

多用户分布式 MIMO-OFDM 系统中天线与子载波分配算法研究^{*}

郑娜娥[#], 陈磊, 王大鸣, 崔维嘉

(解放军信息工程大学, 河南 郑州 450002)

摘要: 本文针对多用户分布式 MIMO-OFDM 系统中的资源联合分配问题, 提出了一种基于端口选择的天线与子载波分配算法。该算法依据计算复杂度容限设定用户通信静态端口数, 以此为每个用户选取信道状况最好的通信端口进行通信, 进而通过天线端口与下属用户的相互配合, 并行地完成天线与子载波的分配。仿真结果表明, 该算法在系统天线数大于用户数的情况下容量性能优于 MASA 算法, 且其端口并行处理机制可以有效提高资源分配效率。

关键词: 分布式 MIMO-OFDM; 多用户; 资源分配; 天线与子载波

中图分类号: TN929.5 **文献标识码:** A

1 引言

随着移动 Internet 的迅速崛起, 以宽带多媒体业务为代表的数据业务逐渐上升为核心业务, 无线接入速率需求呈爆炸式增长。面对无线频谱资源日益紧张的局面, 国内外的研究机构“锲而不舍”地寻求更高频谱效率的传输技术。近年来, 分布式天线技术和传统集中式 MIMO (Multiple Input Multiple Output) 技术结合的产物——分布式 MIMO 技术正越来越多的受到学术界和产业界的关注。已有研究表明, 与集中式 MIMO 相比, 它具有更高的容量、小区平均覆盖率及抗阴影衰落能力^[1~3]。在宽带传输条件下, 集中式 MIMO 与 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 技术的结合已显示出是实现高速率和大容量通信的一种有效手段, 可以预见分布式 MIMO 与 OFDM 的结合必将给系统性能带来更大的提升。对分布式 MIMO-OFDM 系统及其中相关技术问题进行研究具有重要现实意义。

本文重点研究多用户分布式 MIMO-OFDM 系统中的天线与子载波联合分配问题。在多用户的多天线 OFDM 系统中, 现有的与子载波相关的动态资源分配算法大都假设一个子载波最多只能由一个用户占用, 限制了部分资源分配的自由度, 同时也导致算法在性能上受到一定的限制^[4]。理论上, 一种最优的天线与子载波联合分配算法的基本原理是将天线与子载波等效为空频子信道, 进而依据一定的准则(如使系统容量最大化)通过遍历搜索的方式将子信道分配给用户。若系统具有 N_t 根发射天线, M_c 个子载波, K 个用户, 则系统共有 N_t 个子信道, 采用这种方法总共要进行 $K^{N_t M_c}$ 次搜索, 而且需要每个用户反馈其在所有天线和子载波上所支持的最大速率。显然, 如此庞大的计算量和反馈开销使得这种方法很难应用在实际的 MIMO-OFDM 系统中。为了解决这一问题, 文献[5]针对集中式 MIMO-OFDM 系统给出了一种次优的天线与子载波分配算法, 即 MASA (Multi-user Antenna & Sub-carrier Allocation) 算法。该算法需要基站与用户端都有一定的选择和计算能力, 在假设功率平均分配的情况下, 通过先选择天线再选择用户的过程, 避免了遍历搜寻每个用户上所有天线与子载波的组合, 从而大大降低了运算的复杂度。这种算法的另一个优点是用户只需反馈其在每个子载波上的最优天线序号及其相应的速率, 不需要反馈所有的信道状态信息, 大大减少了反馈量。然而, 这种算法没有考虑系统天线数量大于用户数的情况, 导致在用户数相对较少时系统性能有所损失。

本文结合多用户分布式 MIMO-OFDM 系统的架构特点对 MASA 算法进行了改进, 提出了一种基

* 收稿日期: 2010-04-15 修订日期: 2010-08-24
基金项目: 国家 863 计划重点项目高频段无线链路技术研究 (2009AA011504)

通讯作者: Email: zhengnaecshz@163.com

于端口选择的天线与子载波分配算法, 即 MPSASA (Multi-user Port Selection-based Antenna & Sub-carrier Allocation) 算法。该算法与 MASA 算法的不同之处在于: 首先, 根据分布式架构特点, 依据计算复杂度容限设定了用户通信静态端口数 (保证既能发挥多端口优势, 又可以降低部分复杂度), 并以此为每个用户选取信道状况最好的通信端口进行通信; 其次, 补充考虑了系统天线数量大于用户数的情况, 解决了 MASA 算法存在的问题; 再者, 采用端口并行处理机制有效提高了系统的资源分配效率。

2 系统模型

分布式 MIMO 系统是指发射天线分布于不同地理位置且接收天线集中于一处地理位置, 或者发射天线和接收天线均分布于不同地理位置的 MIMO 无线通信系统。分布式 MIMO 系统可以表示为 (M, N, L) , 由一个具有 M 个天线的用户终端和 N 个相隔较远的基站天线端口组成, 其中基站每个天线端口包含 L 个天线。传统的分布式天线系统和点对点 MIMO 是分布式 MIMO 系统的两个特例, 分别对应于每个端口只有一个天线和只有一个端口的情况, 记为 $(M, 1, 1)$ 和 $(M, 1, L)$ 。假设基站同时与 K 个用户进行通信, 用用户所处位置在小区内服从均匀分布, 每个用户分别有 M_k ($k = 1, 2, \dots, K$) 个发射天线, 则此时分布式 MIMO 系统可表示为 (K, M, N, L) , 其中 $M = [M_1, M_2, \dots, M_K]^T$ 为用户终端天线数向量, 图 1 给出了一个 $(2, [2 2]^T, 4, 4)$ 系统的实例。

在分布式 MIMO 系统中引入 OFDM 技术, 这便形成了分布式 MIMO-OFDM 系统。下面首先建立基于部分信道状态信息 (CSI, Channel State Information) 反馈的多用户分布式 MIMO-OFDM 系统下行链路模型, 再给出系统容量的计算方法。

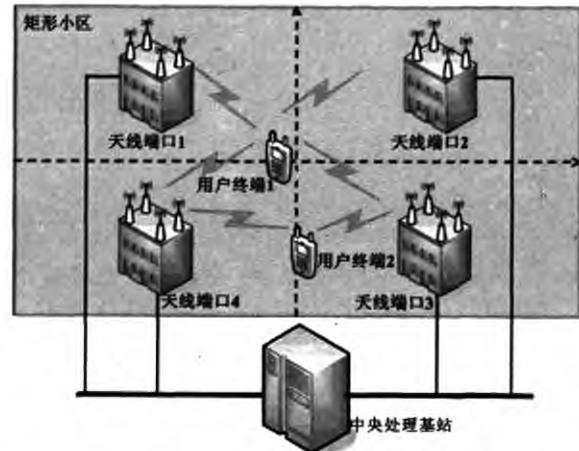


图 1 多用户分布式 MIMO 系统示意图

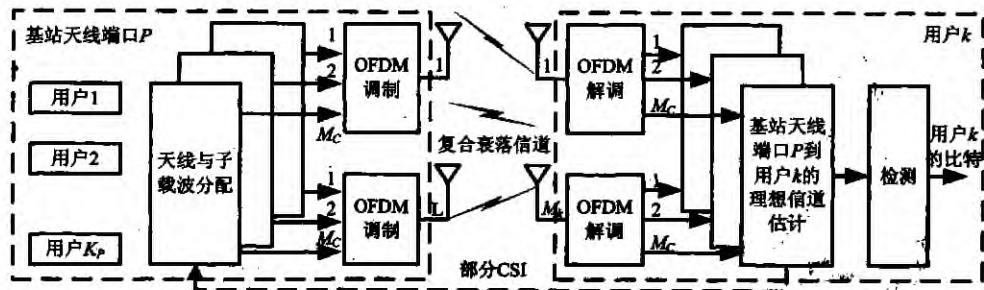


图 2 基于部分 CSI 反馈的 MU-DMIMO-OFDM 系统下行链路框图

2.1 模型的建立

基于部分 CSI 反馈的多用户分布式 MIMO-OFDM 系统下行链路模型如图 2 所示。

考虑如图 2 所示的多用户分布式 MIMO-OFDM 系统下行链路, 系统的总带宽分为 M_c 个子载波, 复合衰落信道为频率选择性衰落信道, OFDM 的 CP 长度不小于各个发射天线的相对到达时间差与各对收、发天线间的多径时延扩展之和的最大值^[6], 各个子载波之间没有相互干扰发生, 且每一个子载波上是平坦衰落的, 这样可以把系统传输信道等效为 N_c 个子信道^[7], 其中 $N_c = NL$ 。

假设每个用户终端均能通过理想的信道估计完全获知其 CSI, 并能够采用理想的多用户检测算法来检测出所需要的信号。用户终端与基站天线端口之间存在一条理想的反馈信道, 可以用来反馈一些必要的信息, 为基站进行天线与子载波的联合分配提供信息支持。假设不同用户的信道矩阵之间相互独立, 则在子载波 $m = (1, 2, \dots, M_c)$ 上, 用户 k ($k = 1, 2, \dots, K$) 接收到的信号可表示为

$$r_m^k(t, d^k) = H_m^k(d^k) s_m^k(t) + z_m^k(t) \quad (1)$$

其中, $r_m^k(t, d^k)$ 为 $M_k \times 1$ 接收信号向量, $s_m^k(t)$ 、 $z_m^k(t)$ 分别表示 $NL \times 1$ 发送信号向量和 $M_k \times 1$ 零均值单位

方差的加性高斯白噪声向量, $\mathbf{H}_m^k(\mathbf{d}^k)$ 为 $M_k \times NL$ 信道矩阵, 包含 N 个独立的 $M_k \times L$ 子信道矩阵, 即

$$\mathbf{H}_m^k(\mathbf{d}^k) = [\mathbf{H}_{1m}^k(\mathbf{d}^k) \mathbf{H}_{2m}^k(\mathbf{d}^k) \cdots \mathbf{H}_{Nm}^k(\mathbf{d}^k)] \quad (2)$$

其中, $\mathbf{d}^k = [d_1^k, d_2^k, \dots, d_N^k]^T$ 表示用户终端 k 与天线端口之间的距离向量, $\mathbf{H}_m^k(\mathbf{d}^k)$ 中的元素 $\mathbf{H}_{im}^k(d_i^k)$ 可以表示为

$$\mathbf{H}_{im}^k(d_i^k) = [h_{1i,m}^{ik}(d_i^k) h_{2i,m}^{ik}(d_i^k) \cdots h_{Li,m}^{ik}(d_i^k)] \quad (3)$$

其中, $\mathbf{h}_{im}^{ik}(d_i^k) = [h_{1i,m}^{ik}(d_i^k) h_{2i,m}^{ik}(d_i^k) \cdots h_{Mi,m}^{ik}(d_i^k)]$, $i=1, 2, \dots, N$, $h_{ji,m}^{ik}(d_i^k)$ 为用户 k 的第 j 个天线与第 i 个端口第 l 个天线之间的信道衰落, 包括路径损耗、阴影衰落和小尺度快衰落, 具体表示为

$$h_{ji,m}^{ik}(d_i^k) = (d_i^k / d_{\min}^k)^{-\alpha/2} 10^{\frac{\xi_{sh,im}}{20}} h_{ji,m}^{ik} \quad (4)$$

其中, $d_{\min}^k = \min\{d_i^k, i=1, 2, \dots, N\}$, α 为路径损耗因子, $\xi_{sh,im} \sim N(0, \sigma_{sh,m}^2)$ 为零均值高斯变量, $\sigma_{sh,m}$ 为天线端口与移动台之间的阴影衰落标准差, $h_{ji,m}^{ik} \sim CN(0, 1)$ 为快衰落, CN 指复高斯分布。

2.2 多用户分布式 MIMO-OFDM 系统的容量

假设用户终端采用理想信号检测方法, 使得来自其他天线的干扰信号都能很好地消除, 系统总功率在子载波上平均分配, 则在子载波 m 内, 用户 k 在第 p ($p=1, 2, \dots, N$) 个端口的第 l 根天线上的最大传输速率可由下式计算^[8]

$$R_{m,l}^{k,p} = \log_2 \left(1 + \frac{P_T}{\sigma_n^2 \cdot M_C \cdot N_t} \left\| [\mathbf{H}_m^k]_{p,l} \right\|^2 \right) \quad (5)$$

其中 P_T 为系统总发射功率, σ_n^2 为每根接收天线的噪声方差, 定义子载波的平均信噪比为 $\Gamma_T = P_T / M_C \sigma_n^2$, 则式 (5) 等价于

$$R_{m,l}^{k,p} = \log_2 \left(1 + \frac{\Gamma_T}{NL} \left\| [\mathbf{H}_m^k]_{p,l} \right\|^2 \right) \quad (6)$$

其中, $[\mathbf{H}_m^k]_{p,l}$ 表示矩阵 \mathbf{H}_m^k 的第 p 个子矩阵的第 l 列, $\left\| \cdot \right\|^2$ 表示向量的 F 范数。定义 $\rho_{m,l}^{k,p} \in \{0, 1\}$ 为端口 p 内由子载波 m 和天线 l 共同确定的子信道的分配指示符, 其中 $\rho_{m,l}^{k,p} = 1$ 表示该子信道分配给了用户 k , 否则 $\rho_{m,l}^{k,p} = 0$ 。则用户 k 在端口 p 内的最大速率为

$$R_p^k = \frac{1}{M_C} \sum_{m=1}^{M_C} \sum_{l=1}^L \rho_{m,l}^{k,p} R_{m,l}^{k,p} \quad (7)$$

其中, 由于资源分配的唯一性, 每个子信道只能分配给一个用户, 即 $\rho_{m,l}^{k,p}$ 满足

$$\sum_{k=1}^K \rho_{m,l}^{k,p} = 1, \forall p, m, l \quad (8)$$

所有用户在所有天线端口内的最大速率的和, 即系统容量可表示为

$$C_{\text{int}} = \sum_{p=1}^N \sum_{k=1}^K R_p^k \quad (9)$$

综合式 (6)、(7)、(9) 可得, 系统容量的计算表达式如下

$$C_{\text{int}} = \frac{1}{M_C} \sum_{p=1}^N \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^{M_C} \sum_{l=1}^L \rho_{m,l}^{k,p} \cdot \log_2 \left(1 + \frac{\Gamma_T}{NL} \left\| [\mathbf{H}_m^k]_{p,l} \right\|^2 \right) \quad (10)$$

3 基于端口选择的天线与子载波分配算法

3.1 算法设计思想

为了使所提算法能够在计算量较低、反馈开销较小的情况下完成资源的分配, 提高资源的有效利用率, 进而提高系统的容量性能, 本文针对现有算法存在的问题, 结合多用户分布式 MIMO-OFDM 系统的特点对 MASA 算法进行改进, 给出一种基于端口选择的天线与子载波分配算法, 即 MPSASA 算法。MPSASA 算法的基本思路是: 首先依据计算复杂度容限设定用户通信静态端口数, 在此基础上, 各用户终端依据信道估计的结果选出信道状况最好的端口作为通信端口; 其次让用户在所选端口的每

个子载波上选择最优天线，并将选择天线号及对应的最大速率通过理想的反馈信道反馈给相应端口；然后各端口在每根天线上选择速率最大的用户作为服务对象；如果存在某些天线未被任何用户选为最优天线，而此时系统中仍有用户未分得资源，则从所有剩余的用户中再比较选择一个在此天线上速率最大的用户接入，反之，若此时所有用户均已分得资源，则从所有用户中选择一个在此天线上速率最大的接入，以尽可能保证每根天线的效率；重复上述过程直到所有天线与子载波对应的子信道分配完毕为止。在实现过程中，每个子信道最多只能由一个用户占用，而每个用户同时可占用一个或多个子信道。

3.2 算法流程

假设由小区内所有 K 个用户组成的集合为 Ω ，每个天线端口下属的用户集合为 Ω_p ，端口内每个天线上的用户集为 Ω_{pa} ，则有 $\Omega_{pa} \subseteq \Omega_p \subseteq \Omega$ ；端口内的天线集为 A_p 。MPSASA 算法的流程描述如下：

- Step1：初始化，确定 H_m^k 及用户初始通信的静态端口数 N_p ，其中 $m=1,2,\dots,M_c$ ， $k=1,2,\dots,K$ ；
- Step2：根据式 (7) 计算用户 k 在端口 p 内的最大速率 R_p^k ，其中 $p=1,2,\dots,N$ ， $k=1,2,\dots,K$ ；
- Step3：为用户 k 选择 R_p^k 最大的 N_p 个端口作为通信端口，确定 Ω_p ，其中 p ， k 范围同上；对于每一特定的端口 p ，继续以下步骤：
- Step4：判断 Ω_p 是否等于空集，若是则转 Step10，否则令子载波号 $m=1$ ，开始资源分配；
- Step5：赋值，令 $U=\Omega_p$ ， $A_p=\{1,2,\dots,L\}$ ；
- Step6：为 U 中的每个用户在 A_p 中选择能够为其提供最大速率的天线，确定 Ω_{pa} ；
- Step7：为天线 $a \in A_p$ 在 Ω_{pa} 中选择最佳用户 k_s ，更新集合，令 $A_p = A_p \setminus a$ ， $U = U \setminus k_s$ ；
- Step8：判断 A_p 是否等于空集，若是则令 $m=m+1$ ，转下一步，否则判断 U 是否等于空集，若是则令 $U=\Omega_p$ ，转 Step6，否则转 Step7；
- Step9：判断 m 是否等于 M_c ，若是则继续下一步，否则转 Step5；
- Step10：计算系统容量，结束。

上述 Step1~Step3 在用户终端实现，Step4~Step10 在基站侧实现。从上述流程可以看出，算法限定每个用户同时通信的端口数量，引入端口并行处理机制，在端口内通过先选择天线再选择用户的过程避免遍历搜索，因而能够有效降低算法的复杂度；另外，在整个资源分配的过程中，用户只需反馈部分 CSI，即最优天线号及其对应的速率，与反馈全部 CSI 相比，反馈开销明显降低。

4 仿真结果分析

为分析算法性能，本文针对所提的 MPSASA 算法与 MASA 算法以及另外两种传统的资源分配方法进行性能差异的仿真。其中两种传统的天线与子载波分配方法指基于 OFDMA 的分配方法与基于 TDMA 的方法。具体地讲，前者的原理是假设每个子载波最多只能由一个用户占用，逐一将子载波分配给在该子载波上速率最大的用户，若在所有用户都已分得子载波的情况下仍有子载波剩余，则将剩余子载波逐一分配给当前在该子载波上速率最大的用户；后者的原理是基站在每一调度时刻只随机选择一个用户进行通信，将系统的所有资源均分配给该用户。考虑如图 1 所示场景，假设矩形小区的边长为 1000m，4 个天线端口分别位于由坐标轴分割而成的小矩形的中心，用户在整个矩形小区内均匀分布，信道的路径损耗因子为 4，阴影衰落标准差为 8dB，小尺度衰落的可分离路径数为 6，系统子载波数为 64。考虑到实际用户侧天线数量较少，较多的天线端口同时为其服务无益于信道容量的提高，假设与每个用户进行通信的静态端口数均为 2（保证既能发挥多端口优势，又可以有效降低复杂度），所有的容量性能结果均通过对 5000 次信道实现所得相应结果进行统计平均得到。

仿真 1：不同信噪比（子载波平均信噪比）下算法性能的比较。假设基站侧天线端口数 $N=4$ ，每个端口内天线数为 $L=2$ ，用户数为 $K=5$ ，每个用户终端天线数为 $M_k=2$ ，其余仿真条件不变，图 3 给出了系统容量随子载波平均信噪比 SNR 变化的情况。

从图 3 可以看出, 在不同信噪比下, 所提的 MPSASA 算法的性能与 MASA 算法较为接近, 显著优于两种传统的分配方法, 这是因为, MPSASA 算法与 MASA 算法同样能够较好地利用多天线的空分多址作用, 进而达到优化系统性能的目的。对比 MPSASA 算法与 MASA 算法, 随着信噪比的升高, MPSASA 算法的性能优势逐渐增大, 这是因为 MPSASA 算法在用户数少于基站侧天线数时能够更充分地利用资源, 而由此带来的优势与信噪比存在正比关系。对比基于 OFDMA 的分配方法与基于 TDMA 的分配方法, 由于前者在分配时考虑了用户的信道状况, 对用户进行了选择, 因此其性能优于后者。

仿真 2: 不同用户数下算法性能的比较。假设 SNR 为 10dB, 其余仿真条件不变, 图 4 给出了系统容量随用户数变化的情况。

从图 4 可以看出, 随着用户数的增加, 所提 MPSASA 算法的容量性能与 MASA 算法的变化趋势相一致, 均是逐渐提高最终趋于平坦, 而两种传统分配方法的容量性能对用户数的变化不敏感, 基本保持不变。当用户数小于基站天线数时, MPSASA 算法的性能优于 MASA 算法, 反之稍逊于 MASA 算法。这是因为当用户数较多时, MASA 算法能从全局角度优化资源分配结果, 而 MPSASA 算法由于端口选择限制了部分资源分配的范围, 因而在性能上略有损失。

仿真 3: 不同用户数下算法所需计算时间的比较。仿真条件保持不变, 图 5 给出了进行 5000 次完整的资源分配, MPSASA 算法与 MASA 算法所需计算时间随用户数变化的情况。

从图 5 可以看出, 随着用户数的增加, 两种算法所需时间均呈线性增长, 而 MASA 算法所需时间明显高于 MPSASA 算法, 且差距随着的用户数的增加进一步增大。显然, 完成相同的资源分配, MPSASA 算法所需的时间较短, 其时间利用率更高, 且随着基站侧天线数量以及系统子载波数的增加, 这种优势将更为显著。

综上所述, 与 MASA 算法相比, 一方面, 所提 MPSASA 算法综合考虑了不同用户数的情况, 因此在用户数相对较少的时候, 容量性能优于 MASA 算法; 另一方面, 虽然由于端口选择的限制, 用户所能分配到的资源范围变小, 导致在用户数相对较多时, 容量性能稍逊于 MASA 算法, 但是 MPSASA 算法中所涉及的这种端口并行处理的方法能够提高时间的利用率, 优化系统的工作效率。总之, MPSASA 算法能够实现通信系统性能与复杂度的有效折中, 并行处理的方法符合分布式 MIMO-OFDM 系统的设计思路。

5 结束语

本文所提 MPSASA 算法通过限定每个用户同时通信的端口数量, 引入端口并行处理机制, 在端口

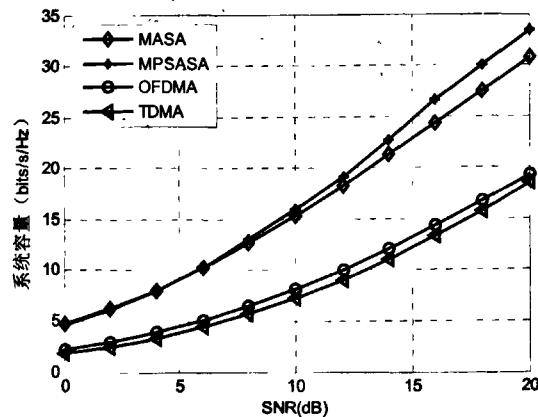


图 3 不同子载波平均信噪比下各算法容量性能的比较曲线

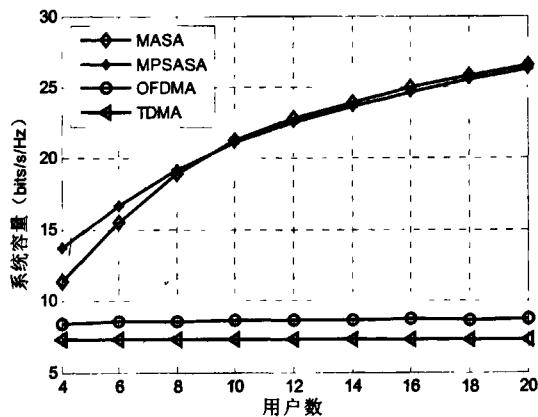


图 4 不同用户数下各算法的容量性能的比较曲线

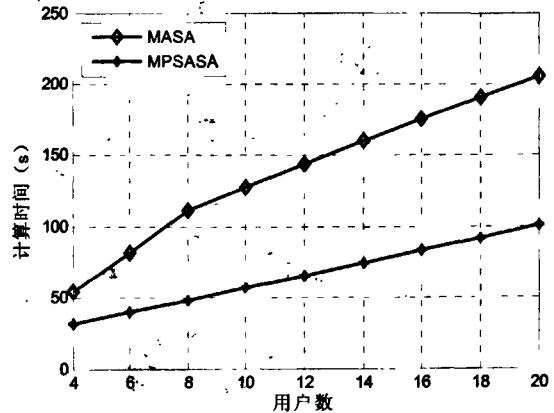


图 5 算法所需计算时间随用户数变化的比较曲线

内通过先选择天线再选择用户的过程避免遍历搜索, 有效降低了算法的复杂度; 另外, 在整个资源分配的过程中, 用户只需反馈部分 CSI, 即最优天线号及其对应的速率, 与反馈全部 CSI 相比, 反馈开销明显降低。性能仿真结果表明, 本文所提算法的容量性能显著优于传统的资源分配算法; 在一定条件下优于 MASA 算法。综上所述, 所提 MPSASA 算法达到了算法设计目标。然而, 算法并未考虑用户之间的公平性, 而用户公平性也是资源分配需要考虑的重要因素之一, 因此, 基于用户公平性准则的资源分配算法将是下一步的研究方向。

参考文献:

- [1] O Simeone, O Somekh, H Vincent, *et al*. Distributed MIMO in multi-cell wireless systems via finite-capacity links [A]. *Proc. IEEE ISCCSP 2008* [C]. Malta, 2008. 203-206.
- [2] Feng Zhihong, Jiang Zhanjun, Pan Wen, *et al*. Capacity analysis of generalized distributed antenna systems using approximation distributions [A]. *Proc. IEEE ICCS 2008* [C]. 2008. 828-830.
- [3] Feng Wei, Li Yunzhou, Zhou Shidong. On the downlink capacity of distributed antenna systems with random antenna layout [A]. *2009 ICCMC* [C]. 2009. 19-22.
- [4] Shen Zukang. Multiuser Resource Allocation in Multichannel Wireless Communication Systems [D]. Texas, U.S.A: The University of Texas, 2006.
- [5] 马月槐, 蔡跃明, 徐友云. 一种多用户 MIMO-OFDM 系统中的天线与子载波分配算法[J]. 信号处理, 2008, 24: 41-45.
- [6] 张帆. 分布式 MIMO-OFDM 的功率分配与自适应调制技术[D]. 成都: 电子科技大学硕士学位论文, 2007.
- [7] K W Ng, R S Cheng, R D Murch. Iterative Bit & Power Allocation for V-BLAST Based OFDM MIMO System in Frequency Selective Fading Channel [A]. WCNC [C]. 2002, 1: 271-275.
- [8] B Mielczarek, W Krzymien. Throughput of Realistic Multi-User MIMO-OFDM Systems [A]. ISSSTA2004 [C]. Sydney, Australia, 2004.

作者简介: 郑娜娥 (1984-), 女, 博士生, 研究方向为无线与移动通信技术; 陈磊 (1983-), 男, 硕士生, 研究方向为移动通信技术; 王大鸣 (1971-), 男, 副教授, 研究方向为无线与移动通信技术; 崔维嘉 (1976-), 男, 讲师, 研究方向为无线通信技术。

Antenna and sub-carrier allocation in multi-user distributed MIMO-OFDM systems

ZHENG Na-e, CHEN Lei, WANG Da-ming, CUI Wei-jia
(Information Engineering University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: An antenna & sub-carrier allocation algorithm based on port selection is proposed to solve the resource co-allocation problem in multi-user distributed MIMO-OFDM systems. For each user the algorithm selects the best communication ports, the number of which is set in accordance with the computation complexity tolerance. With the coordination between antenna port and its users, the algorithm can allocate antennas and sub-carriers in parallel. Simulation results indicate that the capacity performance of the algorithm is better than that of MASA algorithm when there are more antennas than users, and the ports parallel processing mechanism can enhance the resource allocation efficiency effectively.

Key words: distributed MIMO-OFDM; multi-user; resource allocation; antenna and sub-carrier

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养, 更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果, 又能免除您舟车劳顿的辛苦, 学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲, 结合实际工程案例, 直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>