

文章编号: 2095-4980(2016)04-0535-06

分布式 MIMO 系统发送天线选择与预编码联合设计

崔维嘉, 郑娜娥, 裴喜龙, 陆杰青

(信息工程大学 信息工程学院, 河南 郑州 450001)

摘要: 为了抑制多用户分布式多入多出(MIMO)系统中的同道干扰(CCI), 使系统同时服务于更多用户, 提出一种发送天线选择与预编码的联合设计方法。该方法立足于分布式 MIMO 系统基站端天线较多的特点, 将下行发送天线选择与信漏噪比(SLNR)预编码相结合, 通过为用户选择不同天线, 从根本上减少 CCI; 在为每个用户选择天线时, 先以信道子矩阵的迹为依据进行端口选择, 再采用逐减的方法选择使 SLNR 损失值最小的天线, 以保证每个用户对其他用户的干扰尽量小, 从而达到进一步抑制 CCI 的目的。复杂度分析和仿真结果表明, 该方法在具有较低复杂度同时, 其容量性能仍可逼近最优算法; 较之单纯的 SLNR 预编码, 在相同的容量性能约束下, 其能够有效增加系统同时服务的用户数。

关键词: 多用户; 分布式多入多出; 同道干扰; 发送天线选择; 信漏噪比

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201604.0535

Joint transmit antenna selection and pre-coding in distributed MIMO systems

CUI Weijia, ZHENG Na'e, PEI Xilong, LU Jieqing

(School of Information Systems Engineering, Information Engineering University, Zhengzhou Henan 450001, China)

Abstract: To suppress the Co-Channel Interference(CCI) and increase the number of served users in multi-user distributed Multiple Input Multiple Output(MIMO) systems, a joint transmit antenna selection and pre-coding scheme is proposed based on the characteristics that there are a large amount of antennas at the base station in distributed MIMO systems. In the proposed scheme, downlink transmits antenna selection and Signal to Leakage and Noise Ratio(SLNR) pre-coding are combined together. On the one hand, it selects different antennas for each user to radically decrease the CCI. On the other hand, during the antenna selection process, antenna ports are firstly selected according to the trace of the channel sub-matrices. Then antennas which minimize the SLNR loss for each user are selected with an elimination method in order to make interference to other users as small as possible and further suppress the CCI. Compared with the optimal algorithm, the proposed algorithm shows great superiority on complexity with a capacity performance similar to the optimal algorithm. It can make the system provide service to more users than SLNR pre-coding under the same capacity constraint.

Key words: multi-user; Distributed Multiple Input Multiple Output; Co-Channel Interference; transmit antenna selection; Signal to Leakage and Noise Ratio

在传统的集中式多输入多输出(Centralized Multiple Input Multiple Output, C-MIMO)系统中, 多根天线集中放置, 通常位于小区的中心。这使得小区边缘用户的通信质量难以保证。相比之下, 分布式 MIMO(Distributed MIMO, D-MIMO)系统中的天线端口(每个端口包含多根天线)通过光纤拉远, 分布于小区的不同位置, 能够更好地实现小区覆盖。此外, 得益于天线的数量增多和空间分散, D-MIMO 系统还具有更高的频谱效率和更强的抗阴影衰落能力, 近年来受到广泛关注^[1-2]。

对于多用户 MIMO 系统而言, 不论是 C-MIMO, 还是 D-MIMO, 同道干扰(CCI)都是制约系统性能的主要因素之一。多用户预编码技术能够有效解决 CCI 问题^[3]。最优预编码算法是脏纸编码(Dirty Paper Coding, DPC)^[4], 可以完全消除 CCI, 获得多用户容量的上限, 但其复杂度过高, 实际难以应用。为了提高算法的实用性, 学术界

收稿日期: 2015-02-09; 修回日期: 2015-04-21

基金项目: 国家高技术研究发展计划资助项目(2012AA01A502, 2012AA01A505)

研究了一系列次优的预编码算法, 较具代表性的有迫零(Zero Forcing, ZF)^[5]、块对角化(Block Diagonalization, BD)^[6]、信漏噪比(SLNR)^[7]等。其中, ZF 和 BD 算法能够完全消除用户间干扰, 但其要求系统的发送天线数必须大于所有用户的接收天线数, 导致系统同时服务的用户数受到极大限制; SLNR 算法能够有效抑制用户间干扰, 且计算量小, 无用户数和收发天线数量限制, 但其容量性能随接收天线数的增加而急剧下降。为了解决这一问题, 进一步提高系统性能, 目前常见的方法主要有 2 种: 一种是对算法本身进行改进, 如文献[8]提出的 CB-SLNR 算法和文献[9]提出的鲁棒 SLNR 算法; 另一种则是将 SLNR 算法与接收天线或用户选择技术相结合^[10-11]。上述方法均能够在一定程度上改善系统性能, 但无法达到系统性能和同时服务用户数的美好折中。

上述研究均针对 C-MIMO 系统进行, 由于 C-MIMO 可以视为 D-MIMO 的一种特例, 因此, C-MIMO 系统下的成果同样适用于 D-MIMO 系统。考虑到 D-MIMO 基站端的天线数远多于 C-MIMO 系统, 同时为了有效抑制 CCI, 增加系统同时服务的用户数, 本文针对 D-MIMO 系统下行链路, 以 SLNR 预编码为改进对象, 将发送天线选择与 SLNR 预编码相结合, 为各用户选择不同的发送天线: 一方面减少共用相同信道的用户, 从根本上降低 CCI; 另一方面采用 SLNR 准则, 使得每个用户的信号泄露尽量小, 从而减小对其他用户的干扰。

1 系统模型

假设基站具有 N 个天线端口, 通过光纤拉远分散于不同地理位置, 每个天线端口配置 L 根天线, 则系统的总发送天线数为 $N_t = NL$ 。基站同时服务 K 个用户, 各用户出现位置在小区内均匀分布。每个用户终端配置 $M_k (k=1, 2, \dots, K)$ 根天线, 则系统的总接收天线数为 $M_r = \sum_{k=1}^K M_k$ 。该系统可表示为 (K, \mathbf{M}, N, L) , 其中 $\mathbf{M} = [M_1, M_2, \dots, M_K]^T$ 。

假设信道平坦衰落, s_k 为发送给用户 k 的 $t_k \times 1$ 字符向量, \mathbf{F}_k 为对应用户 k 的 $N_t \times t_k$ 预编码矩阵, 则用户 $k (k=1, 2, \dots, K)$ 的接收信号可表示为 $M_k \times 1$ 列向量:

$$\mathbf{y}_k = \mathbf{H}_k \mathbf{F}_k s_k + \mathbf{H}_k \sum_{i=1, i \neq k}^K \mathbf{F}_i s_i + \mathbf{z}_k \quad (1)$$

式(1)等号右边 3 项依次为用户 k 的有用信号、来自其他用户的干扰信号以及均值为零, 方差为 σ^2 的 $M_k \times 1$ 加性复高斯白噪声向量。 \mathbf{H}_k 为用户 k 的 $M_k \times N_t$ 信道矩阵, 可视为由 N 个 $M_k \times L$ 子信道矩阵组成, 即

$$\mathbf{H}_k = [\mathbf{H}_{k1} \mathbf{H}_{k2} \dots \mathbf{H}_{kN}] \quad (2)$$

式中 $\mathbf{H}_{ki} (i=1, 2, \dots, N)$ 为与天线端口 i 对应的子信道矩阵, 表示为:

$$\mathbf{H}_{ki} = [h_{ki}^1 h_{ki}^2 \dots h_{ki}^L] \quad (3)$$

式中: $\mathbf{h}_{ki}^l = [h_{ki}^{1l} h_{ki}^{2l} \dots h_{ki}^{M_k l}]^T$; h_{ki}^{ml} 表示用户 k 的第 m 根天线与天线端口 i 第 l 根天线之间的信道衰落, 包括大尺度衰落(路径损耗、阴影衰落)和小尺度快衰落, 具体表示为

$$h_{ki}^{ml} = (d_{ki} / d_{k, \min})^{-\alpha/2} \cdot 10^{\xi_{ki}/20} \cdot h \quad (4)$$

式中: d_{ki} 为用户 k 与天线端口 i 之间的距离; $d_{k, \min} = \min\{d_{ki}, i=1, 2, \dots, N\}$; α 为路径损耗因子; $\xi_{ki} \sim N(0, \sigma_{ki}^2)$ 为零均值高斯变量; σ_{ki} 为用户 k 与天线端口 i 之间的阴影衰落标准差; $h \sim CN(0, 1)$ 为快衰落。

采用 SLNR 预编码对用户间干扰进行抑制, 则

$$SLNR_k = \frac{\|\mathbf{H}_k \mathbf{F}_k\|_F^2}{M_k \sigma^2 + \|\tilde{\mathbf{H}}_k \mathbf{F}_k\|_F^2} \quad (5)$$

式中: $SLNR_k$ 为用户 k 的 SLNR; $\tilde{\mathbf{H}}_m^k$ 定义为户 k 的泄露信道矩阵, 满足

$$\tilde{\mathbf{H}}_k = [\mathbf{H}_1^H \dots \mathbf{H}_{k-1}^H \mathbf{H}_{k+1}^H \dots \mathbf{H}_K^H]^H \quad (6)$$

当基站向每个用户发送一个数据流, 即 $t_k = 1$ 时, SLNR 预编码问题可表示为如下优化问题:

$$\max SLNR_k$$

$$s.t. \quad \|\mathbf{F}_k^H \mathbf{F}_k\|_F^2 = 1 \quad (7)$$

令

$$\mathbf{A} = \mathbf{H}_k^H \mathbf{H}_k \quad (8)$$

$$\mathbf{B} = \tilde{\mathbf{H}}_k^H \tilde{\mathbf{H}}_k + M_k \sigma^2 \mathbf{I} \quad (9)$$

式(7)等价于求解矩阵 \mathbf{A} 相对于矩阵 \mathbf{B} 的最大广义特征值问题, 由于 \mathbf{B} 正定, 因此问题又可转化为求解 $\mathbf{B}^{-1}\mathbf{A}$ 的最大特征值。最大特征值即为最大 SLNR, 其对应的特征向量即为所求 \mathbf{F}_k , 即

$$\mathbf{F}_k \propto \max \text{eigenvector } \mathbf{B}^{-1}\mathbf{A} \quad (10)$$

当基站向每个用户发送多个数据流, 即 $t_k > 1$ 时, \mathbf{F}_k 满足

$$\mathbf{F}_k = \alpha_k \mathbf{T}_k \quad (11)$$

式中: \mathbf{T}_k 的维数为 $N_t \times t_k$, 由 $\mathbf{B}^{-1}\mathbf{A}$ 的前 t_k 个较大特征值对应的特征向量组成; α_k 为功率缩放因子, 用于保证 $\text{Tr}(\mathbf{F}_k^H \mathbf{F}_k) = t_k$ ($\text{Tr}(\cdot)$ 表示矩阵的迹), 满足

$$\alpha_k = \frac{1}{t_k \|\mathbf{H}_k \mathbf{T}_k\|_F} \quad (12)$$

此时

$$SLNR_{k,\max} = \frac{\text{Tr}(\mathbf{F}_k^H \mathbf{A} \mathbf{F}_k)}{\text{Tr}(\mathbf{F}_k^H \mathbf{B} \mathbf{F}_k)} \quad (13)$$

根据上述模型, 用户 k 的信号干扰噪声比(Signal to Interference plus Noise Ratio, SINR)为:

$$SINR_k = \frac{\|\mathbf{H}_k \mathbf{F}_k\|_F^2}{M_k \sigma^2 + \sum_{i=1, i \neq k}^K \|\mathbf{H}_k \mathbf{F}_i\|_F^2} \quad (14)$$

则多用户分布式 MIMO 系统容量可表示为所有用户的容量之和, 即

$$C = \sum_{k=1}^K \log_2(1 + SINR_k) \quad (15)$$

2 发送天线选择与 SLNR 预编码的联合设计

2.1 算法设计

一般而言, 发送天线选择相当于依据一定准则从信道矩阵中选取若干列组成新矩阵, 这一过程将使信道矩阵的列数发生变化。而从式(8)~(10)可以看出, 信道矩阵 \mathbf{H}_k 和 $\tilde{\mathbf{H}}_k$ 的列数必须保持一致, 因此上述方法并不适用于本文。为了解决这一问题, 本文将信道矩阵中未被选中的列以零向量代替, 这一方法将使预编码矩阵中的相应元素为 0, 可以理解成不为零向量对应的天线分配功率, 以此完成天线选择。

本文算法的设计目标是找到一种方法为每个用户选取发送天线, 使得其 SLNR 的值尽量大, 以便后续进行 SLNR 预编码获得更好的性能。假设用户 k 的选择天线数为 N_k , 根据前面的分析, 上述目标相当于找到一种方法从用户 k 的信道矩阵 \mathbf{H}_k 中选取 N_k 列保留, 同时将剩余的 $N_t - N_k$ 列均置为零向量, 使得 $SLNR_k$ 尽量大, 其中 $k=1, 2, \dots, K$ 。需要指出的是, 这里 N_k 和 t_k 须满足 $N_k \geq t_k$ 。

理论上, 满足目标的最优算法是穷举算法, 即遍历 \mathbf{H}_k 中所有的 N_k 个列向量组合, 分别计算 $SLNR_k$ 的值, 使得 $SLNR_k$ 最大的组合即为选择结果。穷举算法能够达到最佳性能, 但其需要进行 $\sum_{k=1}^K C_{N_t}^{N_k}$ 次特征值和特征向量计算, 复杂度偏高。为了降低算法复杂度, 下面给出本文算法。

首先, 用户进行端口选择。具体方法为: 假设用户 k 的选择端口数为 P_k , 对于端口 $i(i=1, 2, \dots, N)$, 计算

$$\text{Trace}_i = \text{Tr}(\mathbf{H}_{ki}^H \mathbf{H}_{ki}) \quad (16)$$

选择 P_k 个 Trace 值较大的端口, 并将其编号和相应的信道子矩阵反馈至基站。

基站收到反馈信息后, 为每个用户选择天线。原理如下: 假设 $\mathbf{H}'_k (M_k \times N_t)$ 是基站根据反馈信息为用户 k 恢复的信道矩阵, 由 P_k 个信道子矩阵和 $N - P_k$ 个零矩阵组成。定义 $\mathbf{H}'_{k,i}$ 为第 i 步选择后用户 k 的信道矩阵, 其中 $1 \leq i \leq P_k L - N_k$; $\mathbf{h}_{k,i,l}$ 为矩阵 $\mathbf{H}'_{k,i}$ 中的第 l 个非零列向量, 其中 $1 \leq l \leq P_k L - i$; $\tilde{\mathbf{H}}'_k$ 为用户 k 的泄露信道矩阵, 满足

$$\tilde{\mathbf{H}}'_k = [\hat{\mathbf{H}}_1^H \cdots \hat{\mathbf{H}}_{k-1}^H \mathbf{H}'_{k,i} \cdots \mathbf{H}'_{k,i} \cdots \hat{\mathbf{H}}_K^H]^H \quad (17)$$

式中 $\hat{\mathbf{H}}'_k$ 表示用户 k 完成天线选择后的新信道矩阵。则由式(8)、(9)可得

$$\mathbf{A}_i = \mathbf{H}'_{k,i} \mathbf{H}'_{k,i} \quad (18)$$

$$\mathbf{B} = \tilde{\mathbf{H}}_k^H \tilde{\mathbf{H}}_k + M_k \sigma^2 \mathbf{I} \quad (19)$$

相应地, 第 i 步选择后最大 SLNR 对应的预编码矩阵为:

$$\mathbf{F}_{k,i} = \frac{1}{t_k \|\mathbf{H}_{k,i}^H \mathbf{T}_{k,i}\|_F} \mathbf{T}_{k,i} \quad (20)$$

式中 $\mathbf{T}_{k,i}$ 的维数为 $N_t \times t_k$, 由 $\mathbf{B}^{-1} \mathbf{A}_i$ 的前 t_k 个较大特征值对应的特征向量组成。此时第 i 步选择后的最大 SLNR 为:

$$SLNR_{k,i,\max} = \frac{\text{Tr}(\mathbf{F}_{k,i}^H \mathbf{A}_i \mathbf{F}_{k,i})}{\text{Tr}(\mathbf{F}_{k,i}^H \mathbf{B} \mathbf{F}_{k,i})} \quad (21)$$

特别地, 当 $t_k = 1$ 时, 式(21)的值与 $\mathbf{B}^{-1} \mathbf{A}_i$ 的最大特征值相等。

定义第 $i+1$ 步将 $\mathbf{h}_{k,i,l}$ 置为零向量造成的 SLNR 损失值为:

$$\Delta_{\text{SLNR}} = SLNR_{k,i,\max} - SLNR_{k,i,l} \quad (22)$$

式中 $SLNR_{k,i,l}$ 为将 $\mathbf{h}_{k,i,l}$ 置为零向量后得到的 SLNR 值。不难看出, 欲使 Δ_{SLNR} 尽量小, 只需将 $\mathbf{H}_{k,i}^H$ 中的第 \hat{l} 个非零列向量置为零向量, 满足

$$\hat{l} = \arg \max_l SLNR_{k,i,l} \quad (23)$$

2.2 算法描述

根据上一节的分析, 本文算法描述如下:

Step1: 基站周期性地广播信道;

Step2: 用户通过信道估计获得信道矩阵 $\mathbf{H}_k (k=1,2,\dots,K)$, 根据式(16)计算结果选择天线端口, 并将相应的端口号和信道子矩阵反馈至基站;

基站为每个用户选择天线, 继续以下步骤:

Step3: 初始化, 根据反馈信息恢复信道矩阵 $\mathbf{H}_k^l (k=1,2,\dots,K)$, 令 $k=1$;

Step4: 根据式(17)确定泄露信道矩阵 $\tilde{\mathbf{H}}_k^l$, $N_s = P_k L$;

Step5: 对于 $1 \leq l \leq N_t$, 判断 \mathbf{H}_k^l 中的第 l 列 $\mathbf{h}_{k,l}$ 是否是零向量, 若不是则转下一步, 反之令 $l=l+1$, 继续 Step5;

Step6: 将 $\mathbf{h}_{k,l}$ 置为零向量, 根据式(18)~(21)分别计算 $\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{F}_{k,l}$ 以及 $SLNR_{k,l}$, 判断 l 是否等于 N_t , 是则转下一步, 否则令 $l=l+1$, 转 Step5;

Step7: 更新参数, 根据式(23), 将 \mathbf{H}_k^l 中的第 \hat{l} 列置为零向量, $N_s = N_s - 1$; 判断 N_s 是否等于 N_k , 否则转 Step5, 是则继续判断 k 是否等于 K , 是则转下一步, 否则令 $k=k+1$, 转 Step4;

Step8: 对于 $1 \leq k \leq K$, 更新 $\tilde{\mathbf{H}}_k^l$, 重新计算 $\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{F}_k$, 并根据式(15)计算系统容量, 结束。

用户选择端口数 P_k 值的大小直接关系到本文算法的容量性能、复杂度以及反馈开销, P_k 越大, 反馈开销越大, 基站获得的用户信道信息越全面, 因此算法性能越高, 相应的复杂度也越高。实际可根据用户数的多少以及信道状况确定 P_k 值, 以达到算法性能、复杂度以及反馈开销之间的良好折中。考虑到通常用户终端的天线数较少, 所需选择天线数也较少, 本文后续复杂度分析及性能仿真均设 P_k 值取 2, 以保证既能发挥多端口优势, 使算法具有较好性能, 又能有效降低复杂度和反馈开销。需要特别说明的是, 由于用户在小区内随机出现, 算法对用户的编号没有特殊性, 且算法性能是多次统计平均的结果, 因此其不受用户顺序的影响。

2.3 算法复杂度分析

从算法流程可以看出, 本文算法的复杂度主要在于 Step6, 需要进行 $\sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^{P_k L - N_k - 1} C_{P_k L - i}^1$ 次特征值和特征向量计算。为了更直观地比较算法复杂度, 假设系统用户数 $K=5, M_k = P_k = N_k = 2 (k=1,2,\dots,K)$, 表1和表2分别给出了不同端口数 N 下 ($L=4$) 和不同每端口天线数 L 下 ($N=4$) 本文算法和最优算法所需的特征值和特征向量计算次数。

表1 不同端口数 N 下 ($L=4$) 的计算复杂度比较
Table1 Complexity comparison under different $N (L=4)$

	$N=3$	$N=4$	$N=5$	$N=6$
the optimal algorithm	330	600	950	1380
the proposed algorithm	165	165	165	165

表2 不同的每端口天线数 L 下 ($N=4$) 计算复杂度比较
Table2 Complexity comparison under different $L (N=4)$

	$N=3$	$N=4$	$N=5$	$N=6$
the optimal algorithm	330	600	950	1380
the proposed algorithm	90	165	260	425

本文算法的复杂度与用户数 K 、选择端口数 P_k 、选择天线数 N_k 以及每端口天线数 L 有关，与天线端口数 N 无关。从表 1 和表 2 可以看出，相比于最优算法，本文算法能够显著降低复杂度。

3 仿真结果与分析

为分析算法性能，本文针对所提算法与最优算法、随机选择结合 SLNR 预编码以及单纯的 SLNR 预编码进行了性能差异的仿真。部分仿真条件设置如下：信道为复合衰落信道，路径损耗因子为 $\alpha=4$ ，所有用户到各天线端口的阴影衰落标准差均相同，为 8 dB，天线端口数为 $N=4$ ，每端口的天线数为 $L=4$ ；系统的总发射功率为 1，信噪比定义为总发射功率和用户每接收天线噪声功率的比值；用户 k 的接收天线数 $M_k=2$ ，选择天线数 $N_k=2$ ，选择端口数 $P_k=2$ ，发送子流数 $t_k=1, k=1,2,\dots,K$ ；所有仿真结果均通过 1000 次算法实现求统计平均获得。

仿真 1：不同信噪比(定义为总发射功率和用户每接收天线噪声功率的比值)法性能比较。设定用户数 $K=10$ ，其余仿真条件不变，图 1 给出了各算法的容量性能随信噪比变化的曲线。从图 1 可以看出，各算法的容量性能随信噪比的增大而升高，其中本文算法的性能逼近最优算法，优于单纯的 SLNR 预编码，远优于随机选择结合 SLNR 的方法。本文算法由于用户进行端口选择导致的性能损失很小，几乎可以忽略，一定程度上说明了端口选择的有效性。

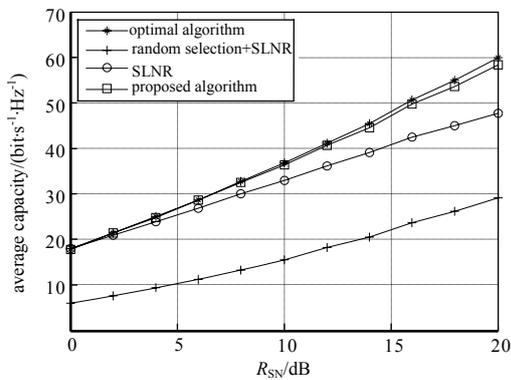


Fig.1 Capacity performance vs. SNR
图 1 不同信噪比下的各算法性能

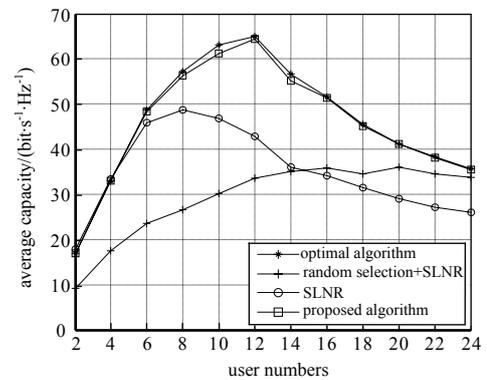


Fig.2 Capacity performance vs. user numbers
图 2 不同用户数下的各算法性能

仿真 2：不同用户数下算法性能比较。设定信噪比 $SNR=20$ dB，图 2 给出了各算法的容量性能随用户数变化的曲线。从图 2 可以看出，当用户数较少时，3 种算法的性能相当；当用户数较多时，本文算法的性能十分接近最优算法，显著优于单纯的 SLNR 预编码，在相同的容量性能约束下，本文算法可同时服务更多用户。本文算法和穷举算法为用户选择不同发送天线，能够在一定程度上减少共用信道的用户，降低部分 CCI；依据 SLNR 准则选出天线后再进行 SLNR 预编码，使得信道利用更合理，能够更有效地抑制用户对其他用户的干扰。

仿真 3：不同发送天线数下算法性能比较。设定用户数 $K=10$ ，信噪比 $SNR=20$ dB，图 3 给出了各算法的容量性能随发送天线数变化的曲线。从图 3 可以看出，本文算法的性能接近最优算法，明显优于无天线选择，相比于随机选择结合 SLNR 的方法，其性能优势随着发送天线数的增加而变大。这是因为在基站端发送天线越多，恰当地为各用户选择不同的发送天线所能带来的性能优势越明显。

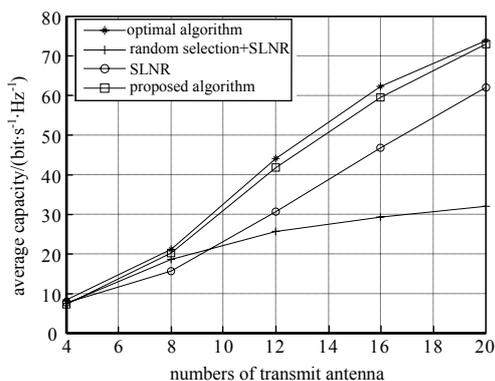


Fig.3 Capacity performance vs. numbers of transmit antenna
图 3 不同发送天线数下的各算法性能

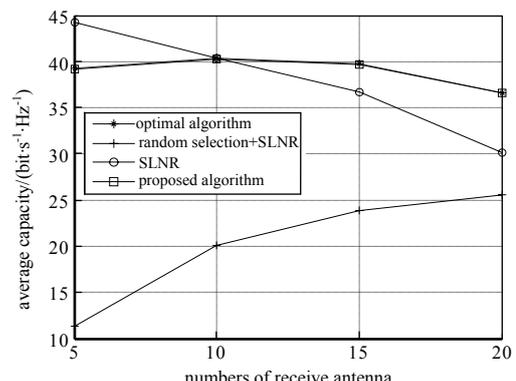


Fig.4 Capacity performance vs. numbers of receive antenna
图 4 不同接收天线数下的各算法性能

仿真 4: 不同接收天线数下算法性能比较。设定用户数 $K=5$, 每用户选择天线数 N_k 等于接收天线数 M_k , 信噪比 $SNR=20$ dB, 其他仿真条件不变, 图 4 给出了各算法的容量性能随接收天线数变化的曲线。从图 4 可以看出, 在接收天线数较少的情况下, 本文算法和最优算法的容量性能低于单纯的 SLNR 预编码, 随着接收天线数增多, 本文算法和最优算法的性能超过单纯的 SLNR 预编码, 且优势越来越大。这是因为在接收天线数较少的情况下, CCI 本身较小, 此时进行发送天线选择会导致信道利用不充分, 性能较差, 而随着接收天线数增多, CCI 快速加重, 本文算法和最优算法抑制 CCI 的作用变大, 性能优势也随之凸显。

4 结论

本文将 SLNR 预编码原理与多用户 D-MIMO 系统基站端的天线选择问题相结合, 为各用户选择不同的发送天线, 先进行端口选择以减少反馈开销, 并缩小待选天线范围, 再以逐减的方式为每个用户选择天线。为解决天线选择过程中矩阵维数不匹配的问题, 以列向量置零的方法代替传统的直接删除。理论分析表明, 本文算法具有较低的复杂度。仿真结果表明, 本文算法的容量性能逼近最优算法, 相比单纯的 SLNR 预编码有显著改善。

参考文献:

- [1] SIMEONE O, SOMEKH O, VINCENT H, et al. Distributed MIMO systems for nomadic applications over a symmetric interference channel[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2009, 55(12): 5558-5574.
- [2] LU Na, ZHU Xuetian, YANG Fengyi, et al. Downlink MIMO performance evaluation for LTE/LTE-A indoor distributed antenna systems[C]// IEEE International Conference on Communications in China. Beijing, China: IEEE, 2012: 781-785.
- [3] SCHUBERT A, BOCHE H. Solution of the multiuser downlink beamforming problem with individual SINR constraints[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2004, 53(1): 18-28.
- [4] COSTA M. Writing on dirty paper[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1983, 29(3): 439-441.
- [5] SPENCER Q H, SWINDLEHURST A L, HAARDT M. Zero-forcing methods for downlink spatial multiplexing in multi-user MIMO channels[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2004, 52(2): 461-471.
- [6] SEIJOON S, JIN S K, ROBERT W H J, et al. Downlink MIMO block diagonalization in the presence of other-cell interference[J]. IEEE Transactions on Communications, 2007, 53: 195-202.
- [7] SADEK M, TARIGHAT A, SAYED A H. A leakage-based precoding scheme for downlink multi-user MIMO channels[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2007, 6(5): 1711-1721.
- [8] 李文刚, 易克初, 刘祖军, 等. 改进的多用户波束赋形算法[J]. 通信学报, 2009, 30(12): 79-84. (LI Wengang, YI Kechu, LIU Zujun, et al. Improved beamforming algorithm of multi-user system[J]. Journal on Communications, 2009, 30(12): 79-84.)
- [9] 王丽, 刘世界, 屈永传, 等. 一种空时相关信道下的鲁棒 SLNR 预编码算法[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2014, 12(6): 826-831. (WANG Li, LIU Shijie, QU Yongchuan, et al. A robust SLNR precoding algorithm in spatial and temporal correlated channel[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2014, 12(6): 826-831.)
- [10] XIA Xin, SHU Fang, WU Gang, et al. Joint user pairing and precoding in MU-MIMO broadcast channel with limited feedback[J]. IEEE Communications Letters, 2010, 14(11): 1032-1034.
- [11] PATCHARAMANEPAKORN P, DOUFEXI A, ARMOUR S. Reduced complexity joint user and receive antenna selection algorithms for SLNR-based precoding in MU-MIMO systems[C]// 2012 IEEE 75th Vehicular Technology Conference (VTC-Spring). Yokohama, Japan: IEEE, 2012: 1-5.

作者简介:



崔维嘉(1976-), 男, 辽宁省丹东市人, 博士, 硕士生导师, 主要研究方向为无线与移动通信技术、无线定位技术. email: cui7685@163.com.

郑娜娥(1984-), 女, 福建省漳州市人, 博士, 讲师, 主要研究方向为 MIMO 信号处理与无线资源分配。

裴喜龙(1978-), 男, 郑州市人, 讲师, 主要研究方向为通信技术。

陆杰青(1975-), 男, 合肥市人, 讲师, 主要研究方向为通信技术。