

基于发射功率最小化的 MIMO-OFDM 系统资源分配算法^①

曹绍龙, 周力, 李彬

(南昌航空大学 信息工程学院, 南昌 330063)

摘要: 研究了一种针对多用户 MIMO-OFDM 系统的资源分配算法. 该算法是在保证用户公平性的前提下, 基于发射功率最小化对系统进行子载波和比特分配. 首先按照用户信道增益状况由最差到最好的顺序进行子载波的初次分配, 之后再比较其功率大小找到最终适合用户的子载波, 最后利用贪婪注水法对子载波进行比特分配. 仿真结果表明, 算法降低了系统的发射功率, 并提高了系统的性能.

关键词: MIMO-OFDM; 资源分配; 贪婪注水算法; 发射功率最小化

Resource Allocation Algorithm for MIMO-OFDM System Based on Minimum Transmitting Power

CAO Shao-Long, ZHOU Li, LI Bin

(School of Information Engineering, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China)

Abstract: The resource allocation algorithm in multi-user multiple-input multiple-output orthogonal frequency division multiplexing (MIMO-OFDM) systems has been studied. The user's fairness is ensured in this algorithm, and based on minimum transmitting power to allocate the sub-carriers and the bits in system. The sub-carriers' first allocation is done according to the user's channel gain under the order from worst to best. And then, by comparing their powers to find the most suitable sub-carriers ultimately. Finally, the greedy water-filling algorithm is used to allocate bits for the sub-carrier. Simulation results have shown that the transmitting power can be decreased and the system performance has been improved.

Key words: MIMO-OFDM; resource allocation; greedy water-filling algorithm; minimum transmitting power

① 收稿时间:2013-09-11;收到修改稿时间:2013-09-29

正交频分复用(OFDM:orthogonal frequency division multiplexing)是一种载波复用技术,它是将一个高速的数据流分配在多个低速子载波信道上传输,因此具有很好的抗多径传播和频率选择性衰落的能力^[1].多输入多输出(MIMO:multiple-input multiple-output)技术是在通信系统中接收端和发射端采用多根天线进行收发无线电信号,它能够在不增加系统的带宽的情况下提高其容量.将两者相结合形成的 MIMO-OFDM 技术被认定为是第四代通信技术的关键技术之一^[2].

在 MIMO-OFDM 系统的动态资源分配研究中,根据优化目标的不同可分为两类问题:一类是基于速率

最大化的 RA(Rate Adaptive)问题,它是在总功率固定的条件下,保证系统的容量达到最大化;另一类是基于发射功率最小化的 MA(Margin Adaptive)问题,它是在用户数据率固定的条件下,使总的发射功率达到最小化^[3].目前国内外有很多文献研究这两类问题.文献[4]提出注水算法解决了资源分配问题,但其算法的复杂度较高.文献[5]提出了分两步执行资源分配,降低了算法复杂度.

本文针对 MA 问题,以实现基站发射功率最小化为目标,研究在多用户 MIMO-OFDM 系统中子载波与

比特分配问题. 在发射端已经知道完全的信道状态信

息情况下, 提出了一种新的子载波和比特分配方案. 与固定子载波分配算法和注水算法相比较, 本文算法能保证用户公平性和满足其 QoS 要求, 而且算法能够使系统的发射总功率降低.

1 系统模型

MIMO-OFDM 系统下行链路模型如图 1 所示, 系统包括 N_c 个子载波和 K 个用户, 基站端配置有 M_T 根发射天线, 用户端配置有 M_R 根接收天线. 首先, 发射端的全部用户数据传送到子载波和比特分配模块, 之后利用本文提出的算法将所有子载波和比特分配给不同要求的用户, 形成的信息比特经波束赋形, 再被映射到经过特征值分解所得到的各个特征子信道的子载波上, 经 IFFT 调制和进行串并变换后, 加入循环前缀 CP, 最后将这些信息从各个天线发射出去. 接收端进行逆过程解调得出各个用户的信息比特.

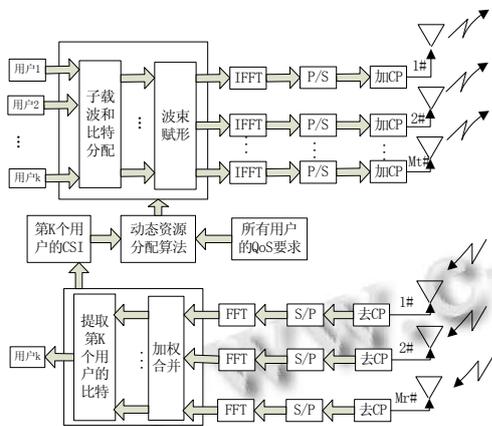


图 1 MIMO-OFDM 系统下行链路模型

定义用户 k 在子载波 n 上的信道增益矩阵为 $H_{k,n}$, 将其进行 SVD 分解:

$$H_{k,n} = U_{k,n} S_{k,n} V_{k,n}^H = \sum_{i=1}^M u_{k,n}^i s_{k,n}^i (v_{k,n}^i)^H \quad (1)$$

式中: $U_{k,n}$ 和 $V_{k,n}$ 是特征向量, $S_{k,n}$ 是矩阵 $H_{k,n}$ 所有的特征值的对角矩阵, $M = \min(M_T, M_R)$ 是 $S_{k,n}$ 的秩. 只

要在发射端使用预编码器 V_n 和接收端使用解码器, 就可在每个子载波上的 MIMO 信道得到 M 个并行的特征子信道. 动态资源分配算法就是在这些子信道上进行比特和功率分配来优化系统的性能.

2 动态资源分配

MIMO-OFDM 系统总的发射功率最小化可以等效为各个子载波的发射功率的最小化. 假设系统的第 n 个子载波分配给第 k 个用户, 特征子信道数目为 M . 分配给第 i 个特征子信道的比特数目为, 其所需的发射功率为. 定义一个指示变量, 当子载波 n 分配给用户 k 时, $\rho_{k,n} = 1$; 否则, $\rho_{k,n} = 0$. 显然有:

$$\begin{cases} \sum_{k=1}^K \rho_{k,n} = 1 \\ \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^{N_c} \rho_{k,n} = N_c \end{cases} \quad (2)$$

系统发射功率最小化的优化问题可以表述为:

$$P_T = \min \sum_{n=1}^{N_c} \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^M \rho_{k,n} p_{k,n}^i \quad (3)$$

式(3)中, P_T 为本文的目标函数, 即发射功率最小化函数;

约束条件为:

$$\begin{cases} \sum_{n=1}^{N_c} \sum_{i=1}^M \rho_{k,n} b_{k,n}^i = R_k \\ \sum_{k=1}^K \rho_{k,n} = 1 \\ R_1 : R_2 : \dots : R_k = \gamma_1 : \gamma_2 : \dots : \gamma_k \end{cases} \quad (4)$$

式(4)中, 第一个条件表示用户 k 要求的速率; 第二个条件表示一个子载波只能分配给一个用户. 第三个条件表示用户间速率比例公平值. 对于(3)式, 利用匈牙利算法可以获得最优解, 但其复杂度较高. 本文提出一种新的次优的分步算法, 提高了系统的性能.

2.1 子载波分配算法

新算法在对系统进行子载波分配时, 首先对所有的用户的子载波按其信道增益进行排序, 为满足用户的公平性, 按照由信道增益最差到最好的顺序给所有用户分配一个子载波, 将未分配的子载波再按从信道增益最好到最差进行分配, 直到把所有的子载波分配完毕. 然后以每 2 个用户为一组进行分组, 在每组内

部进行子载波交换, 比较交换后的发射功率, 如果能减小就进行交换, 否则维持不变. 如此循环下去直至所有用户找到最小发射功率的子载波为止, 从而实现发射功率的最小化.

下面给出了一个简单的子载波分配算法的实例. 假设系统有 3 个用户, 8 个子载波. 子载波在用户信道增益如表 1 所示, 表中数值越大表示信道增益越好.

表 1 子载波在用户信道增益

子载波	1	2	3	4	5	6	7	8
用户 1	0.34	1.41	1.35	0.91	2.30	1.75	1.14	0.30
用户 2	1.03	1.76	1.86	2.54	0.76	1.11	0.46	0.96
用户 3	1.02	0.90	2.26	0.47	1.95	1.06	0.65	0.54

其分配过程如下:

步骤 1: 根据子载波分配准则, 子载波在用户信道初次分配情况如表 2 所示.

表 2 子载波在用户信道初次分配情况

子载波	1	2	3	4	5	6	7	8
用户 1	0.34	1.41	1.35	0.91	2.30	1.75	1.14	0.30
用户 2	1.03	1.76	1.86	2.54	0.76	1.11	0.46	0.96
用户 3	1.02	0.90	2.26	0.47	1.95	1.06	0.65	0.54

表 2 中, 圈中的增益所对应的子载波即为用户初次分配到的子载波

步骤 2: 对每一组用户(i,j), 计算用户 i 初次分配到的子载波 n 将其分给用户 j 时的功率减小量, 找出使减小量最大的子载波 $n_{i,j}$, 对用户 j 做同样运算找出子载波 $n_{j,i}$, 计算用户 i 的子载波 $n_{i,j}$ 和用户 j 的子载波 $n_{j,i}$ 交换时系统减小的功率

$$P_{i,j} = \max \Delta P_{i,j}[n] + \max \Delta P_{j,i}[n] \quad (5)$$

步骤 3: 在所有用户组合(i,j)中, 找出使系统减小功率最大的一个 $P_{i,j}$ 和相应的用户(i,j)和子载波 $n_{i,j}$ 和 $n_{j,i}$. 若 $P_{i,j} > 0$, 则将用户(i,j)间的子载波 $n_{i,j}$ 和 $n_{j,i}$ 互换, 然后更新分配, 使得:

$$\begin{cases} \rho_{i,n_{i,j}} = 0, \rho_{i,n_{j,i}} = 1 \\ \rho_{j,n_{j,i}} = 0, \rho_{j,n_{i,j}} = 1 \end{cases} \quad (6)$$

若 $P_{i,j} < 0$, 说明系统功率已不能再减小, 子载波分配结束.

重复步骤 2 和步骤 3, 得到最终的子载波分配.

2.2 比特分配算法

在系统已经分配子载波的基础上进行比特分配. 由于贪婪注水算法具有算法简单, 运算量少的特点, 所以比特分配采用贪婪注水算法. 算法的思想是在每一次比特分配过程中, 选择要求递增功率最小的子载波, 每次只给该子载波多分配一个比特, 直到所有子载波的功率之和达到目标功率.

假设为在第 k 个用户的第 n 个子载波的第 i 个特征信道上多传送一个比特所需要增加的额外发送功率, 其数学形式为:

$$\Delta P_{k,n}^i = \frac{f_k(b_{k,n}^i + 1) - f_k(b_{k,n}^i)}{(s_{k,n}^i)^2} \quad (7)$$

贪婪注水算法基本流程如下:

① 初始化:

对于所有特征子信道,

$$\begin{cases} b_{k,n}^i = 0 \\ \Delta P_{k,n}^i = \frac{f(1) - f_k(0)}{(s_{k,n}^i)^2} \end{cases} \quad (8)$$

② 比特迭代分配:

重复下面的分配过程 $R_{k,n}$ 次, 直到所有比特分配完成为止:

$$i' = \arg \min_{i \in \{1, \dots, M\}} \Delta P_{k,n}^i \quad (9)$$

$$b_{k,n}^{i'} = b_{k,n}^{i'} + 1 \quad (10)$$

$$\Delta P_{k,n}^i = \frac{f_k(b_{k,n}^i + 1) - f_k(b_{k,n}^i)}{(s_{k,n}^i)^2} \quad (11)$$

③ 最后得到 $\{b_{k,n}^i\}_{i=1}^M$ 的即最终的比特分配.

3 仿真模拟

对本文的算法用 MATLAB 软件进行仿真. 假设所有用户的 BER 和数据传输速率要求都相同, 且发射端可得用户的理想的 CSI. 系统仿真参数: 数据子载波数为 48; 用户数为 2-16; 每一个用户一次传输的比特

数为 48; 每一个用户要求的 BER 为 10^{-3} ; 发送天线数为 4; 接收天线数为 2; 信道为瑞利衰落信道。

图 2 为不同方案的总发射功率比较。本文算法和固定子载波分配算法、注水算法在总发射功率比较, 本文算法在保证用户的公平的情况下, 其总发射功率比子载波固定分配要低。因为在算法中采用了比较子载波的发射功率大小来进行再次的分配, 同时进行了与子载波相适应的比特分配。随着用户数的增多, 算法的性能优势更大。

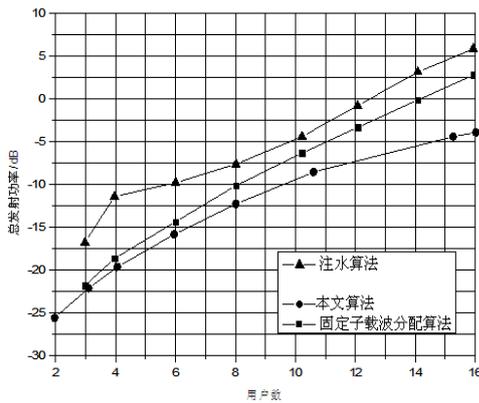


图 2 不同方案的总发射功率比较

4 结语

本文研究了多用户 MIMO-OFDM 系统的资源分

配问题, 提出了新的分配算法。该算法在保证用户的公平性的情况下, 使系统总的发射功率达到最小化。仿真结果表明, 算法能够提高系统的性能。

参考文献

- 1 郑海波, 赵莉, 李振伟. 一种改进的多用户下行 MIMO 系统用户选择算法. 通信技术, 2009, 42(5): 42-44.
- 2 田金凤, 郑小盈, 胡宏林, 等. 中国下一代移动通信研究. 科学通报, 2012, 57(5): 299-313.
- 3 张世超, 季仲梅, 崔维嘉. 基于比例公平的多用户 MIMO-OFDM 系统自适应资源分配算法. 计算机应用研究, 2011, 28(9): 3451-3454, 3458.
- 4 Shen Z, Andrews JG, Evans BL. Adaptive resource allocation in multiuser OFDM systems with proportional rate constraints. IEEE Trans. on Wireless Communication, 2005, 4(6): 2726-2737.
- 5 Kivanc D, Liu H. Subcarrier allocation and power control for OFDMA. 34th Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers. PACIFIC GROVE, CA. 2000. 147-151.