k,i}^H w_{j,i}|^2$ 、 $\|z_{k,i}\|^2$ 、 $\sin^2 \theta_{k,i}$ 、 $|r_{k,i}^H w_{L,i}|^2$ 均相互独立, 因此速率损耗的上界表示为:

$$\Delta R_{k,i} \leq \log_2\left(1 + \frac{MP}{M-1} \sum_{j=1, j \neq k}^{K_i} \frac{\|h_{k,j}\|}{\sum \|h_{k,j}\|} 2^{\frac{-B_t}{M-1}} + \frac{MP}{M-1} \sum_{L=1}^{K_i} \frac{\|z_{k,L}\|}{\sum \|z_{k,L}\|} 2^{\frac{-B_t}{M-1}}\right) \quad (13)$$

该式中的速率损耗来自残余用户间干扰和小区间用户的干扰, 当各用户的总反馈比特数 B_t 固定的时候, 如何分配各用户服务信道和干扰信道的反馈比特数的优化问题, 表述为:

$$\min_{B_i, B_{\bar{i}} \in \{0, 2^+ \}} P_s 2^{\frac{-B_i}{M-1}} + P_I 2^{\frac{-B_{\bar{i}}}{M-1}} \quad (14)$$

$$s.t. \quad B_i + B_{\bar{i}} = B_t$$

$$\text{其中: } P_s = \frac{MP}{M-1} \sum_{j=1, j \neq k}^{K_i} \frac{\|h_{k,j}\|}{\sum \|h_{k,j}\|}, \quad P_I = \frac{MP}{M-1} \sum_{L=1}^{K_i} \frac{\|z_{k,L}\|}{\sum \|z_{k,L}\|};$$

根据凸优化理论以及拉格朗日乘子法, 令

$$L(B_i, B_{\bar{i}}, \lambda) = P_s 2^{\frac{-B_i}{M-1}} + P_I 2^{\frac{-B_{\bar{i}}}{M-1}} + \lambda(B_i + B_{\bar{i}} - B_t) \quad (15)$$

$$\text{则 } \frac{\partial L(B_i, B_{\bar{i}}, \lambda)}{\partial B_i} = \frac{-\ln(2)P_s}{M-1} 2^{\frac{-B_i}{M-1}} + \lambda = 0 \quad (16)$$

$$\frac{\partial L(B_i, B_{\bar{i}}, \lambda)}{\partial B_{\bar{i}}} = \frac{-\ln(2)P_I}{M-1} 2^{\frac{-B_{\bar{i}}}{M-1}} + \lambda = 0 \quad (17)$$

$$\frac{\partial L(B_i, \bar{B}_i, \lambda)}{\partial \lambda} = B_i + \bar{B}_i - B_t = 0 \quad (18)$$

其中， λ 表示的是不定乘子；

联立求解上述公式 (15)、(16)、(17)、(18)，得到该优化问题的闭式解为：

$$B_i^* = \min\{B_t, \left\lfloor \frac{B_t}{2} + \frac{M-1}{2} \left\{ \log_2 \left(\frac{\sum_{j=1, j \neq k}^{K_i} \|h_{k,j}\|}{\sum_{j=1}^{K_i} \|h_{k,j}\|} \right) \right\} \right\rfloor \} \quad (19)$$

一种 MISO 干扰广播系统中基于功率分配的自适应反馈方法

技术领域

[0001] 本发明公开了一种多小区 MISO 干扰广播信道系统中基于功率分配的联合自适应有限反馈方法,涉及无线通信的多输入单输出(MISO)技术领域。

背景技术

[0002] 有限比特反馈是下行多用户 MIMO 系统中解决用户端反馈信道信息的关键技术。如何有效的减少用户反馈开销,同时保证系统容量是当前空分多址系统中的一个主要研究热点。

[0003] 在传统的下行多用户 MIMO 系统中,每个用户的反馈比特数是固定的。一般认为提高反馈比特数能够使反馈的信道信息更为精确,从而提高用户速率,但是当系统内某些用户信道相对较差时,提高反馈比特数对于该用户的速率提升并不明显。因此采用固定的反馈比特数必然造成系统开销一定程度的浪费。

[0004] 在多小区多用户 MISO 干扰广播系统中,多用户间的干扰和小区间的干扰严重的影响了系统的吞吐量的性能。因此如何有效的消除这两种干扰是一个主要的研究热点。

[0005] 在 Namyoon Lee 的文章“Two-cell MISO interfering broadcast channel with limited feedback:adaptive feedback strategy and multiplexing gains”(参见“IEEE International Conference on Communication, Page(s):1–5, June2011.”) 中,首先推导了由于量化误差而导致的速率损耗,提出了一种协作迫零波束成形技术,定义的系统吞吐量的损耗与信道量化误差的关系。提出的反馈比特方案是为了减小量化误差而引起的性能衰减。而在 Niha Jindal 的文章“Antenna Combining for the MIMO Downlink Channel”(参见“Wireless Communications, IEEE Transactions on Volume7, Issue10, October2008Page(s):3834 – 3844.”) 中,则研究了当系统码本随机产生时(RVQ),反馈比特数与 CDI 反馈误差之间的关系,并提出了一种 scaling feedback 方案,该方案在基站与用户端天线数相差较大时会造成较大的反馈开销,而且用户无法根据所处的系统特性自适应调整反馈比特值。

发明内容

[0006] 本发明所要解决的技术问题是:针对现有技术的缺陷,提出了一种在 MISO 干扰广播系统中基于功率分配的联合自适应有限反馈思想,给出了一种低复杂度的功率分配方案,分析了由于量化误差而引起的速率损耗,在此基础上提出了一种自适应功率以及反馈比特的联合分配方案。

[0007] 本发明为解决上述技术问题采用以下技术方案:

[0008] 一种 MISO 干扰广播系统中基于功率分配的自适应反馈方法,具体步骤如下:

[0009] 步骤一:在 MISO 干扰广播系统中设置初始参数,包括系统码本、反馈比特数、各用户服务信道和干扰信道的反馈比特数的优化问题闭式解;所述 MISO 干扰广播系统中,基

站的发射天线数为 M, 用户为单天线, 基站的总发射功率为 P, 基站和用户具有相同的码本 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_{2^B}\}$, 其中 B 是最大反馈比特数, 各码本内的码字为 $1 \times M$ 型矩阵, 基站之间采用不同的码本;

[0010] 步骤二: 用户端进行信道估计, 得到信道状态信息; 用户端获得主基站的信道状态信息为 $h_{k,i}$, k 表示的是用户的序号, i 表示的是服务用户 k 的主基站, 干扰基站的信道状态信息为 $z_{k,\bar{i}}$, \bar{i} 表示的是服务用户 k 的干扰基站, 所述 $h_{k,i}$ 和 $z_{k,\bar{i}}$ 为 $M \times 1$ 矩阵; 用户分别向主基站和干扰基站反馈信道方向信息和信道质量信息;

[0011] 步骤三: 用户接入 MISO 干扰广播系统后根据自身的信道增益和信道状态信息, 自适应的分配功率和选择反馈比特数 B_k ,

$$[0012] \text{ 主基站对用户 } k \text{ 的发射功率 } P_{k,i} = \frac{\|h_{k,i}\|}{\sum_k \|h_{k,i}\|} P,$$

$$[0013] \text{ 干扰基站对用户 } k \text{ 的发射功率 } P_{k,\bar{i}} = \frac{\|z_{k,\bar{i}}\|}{\sum_k \|z_{k,\bar{i}}\|} P,$$

[0014] 其中, $\|h_{k,i}\|$ 和 $\|z_{k,\bar{i}}\|$ 分别表示的是系统服务信道的平均增益和干扰信道的平均增益;

[0015] 步骤四: 用户按照码字匹配准则, 在系统码本的前 2^{B_k} 个码字中搜索最匹配的码字, 并将码字序号反馈给基站;

[0016] 用户的服务信道方向信息为 $\tilde{h}_{k,i} = h_{k,i} / \|h_{k,i}\|$,

[0017] 干扰信道方向信息为 $\tilde{z}_{k,\bar{i}} = z_{k,\bar{i}} / \|z_{k,\bar{i}}\|$,

[0018] 各基站信道的信道方向信息均采用随机向量量化, 信道之间采用不同的随机向量量化码本, 主基站为 $C_s = \{c_{s,1}, c_{s,2}, \dots, c_{s,2^{B_i}}\}$, C_s 表示的是主基站采用的码本, B_i 表示的是服务信道所需要的反馈比特数; 干扰基站为 $C_I = \{c_{I,1}, c_{I,2}, \dots, c_{I,2^{B_i}}\}$, C_I 表示的是干扰基站采用的码本, B_i 表示的是干扰信道所需要的反馈比特数; 采用最小距离准则选取最匹配的量化码字,

[0019] 主基站和干扰基站的量化码字分别为

$$[0020] n_i = \arg \max_{1 \leq m \leq 2^{B_i}} |c_{s,m}^H \tilde{h}_{k,i}|, \quad n_{\bar{i}} = \arg \max_{1 \leq l \leq 2^{B_i}} |c_{I,l}^H \tilde{z}_{k,\bar{i}}| \quad (1)$$

[0021] 并将该码字序号反馈给基站; 其中, m 表示的是码本 C_s 中码字的序列号, l 表示的是码本 C_I 中码字的序列号, H 表示的矩阵的共轭转置;

[0022] 步骤五: 基站得到用户反馈的码字序号后, 在自身的码本中重建出信道状态信息, 重建所得到的量化信道方向信息为 $\hat{h}_{k,i}$ ($k = \{1, 2, \dots, K_i\}$) 和 $\hat{z}_{L,\bar{i}}$ ($L = \{1, 2, \dots, K_{\bar{i}}\}$), 其中,

K_i 表示的主基站服务的用户总数目, L 表示的是干扰基站所服务的用户的序列号, K_i 表示的干扰基站服务的用户总数目;

[0023] 将重建所得的信道方向信息与实际信道方向信息之间的误差表述为:

$$[0024] \sin^2 \theta_k = \sin^2(\angle(\tilde{h}_{k,i}, \hat{h}_{k,i})) \quad (2)$$

[0025] 其中 θ_k 表示的是量化信道方向信息与实际信道方向信息的夹角;

[0026] 步骤六: 基站根据信道质量信息和信道方向信息进行功率分配和预编码矩阵设计, 并发射数据给用户端。

[0027] 进一步的, 所述步骤六中, 预编码矩阵设计的具体方法如下:

[0028] 令 $H_s = [(\hat{h}_{1,i})^T, (\hat{h}_{2,i})^T \dots (\hat{h}_{K_i,i})^T]^T$, H_s 表示的是信道矩阵, T 表示的矩阵的转置; 则预编码矩阵为:

$$[0029] W_s = H_s^* (H_s H_s^*)^{-1} \quad (3)$$

[0030] 其中, $*$ 表示伴随矩阵;

[0031] 采用协作迫零波束成形方案来同时消除 MISO 干扰广播信道中用户和小区间的干扰, 每个基站根据它的服务信道与干扰信道的量化信道方向信息设计波束成形向量; 具体如下:

[0032] 用户 (k, i) 的波束成形向量为 $w_{k,i}$, 消除用户间干扰和小区间干扰, 即

[0033]

$$\begin{bmatrix} \hat{H}_{k,i} \\ \hat{Z}_i \end{bmatrix}_{(K_i+K_{i-1}) \times M} w_{k,i} = 0 \quad (4)$$

[0034] 其中 $\hat{H}_{k,i}$ 表示小区内的用户到用户 (k, i) 的信道,

$$[0035] \hat{H}_{k,i} = [\hat{h}_{1,i}, \dots, \hat{h}_{k-1,i}, \hat{h}_{k+1,i}, \dots, \hat{h}_{K_i,i}]^H;$$

$$[0036] \hat{Z}_i \text{ 表示干扰小区中的用户对用户 } (k, i) \text{ 的信道, } \hat{Z}_i = [\hat{z}_{1,i}, \dots, \hat{z}_{K_{i-1},i}]^H.$$

[0037] 进一步的, 所述步骤一中, 各用户服务信道和干扰信道的反馈比特数的优化问题闭式解, 求解方法具体如下:

[0038] 将完美信道状态信息反馈与有限信道状态信息反馈下的速率差 $\Delta R_{k,i}$, 即速率损耗表示为:

$$[0039] \Delta R_{k,i}(P_{k,i}, P_{k,j}, K_i, K_j, M) \stackrel{\Delta}{=} E[R_{k,i}^{PFB} - R_{k,i}^{LFB}], \quad (5)$$

[0040] 其中, E 表示的是取期望值, $R_{k,i}^{PFB}$ 表示在完美信道状态信息反馈下用户 (k, i) 的总速率, PFB 的含义是完美信道状态信息反馈, 即:

$$[0041] R_{k,i}^{PFB} = \log_2 (1 + P_{k,i} |h_{k,i}^H w_{k,i}^{PFB}|^2), \quad (6)$$

[0042] $R_{k,i}^{LFB}$ 表示的有限信道状态信息反馈下用户 (k, i) 的总速率, LFB 表示的是有限信

道状态信息反馈, $w_{k,i}^{PZF}$ 表示的是在完美信道状态信息下用户 (k, i) 的波束成形向量, PZF 表示的是完美信道状态信息下的迫零波束成形;

[0043] 与完美的信道信息相比, 在有限反馈系统下用户间干扰和小区间的干扰存在残余量, 有限反馈系统下用户 (k, i) 所能达到的速率为:

$$[0044] R_{k,i}^{LFB} = \log_2 \left(1 + \frac{P_{k,i} \|h_{k,i}\|^2 |\tilde{h}_{k,i}^H w_{k,i}|^2}{I_{IUI} + I_{ICI} + 1} \right) \quad (7)$$

[0045] 其中, I_{IUI} 表示的是小区内用户间的干扰, $I_{IUI} = \|h_{k,i}\|^2 \sum_{j=1, j \neq k}^{K_i} \frac{\|h_{k,j}\| P}{\sum_j \|h_{k,j}\|} |\tilde{h}_{k,i}^H w_{j,i}|^2$;

[0046] I_{ICI} 表示的是小区间用户间的干扰, $I_{ICI} = \|z_{k,i}\|^2 \sum_{L=1}^{K_i} \frac{\|z_{k,L}\| P}{\sum_L \|z_{k,L}\|} |\tilde{z}_{k,i}^H w_{L,i}|^2$;

[0047] $w_{j,i}$ 表示的是主基站服务的用户 j 的波束成形向量, $h_{k,j}$ 表示的是用户 j 到用户 k 的信道状态信息, $w_{L,i}$ 表示的是干扰基站服务的用户 L 的波束成形向量, $z_{k,L}$ 表示的是用户 L 到用户 k 的干扰信道状态信息;

[0048] 利用正交分解将信道方向信息分解为:

$$[0049] \tilde{h}_{k,i} = \hat{h}_{k,i} (\cos \theta_{k,i}) + q_{k,i} (\sin \theta_{k,i})$$

$$[0050] \tilde{z}_{k,i} = \hat{z}_{k,i} (\cos \theta_{k,i}) + r_{k,i} (\sin \theta_{k,i}) \quad (8)$$

[0051] 式中, $\theta_{k,i}$ 和 $\theta_{k,i}$ 分别表示真实信道方向信息与量化信道方向信息的角度, $q_{k,i}$ 和 $r_{k,i}$ 分别表示的是服务信道和干扰信道由于信道量化而引起的误差向量;

[0052] 在有限反馈系统下用户 k 所能达到的速率为:

$$[0053] R_{k,i}^{LFB} = \log_2 \left(1 + \frac{P_{k,i} \|h_{k,i}\|^2 |\tilde{h}_{k,i}^H w_{k,i}|^2}{\tilde{I}_{IUI} + \tilde{I}_{ICI} + 1} \right) \quad (9)$$

[0054] 其中, $\tilde{I}_{IUI} = \|h_{k,i}\|^2 \sin^2 \theta_{k,i} \sum_{j=1, j \neq k}^{K_i} \frac{\|h_{k,j}\| P}{\sum_j \|h_{k,j}\|} |q_{k,i}^H w_{j,i}|^2$,

[0055] $\tilde{I}_{ICI} = \|z_{k,i}\|^2 \sin^2 \theta_{k,i} \sum_{L=1}^{K_i} \frac{\|z_{k,L}\| P}{\sum_L \|z_{k,L}\|} |r_{k,i}^H w_{L,i}|^2$, (10)

[0056] \tilde{I}_{IUI} 表示的是在有限反馈系统下小区内用户间的干扰, \tilde{I}_{ICI} 表示的是在有限反馈系统下小区间用户间的干扰;

[0057] 速率损耗表示为:

[0058]

$$\Delta R_{k,i} \leq E[\log_2(1 + P_{k,i} |h_{k,i}^H w_{k,i}^{PZF}|^2)] - E[\log_2(1 + P_{k,i} |h_{k,i}^H w_{k,i}|^2)] + E[\log_2(\tilde{I}_{IUI} + \tilde{I}_{ICI} + 1)]$$

[0059] = E[\log_2(\tilde{I}_{IUI} + \tilde{I}_{ICI} + 1)]

[0060] (11)

[0061] 其中, E 表示的对公式取期望值, 等号成立的条件是: $w_{k,i}^{PZF}$ 和 $w_{k,i}$ 具有相同的分布, 并且和 $h_{k,i}^H$ 都是相互独立的;

[0062] 根据 Jensen 不等式, 表示为:

$$\Delta R_{k,i} \leq \log_2(E[\tilde{I}_{IUI}] + E[\tilde{I}_{ICI}] + 1) \quad (12)$$

[0064] $|q_{k,i}^H w_{j,i}|^2$ 和 $|r_{k,i}^H w_{L,i}|^2$ 服从 $(1, M-1)$ 的 β 分布, 随机变量 $\|h_{k,i}\|^2$ 、 $\sin^2 \theta_{k,i}$ 、 $|q_{k,i}^H w_{j,i}|^2$ 、 $\|z_{k,i}\|^2$ 、 $\sin^2 \theta_{k,i}$ 、 $|r_{k,i}^H w_{L,i}|^2$ 均相互独立, 因此速率损耗的上界表示为:

$$\Delta R_{k,i} \leq \log_2\left(1 + \frac{MP}{M-1} \sum_{j=1, j \neq k}^{K_i} \frac{\|h_{k,j}\|}{\sum \|h_{k,j}\|} 2^{\frac{-B_j}{M-1}} + \frac{MP}{M-1} \sum_{L=1}^{K_i} \frac{\|z_{k,L}\|}{\sum \|z_{k,L}\|} 2^{\frac{-B_L}{M-1}}\right) \quad (13)$$

[0066] 该式中的速率损耗来自残余用户间干扰和小区间用户的干扰, 当各用户的总反馈比特数 B_t 固定的时候, 如何分配各用户服务信道和干扰信道的反馈比特数的优化问题, 表述为:

$$\min_{B_i, B_{\bar{i}} \in \{0, z^+\}} P_s 2^{\frac{-B_i}{M-1}} + P_I 2^{\frac{-B_{\bar{i}}}{M-1}} \quad (14)$$

$$\text{s.t. } B_i + B_{\bar{i}} = B_t$$

$$\text{其中: } P_s = \frac{MP}{M-1} \sum_{j=1, j \neq k}^{K_i} \frac{\|h_{k,j}\|}{\sum \|h_{k,j}\|}, \quad P_I = \frac{MP}{M-1} \sum_{L=1}^{K_i} \frac{\|z_{k,L}\|}{\sum \|z_{k,L}\|};$$

[0070] 根据凸优化理论以及拉格朗日乘子法, 令

$$L(B_i, B_{\bar{i}}, \lambda) = P_s 2^{\frac{-B_i}{M-1}} + P_I 2^{\frac{-B_{\bar{i}}}{M-1}} + \lambda(B_i + B_{\bar{i}} - B_t) \quad (15)$$

$$\text{则 } \frac{\partial L(B_i, B_{\bar{i}}, \lambda)}{\partial B_i} = \frac{-\ln(2)P_s}{M-1} 2^{\frac{-B_i}{M-1}} + \lambda = 0 \quad (16)$$

$$\frac{\partial L(B_i, B_{\bar{i}}, \lambda)}{\partial B_{\bar{i}}} = \frac{-\ln(2)P_I}{M-1} 2^{\frac{-B_{\bar{i}}}{M-1}} + \lambda = 0 \quad (17)$$

$$\frac{\partial L(B_i, B_{\bar{i}}, \lambda)}{\partial \lambda} = B_i + B_{\bar{i}} - B_t = 0 \quad (18)$$

[0075] 其中, λ 表示的是不定乘子;

[0076] 联立求解上述公式 (15)、(16)、(17)、(18), 得到该优化问题的闭式解为:

[0077]

$$B_i^* = \min\{B_t, \left\lfloor \frac{B_t}{2} + \frac{M-1}{2} \left\{ \log_2 \left(\frac{\sum_{j=1, j \neq k}^{K_f} \|h_{k,j}\|}{\sum_{j=1}^{K_f} \|h_{k,j}\|} \right) \right\} \right\rfloor \quad (19).$$

[0078] 本发明采用以上技术方案与现有技术相比,具有以下技术效果:在不增加系统内反馈开销的基础上,通过用户自适应的反馈 CDI,最终有效提高系统的吞吐量;用户自适应有限比特反馈算法复杂度较低。

附图说明

[0079] 图 1 是系统吞吐量同用户数之间的关系曲线图,

[0080] 其中:B 指平均反馈比特,取值分别为 6 和 12。

[0081] 图 2 是两小区有限反馈的 MISO 干扰广播信道模型。

具体实施方式

[0082] 下面结合附图对本发明的技术方案做进一步的详细说明:

[0083] 两小区有限反馈的 MISO 广播信道示意图如图 2 所示。基站的发射天线数 M=4,用户的接收天线数 N=1,系统码本 $C=\{c_1, c_2 \dots, c_{2^{12}}\}$,即用户最大反馈比特数为 12。用户平均反馈比特数 6 和 12,发射端的平均 SNR P 为 0 ~ 30db,用户数 4,信道建模为瑞利分布信道。

[0084] 步骤一:系统码本 $C=\{c_1, c_2 \dots, c_{2^{12}}\}$,N=2¹²,用户平均反馈比特数 B={6, 12},发射端的平均 SNR P 为 0 ~ 30db,用户数 4,信道建模为瑞利分布信道。

[0085] 步骤二:假设每个用户接收端可以完美获得主基站和干扰基站的信道状态信息 (Channel State Information, CSI), $h_{k,i}$ 和 $z_{k,i}$,其中 $h_{k,i}$ 和 $z_{k,i}$ 为 M×1 矩阵。并且每个用户向主基站和干扰基站分别反馈信道方向信息 (Channel Direction Information, CDI) 和信道质量信息。

[0086] 步骤三,用户接入系统后,基站会根据用户信道状态信息分配功

率, $P_{k,i} = \frac{\|h_{k,i}\|}{\sum_k \|h_{k,i}\|} P$ 和 $P_{k,i} = \frac{\|z_{k,i}\|}{\sum_k \|z_{k,i}\|} P$,其中 $\|h_{k,i}\|$ 和 $\|z_{k,i}\|$ 分别为系统的服务信道的平均增益和干扰信道的平均增益。

[0087] 步骤四,用户的服务信道方向信息和干扰信道方向信息分别定义为

$\tilde{h}_{k,i} = h_{k,i} / \|h_{k,i}\|$ 和 $\tilde{z}_{k,i} = z_{k,i} / \|z_{k,i}\|$ 。各基站信道 CDI 均采用随机向量量化 (Random Vector Quantization, RVQ),信道之间采用不同的 RVQ 码本, $C_s=\{c_{s,1}, c_{s,2} \dots, c_{s,2^{B_i}}\}$ 和 $C_I=\{c_{I,1}, c_{I,2}, \dots, c_{I,2^{B_i}}\}$ 。并采用最小距离准则选取最匹配的量化码字,即:

$$[0088] n_i = \arg \max_{1 \leq m \leq 2} |c_{S,m}^H \tilde{h}_{k,i}| , \quad n_{\bar{i}} = \arg \max_{1 \leq l \leq 2} |c_{I,l}^H \tilde{z}_{k,\bar{i}}| \quad (20)$$

[0089] 并将码字序号反馈给基站。

[0090] 步骤五，基站得到用户反馈的码字序号后，在自身的码本中重建出信道状态信息，重建所得到的量化 CDI 为 $\hat{h}_{k,i}$ ($k = \{1, 2, \dots, K_i\}$) 和 $\hat{z}_{L,\bar{i}}$ ($L = \{1, 2, \dots, K_{\bar{i}}\}$)。重建所得的 CDI 与实际 CDI 之间的误差可表述为：

$$[0091] \sin^2 \theta_k = \sin^2 (\angle(\tilde{h}_{k,i}, \hat{h}_{k,i})) \quad (21)$$

[0092] 步骤六，具体为：

[0093] (1) 功率分配

[0094] 基站重建出信道状态信息，根据用户的信道质量信息 (Channel Quality Information, CQI) 来分配功率，即：

$$[0095] P_{k,i} = \frac{\|h_{k,i}\|}{\sum_k \|h_{k,i}\|} P \text{ 和 } P_{\bar{k},\bar{i}} = \frac{\|z_{k,\bar{i}}\|}{\sum_k \|z_{k,\bar{i}}\|} P,$$

[0096] 其中 $\|h_{k,i}\|$ 和 $\|z_{k,\bar{i}}\|$ 分别为系统的服务信道平均增益和干扰信道平均增益。

[0097] (2) 预编码矩阵设计

[0098] 令 $H_s = [(\hat{h}_{1,i})^T, (\hat{h}_{2,i})^T \cdots (\hat{h}_{K_i,i})^T]^T$ ，则预编码矩阵为：

$$[0099] W_s = H_s^* (H_s H_s^*)^{-1} \quad (22)$$

[0100] 用户 k 对应的波束成形为 W_s 的第 k 列，记为 $w_{k,i}$ ；

[0101] 采用一种简单的协作迫零波束成形 (Coordinate Zero-Forcing Beamforming, CZFBF) 方案来同时消除 MISO 干扰广播信道中用户和小区间的干扰，每个基站根据它的服务信道与干扰信道的量化信道方向信息设计波束成形向量。用户 (k, i) 的波束成形 $w_{k,i}$ 同时消除用户间干扰和小区间干扰，即

[0102]

$$\begin{bmatrix} \hat{H}_{k,i} \\ \hat{Z}_i \end{bmatrix}_{(K_i + K_{\bar{i}} - 1) \times M} w_{k,i} = 0 \quad (23)$$

[0103] 其中， $\hat{H}_{k,i}$ 表示小区内的用户到用户 (k, i) 的信道，定义为

$\hat{H}_{k,i} = [\hat{h}_{1,i}, \dots, \hat{h}_{k-1,i}, \hat{h}_{k+1,i}, \dots, \hat{h}_{K_i,i}]^H$ ， \hat{Z}_i 表示干扰小区中的用户对用户 (k, i) 的信道，定义为

$$\hat{Z}_i = [\hat{z}_{1,i}, \dots, \hat{z}_{K_{\bar{i}},i}]^H.$$

[0104] (3) 发射数据

[0105] 假设用户 k 对应的发送数据为 s_k ，则基站处天线的发射信号为 $x = \sum_{k \in U} w_k s_k$ 。

[0106] 以下对自适应功率和有限反馈技术进行说明：

[0107] 在一个两小区 MISO 干扰广播系统中, 每个基站的发射天线数为 M , 用户为单天线, 基站的总发射功率为 P 。系统码本为 $C = \{c_1, c_2 \dots, c_{2^{B_k}}\}$, 码本内的码字为 $1 \times M$ 型矩阵。根据 Niha Jindal 的文章“MIMO broadcast channels with finite rate feedback”, 速率损耗是指完美信道状态信息反馈与有限信道状态信息反馈下的速率差, 我们将速率损耗定义为：

$$[0108] \Delta R_{k,i}(P_{k,i}, P_{\bar{k},\bar{i}}, K_i, K_{\bar{i}}, M) \stackrel{\Delta}{=} E[R_{k,i}^{PFB} - R_{k,i}^{LPF}], \quad (24)$$

[0109] 其中 $R_{k,i}^{PFB}$ 表示在完美 CSI 反馈下用户 (k, i) 的总速率, 即 :

$$[0110] R_{k,i}^{PFB} = \log_2(1 + P_{k,i} |h_{k,i}^H w_{k,i}^{PZF}|^2), \quad (25)$$

[0111] 与完美的信道信息相比, 在有限反馈系统下用户间干扰和小区间的干扰仍然有一定的残余量, 因此有限反馈系统下用户 (k, i) 所能达到的速率为 :

$$[0112] R_{k,i}^{LPF} = \log_2\left(1 + \frac{P_{k,i} \|h_{k,i}\|^2 |\tilde{h}_{k,i}^H w_{k,i}|^2}{I_{IUI} + I_{ICI} + 1}\right) \quad (26)$$

$$[0113] \text{其中 } I_{IUI} = \|h_{k,i}\|^2 \sum_{j=1, j \neq k}^{K_i} \frac{\|h_{k,j}\| P |\tilde{h}_{k,j}^H w_{j,i}|^2}{\sum \|h_{k,j}\|}, \quad I_{ICI} = \|z_{k,i}\|^2 \sum_{L=1}^{K_{\bar{i}}} \frac{\|z_{k,L}\| P |\tilde{z}_{k,L}^H w_{L,i}|^2}{\sum \|z_{k,L}\|},$$

[0114] 利用正交分解将信道方向信息分解为 :

$$[0115] \tilde{h}_{k,i} = \hat{h}_{k,i} (\cos \theta_{k,i}) + q_{k,i} (\sin \theta_{k,i})$$

$$[0116] \tilde{z}_{k,i} = \hat{z}_{k,i} (\cos \theta_{k,i}) + r_{k,i} (\sin \theta_{k,i}) \quad (27)$$

[0117] 式中 $\theta_{k,i}$ 和 $\theta_{k,\bar{i}}$ 分别表示真实信道方向信息与量化信道方向信息的角度, $q_{k,i}$ 和 $r_{k,i}$ 分别表示的是服务信道和干扰信道由于信道量化而引起的误差向量。

[0118] 因此, 在有限反馈系统下用户 (k, i) 所能达到的速率为 :

$$[0119] R_{k,i}^{LPF} = \log_2\left(1 + \frac{P_{k,i} \|h_{k,i}\|^2 |\tilde{h}_{k,i}^H w_{k,i}|^2}{\tilde{I}_{IUI} + \tilde{I}_{ICI} + 1}\right) \quad (28)$$

$$[0120] \text{其中 } \tilde{I}_{IUI} = \|h_{k,i}\|^2 \sin^2 \theta_{k,i} \sum_{j=1, j \neq k}^{K_i} \frac{\|h_{k,j}\| P |q_{k,i}^H w_{j,i}|^2}{\sum \|h_{k,j}\|},$$

$$[0121] \tilde{I}_{ICI} = \|z_{k,i}\|^2 \sin^2 \theta_{k,i} \sum_{L=1}^{K_{\bar{i}}} \frac{\|z_{k,L}\| P |r_{k,i}^H w_{L,i}|^2}{\sum \|z_{k,L}\|}, \quad (29)$$

[0122] 因此速率损耗可以表示为

[0123]

$$\begin{aligned} \Delta R_{k,i} &\leq E[\log_2(1+P_{k,i}|h_{k,i}^H w_{k,i}^{PZF}|^2)] - E[\log_2(1+P_{k,i}|h_{k,i}^H w_{k,i}|^2)] + E[\log_2(\tilde{I}_{IUI} + \tilde{I}_{ICI} + 1)] \\ [0124] \quad &= E[\log_2(\tilde{I}_{IUI} + \tilde{I}_{ICI} + 1)] \end{aligned}$$

[0125] (30)

[0126] 在(30)式中, 等号成立是由于 $w_{k,i}^{PZF}$ 和 $w_{k,i}$ 具有相同的分布, 并且和 $h_{k,i}^H$ 都是相互独立的, 根据 Jensen 不等式, 可以表示为:

$$[0127] \quad \Delta R_{k,i} \leq \log_2(E[\tilde{I}_{IUI}] + E[\tilde{I}_{ICI}] + 1) \quad (31)$$

[0128] 由于 $|q_{k,i}^H w_{j,i}|^2$ 和 $|r_{k,i}^H w_{L,j}|^2$ 服从 $(1, M-1)$ 的 β 分布, 随机变量 $\|h_{k,i}\|^2, \sin^2 \theta_{k,i}, |r_{k,i}^H w_{L,j}|^2$ 都是相互独立的, 因此速率损耗的上界可以表示为:

$$[0129] \quad \Delta R_{k,i} \leq \log_2\left(1 + \frac{MP}{M-1} \sum_{j=1, j \neq k}^{K_i} \frac{\|h_{k,j}\|}{\sum \|h_{k,j}\|} 2^{\frac{-B_j}{M-1}} + \frac{MP}{M-1} \sum_{L=1}^{K_i} \frac{\|z_{k,L}\|}{\sum \|z_{k,L}\|} 2^{\frac{-B_L}{M-1}}\right) \quad (32)$$

[0130] 与单小区的 MISO 干扰广播信道相比较, 该式中的速率损耗主要来自两个方面, 残余用户间干扰和小区间用户的干扰。因此当各用户的总反馈比特数 B_t 固定的时候, 为了使量化误差所引起的速率损耗最小化, 如何分配各用户传输信道和干扰信道的反馈比特数的优化问题, 可以表述为:

$$[0131] \quad \min_{B_i, B_{\bar{i}}} P_s 2^{\frac{-B_i}{M-1}} + P_{\bar{i}} 2^{\frac{-B_{\bar{i}}}{M-1}} \quad (3)$$

$$[0132] \quad s.t. \quad B_i + B_{\bar{i}} = B_t$$

$$[0133] \quad \text{其中: } P_s = \frac{MP}{M-1} \sum_{j=1, j \neq k}^{K_i} \frac{\|h_{k,j}\|}{\sum \|h_{k,j}\|}, \quad P_{\bar{i}} = \frac{MP}{M-1} \sum_{L=1}^{K_i} \frac{\|z_{k,L}\|}{\sum \|z_{k,L}\|},$$

[0134] 根据凸优化理论以及拉格朗日乘子法, 令

$$[0135] \quad L(B_i, B_{\bar{i}}, \lambda) = P_s 2^{\frac{-B_i}{M-1}} + P_{\bar{i}} 2^{\frac{-B_{\bar{i}}}{M-1}} + \lambda(B_i + B_{\bar{i}} - B_t) \quad (34)$$

$$[0136] \quad \frac{\partial L(B_i, B_{\bar{i}}, \lambda)}{\partial B_i} = \frac{-\ln(2)P_s}{M-1} 2^{\frac{-B_i}{M-1}} + \lambda = 0 \quad (35)$$

$$[0137] \quad \frac{\partial L(B_i, B_{\bar{i}}, \lambda)}{\partial B_{\bar{i}}} = \frac{-\ln(2)P_{\bar{i}}}{M-1} 2^{\frac{-B_{\bar{i}}}{M-1}} + \lambda = 0 \quad (36)$$

$$[0138] \quad \frac{\partial L(B_i, B_{\bar{i}}, \lambda)}{\partial \lambda} = B_i + B_{\bar{i}} - B_t = 0 \quad (37)$$

[0139] 联合求解以上 (34), (35), (36), (37), 我们可以得到该优化问题的闭式解:

[0140]

$$B_t^* = \min \{B_t, \left\lfloor \frac{B_t}{2} + \frac{M-1}{2} \{\log_2 \left(\frac{\sum_{j=1, j \neq k}^{K_t} \|h_{k,j}\|}{\sum_{j=1}^{K_t} \|h_{k,j}\|} \right) \} \right\rfloor \} \quad (38)$$

[0141] 如图 1 所示, 图 1 为基站 4 根发射天线, 用户接收端 1 根天线, SNR P 为 $0 \sim 30\text{db}$, 用户码本为 2^{12} , 平均反馈比特分别为 6 和 12 时, 系统吞吐量同用户数之间的关系曲线图。仿真比较了一下三种不同方案的性能:

[0142] 1) 传统的等功率等比特分配方案;

[0143] 2) 自适应功率传统等比特分配方案;

[0144] 3) 自适应功率比特分配方案;

[0145] 我们比较三种方案下系统的吞吐量的大小, 传统功率等比特分配是指各用户之间等功率分配以及用户各信道之间等比特分配。从图中可以看出, 自适应功率传统等比特的分配方案优于传统功率等比特分配的方案, 其主要原因是基站会根据用户之间不同的信道条件, 自适应的为信道较好的用户分配更多的功率。而所提出的自适应功率比特联合分配方案又优于自适应功率传统等比特分配方案, 其主要原因是用户会根据传输信道与干扰信道之间不同的信号强度来决定各信道的反馈量化精度, 即自适应地分配不同信道之间的反馈比特数。因此从仿真结果表明, 所提出的自适应功率比特联合分配方案, 在不改变反馈开销的情况下, 我们提出的自适应功率比特分配能够较为明显的提高了系统的吞吐量。

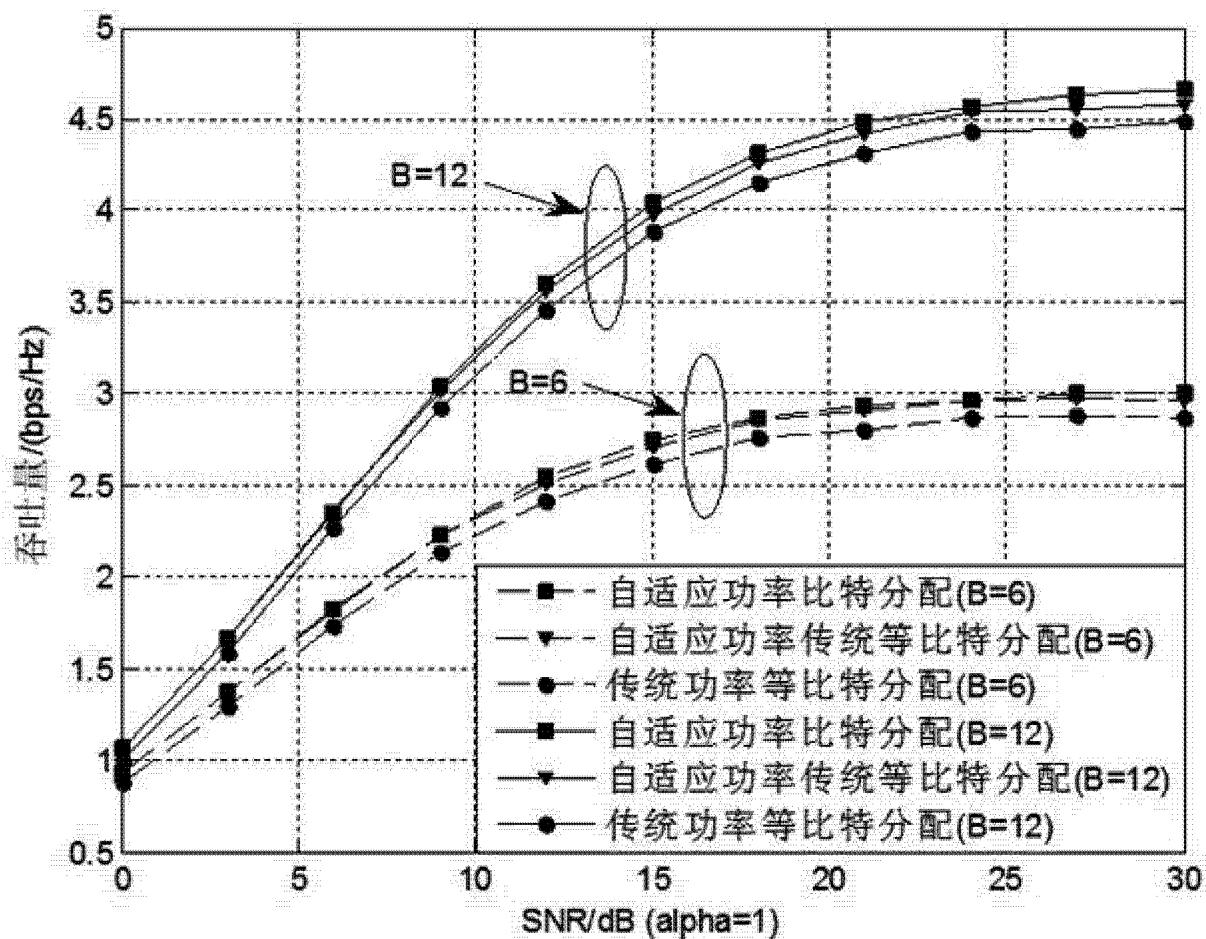


图 1

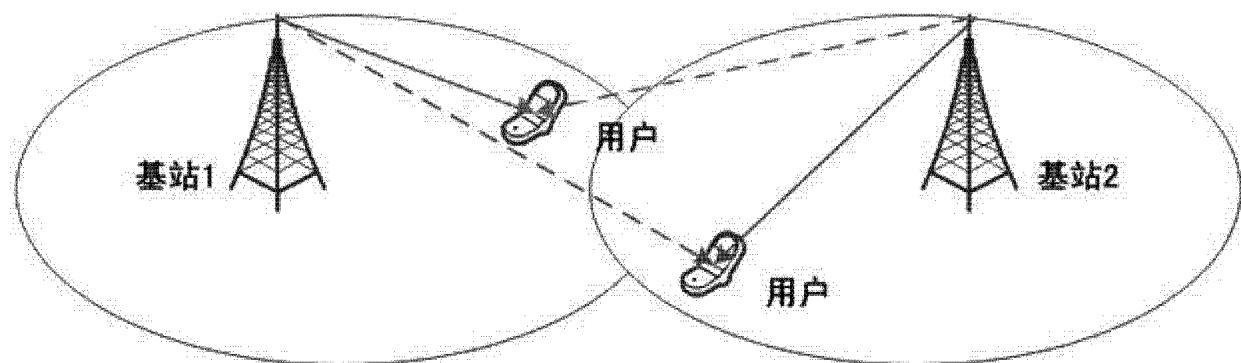


图 2