

MIMO 系统中基于 SLNR 的用户调度准则^①

邓添元¹, 韩太林¹, 陈小云²

¹(长春理工大学 电子信息工程学院, 长春 130022)

²(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033)

摘要: 多用户 MIMO 系统中, 基于 SLNR(signal-to-leakage-and-noise, 信漏噪比)的预编码方案能够同时考虑噪声和信号泄漏问题, 不但提高了系统性能, 同时降低了系统的复杂度, 但要求基站同时服务的数据流数之和不得大于其发射天线数。因此, 当用户数较多时, 需要进行用户调度。基于 SLNR 的用户调度准则只需要知道其他用户的信道信息, 并能够合理的选择用户, 通过仿真得知, 该调度准则能够使系统获得良好的性能。

关键词: MIMO; SLNR; 用户调度准则

User Scheduling Criteria Based on SLNR in MIMO System

DENG Tian-Yuan¹, HAN Tai-Lin¹, CHEN Xiao-Yun²

¹(College of electronics and Information engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China)

²(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences 130033, China)

Abstract: In multi-user MIMO system based on the SLNR (signal-to-leakage-and-noise) of the pre-coding scheme taking the problems of noise and signal leakage into account, not only improve the system performance but also reduce the complexity of the system. However, the base station is required to service at the same time the number of data streams is not greater than the number of transmit antennas. Therefore, when the number of users is large, the need for the user scheduling. While the user scheduling pre-coding algorithm based on SLNR only need to know the channel information of other users, and reasonable choice of the user, proven, the system can get good performance.

Key words: MIMO;SLNR; user scheduling criteria

随着无线通信系统的不断更新换代,要求下一代移动通信系统能够获得更大的系统容量,达到更高的信息速率,并拥有更稳定的系统性能。MIMO 技术,由于能够极大地提高无线通信系统的容量,成为未来通信的关键技术之一^[1]。从 MIMO 信息论的理论研究到应用中的信号处理算法设计,都取得了丰硕成果^[2]。其中, MIMO 预编码技术成为近几年来发展最快的技术之一。目前的 MIMO 系统下行链路中的预编码技术可分为两大类:线性预编码和非线性预编码。其中,信干噪比(SINR)^[3],信漏噪比(SLNR)等线性预编码方法应用广泛。但要求基站在同一时刻服务的用户数目不能大于其发射天线数,所以当系统中的用户数目较多时,只能通过用户调度来选择与其通信的用户。为

了提高系统容量,调度用户时往往根据用户信道的情况来选择用户。与基于 SINR 的用户调度相比,用 SLNR 预编码方法进行用户调度时仅需要知道其他用户的信道信息,能够兼顾算法的复杂程度与系统和容量,因此备受关注。

考虑到算法的复杂程度和可用性,目前常见的用户调度方法有轮询(Round Robin)调度法^[4],最大信道增益调度法^[5]。轮询调度法的思想是轮流调出系统中的每个用户;最大信道增益调度法的思想是先选出信道向量范数最大的用户作为初始用户,再计算剩余用户和已选用户信道向量组成的信道矩阵的条件数,选择条件数少且被选次数少的用户。随后,基于 SLNR 的用户调度技术逐渐被提出,有学者提出基于 SLNR

^① 收稿时间:2013-09-05;收到修改稿时间:2013-11-11

下界的用户调度准则^[6-8], 该算法的思路简单, 复杂度也很低, 但是当待选用户数量较多时, 系统性能便会降低. 针对系统中的待选用户数量较多的情况, 本文将采用迭代的方式选择出系统中信道质量最好的用户优先进行调度, 仿真结果表明, 相较于轮询调度法和最大信道增益法, 该方法能够使系统的性能明显提高.

1 系统模型

带有用户调度的多用户 MIMO 下行链路系统模型如图 1, 假设基站端配有根发射天线, 每个用户端配有根接收天线, 共有 K 个用户, W_i 为预编码矩阵, 噪声为 n_k .

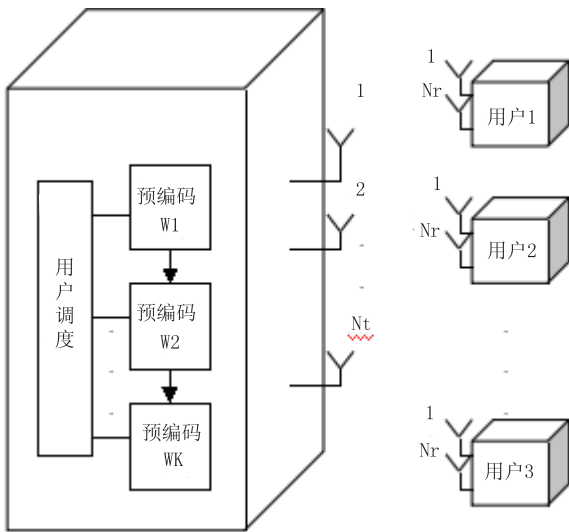


图 1 多用户 MIMO 下行链路系统模

$$W = [W_1, W_2, \dots, W_k]$$

$$s = [s_1^T, s_2^T, \dots, s_k^T]^T$$

$$n = [n_1^T, n_2^T, \dots, n_k^T]^T$$

用户 K 接收到的信号为该用户的有用信号、其他用户对该用户的共信道干扰信号和噪声信号的和, 可以表示为:

$$Y_K = H_K \cdot W_K \cdot s_K + \sum_{i=1, i \neq k}^K H_K W_i s_i + n_k \quad (1)$$

其中, H_K 为用户的信道矩阵, 它服从均值为 0, 方差为 1 的复高斯正态分布, 噪声信号是服从均值为零, 方差为 σ^2 的复高斯随机变量. s_1, s_2, \dots, s_k 为 K 个用户的数据符号.

在式(1)中, $H_K \cdot W_K \cdot s_K$ 是用户接收到的有用信

号, $\sum_{i=1, i \neq k}^K H_K W_i s_i$ 是用户之间的共信道干扰, n_k 是噪声.

SLNR 预编码算法的思想: 将任一用户接收到的信号功率除以该用户泄露到其他用户的功率与噪声功率的和. 那么, 用户 K 的 SLNR 可以表示如下^[9]

$$SLNR_K = \frac{\|H_i W_i\|_F^2}{\sum_{K \neq i} \|H_K W_i\|_F^2 + n_k \sigma^2} = \frac{tr(W_i^H H_i^H H_i W_i)}{tr(W_i^H (H_K^H H_K + N_K \sigma^2 I) W_i)} \quad (2)$$

上式是求解 W_i 的广义瑞利熵^[10]的问题:

$$SLNR_K \leq \lambda(\sigma^2 I + H_K^H H_K)^{-1} H_i^H H_i \quad (3)$$

$\lambda(A)$ 表示矩阵 A 的最大特征值, 等式成立的条件是:

$$W_K \propto \max \text{eigenvector}((\sigma^2 I + H_K^H H_K)^{-1} H_i^H H_i) \quad (4)$$

求解上式就可以转化为求解矩阵 $(\sigma^2 I + H_K^H H_K)^{-1} (H_i^H H_i)$ 的最大特征值所对应的特征向量.

2 基于SLNR的用户调度准则

在多用户 MIMO 下行链路中, 基站同时与多个用户进行通信, 为了提高系统性能, 要提高系统的容量, 需要选择信道质量好的用户与之进行通信. 本文用 SLNR 来衡量用户信道质量.

假设系统中的总用户数为 K , G 为实际系统能服务的用户数, 初始时刻, 等待被选的用户集合设为 G_0 . 需要说明的是, 当系统中只有一个用户时, 用户的信道质量 Q 用 $\|H\|$ 表示, 也就是用户的信道范数.

基于 SLNR 算法的用户调度步骤如下:

Step1: 初始化, $G = \Phi$, $G_0 = \{1, 2, \dots, K\}$

Step2: 基站根据所有反馈的用户信道信息, 选出一个信道范数最大的用户作为用户集 T 中的第一个用户.

其中, $G_1 = \arg \max \{\|H_i\|\}$

Step3: 由于任一用户的信漏噪比都与其他用户有关, 所以在调度了一个用户后, 首先要更新 K ; 接着, 求解式(2)选择具有最大值的用户作为本次加入到 T 中的用户.

$$G(q+1) = \arg \max \{Q(H_i)\}$$

迭代次数为 q , $q \leq N$.

for $q = 1 : N - 1$

$$H_q^T = [H_1^T, \dots, H_K^T]^T$$

$$W_K \propto \max \text{eigenvector}((\sigma^2 I + H_K^T H_K)^{-1} H_i^H H_i)$$

$$G(q+1) = \arg \max_{i \in T} \{Q(H_i)\}$$

end

Step4:重复 step3, 直到 $|G| = N$ 时迭代结束.

该算法与轮询调度算法和信道最大增益调度算法相比, 第一步都是根据信道质量来选择第一个用户. 而后, 该算法计算每个用户的 SLNR 再进行用户选择, 这样的调度方法更为科学合理, 能够调度系统中信道状态好的用户, 使系统容量和系统性能得到有效提高.

3 仿真结果及分析

本文利用 matlab 软件进行仿真, 仿真条件是: 基站的发射天线数为 4, 用户数为 20, 每用户接收单数据流. 假定信道是均值为 0, 方差为 1 的复高斯随机变量, 且服从瑞利分布, 噪声信号为高斯白噪声. 采用 QPSK 调制信号.

这里比较了轮询调度算法, 最大信道增益算法和本文提到的基于信漏噪比的算法下的系统和容量及误码性能. 这几种算法分别记作 RoundRobin, maxH, MMSLNR.

图 2 比较了不同调度算法下系统的和容量, 可以看到, 在信噪比为 35dB 时, 基于 SLNR 的用户调度算法相比于最大信道增益算法使系统和容量提高了约 4bit/Hz, 而相比于轮询调度算法则提高了约 9 bit/Hz.

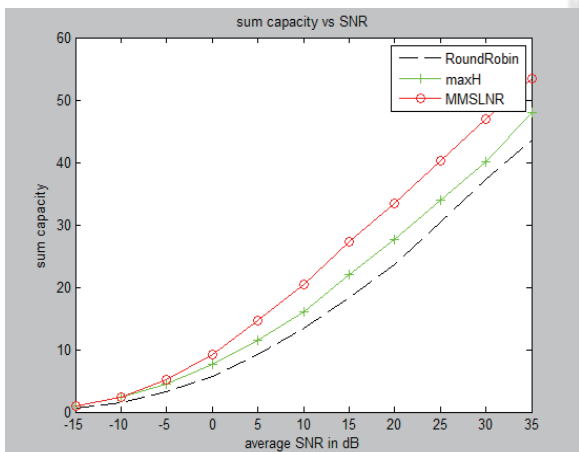


图 2 容量比较

图 3 比较了系统的误码性能. 基于 SLNR 的用户

调度在 10^{-1} 处, 相对于最大信道增益算法, 可获得约 1.4dB 的增益; 相对于轮询调度算法, 可获得约 4.2dB 的增益.

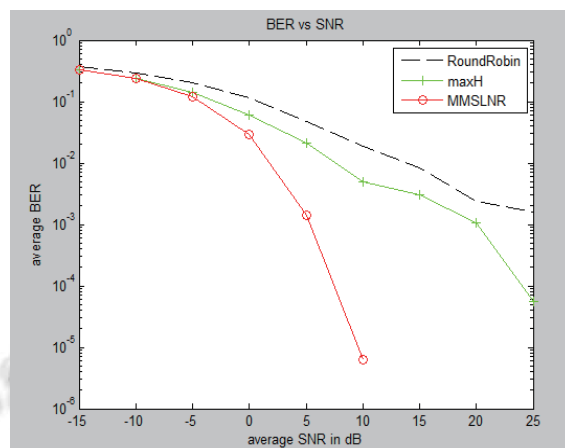


图 3 误码率比较

我们可以看到采用基于 SLNR 的用户调度算法, 无论是在系统的和容量还是误码性上, 都要优于其他两种算法.

该算法在每一步选择用户时都需要计算该用户的 SLNR, 虽然可以使系统获得较好的系统性能, 但是计算过程相较其他两种算法要繁琐一些, 且公平性上不如轮询调度算法.

4 结语

以上对基于 SLNR 算法的用户调度准则进行了描述与分析. 通过仿真看到, 在基于 SLNR 算法的条件下, 采用迭代的方式选择用户, 相比于轮询调度算法和信道最大增益算法能够使系统获得更大的和容量, 而且该算法的可靠性良好, 复杂度低, 更适合实际应用.

参考文献

- Gerard JF, Michael JG. On the limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas. *Wireless Personal Communications*, 1998, (6): 311-335.
- Tse D, Viswanath P. *Fundamentals of Wireless Communications*. 北京:人民邮电出版社, 2007:121-356.
- Costa M. Writing on dirty paper. *IEEE Trans. On Information Theory*, 1983, 29 (3): 439-441.

(下转第 188 页)

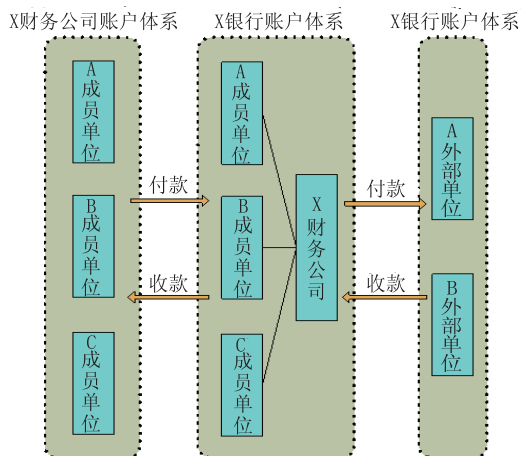


图6 一种双向联动账户模式

技术虽不尽相同，但在这两方面没有太多本质差异。受限于业务量和用户数量，硬件部署相对简单、实用，能够满足业务当前及可预见未来的需求；软件技术大都选用主流的商业化产品，采用成熟、稳定的应用程序开发平台。因此，硬件部署和软件技术是核心业务系统的基础设施，由于设备、技术已经相对成熟，无需投入过多精力。

②业务应用是各家财务公司特色，差异较大，也易出问题。与企业集团业务性质相关，不同的财务公司开展的业务种类不完全一样，而对于相同业务，不同财务公司开展的具体流程和细节也有差异。一方面个性化业务应用不断增多，另一方面财务公司用户数量少，业务量有限，发现问题几率小，这直接导致了核心业务系统应用程序的巨大差异。与此同时，系统个性化开发的增加，分散了软件供应商的人力物力，再考虑软件公司人员流动特点等因素，几方面的作用随时间不断积累和加强，则很容易出问题。

③核心业务系统建设要做好长远规划，避免盲目

建设。根据财务公司业务特点及信息化现状，面向服务体系架构是核心业务系统比较好的选择。面向服务体系架构首先将核心业务系统的各个功能模块进行划分，独立成各自的服务，然后通过严格定义的接口，将不同的模块进行组合，进而构成整个系统。所以，面向服务体系架构能较好适应财务公司业务的快速发展和横向差异。

④国内企业集团财务公司数量不断增长，核心业务系统建设规模不断扩大，如果可以求同存异，集各家财务公司力量于一点，以业务规范带动核心系统规范，甚至能够建立行业标准，则可以大大减少业务应用差异，增强业务应用规范性，进而增强核心业务系统稳定性。

5 结语

本文首先分析了财务公司核心业务系统主流的硬件部署方式。其硬件部署方式相对简单，主要有高可用性集群和负载均衡集群；核心系统的第三方软件相对成熟，开发平台比较稳定，本文对此进行了简单的概括、对比和分析；而对于和资金集中管理关系密切的账户模式，则相对复杂，显示了业务应用的较大差异；本文简要提出了核心业务系统建设中的一些思考和建议。通过分析论述，提供了一个财务公司行业核心系统建设模式概述，以供财务公司行业信息化建设人员根据各单位的具体情况选择与参考。

参考文献

- 1 杨圣军.企业集团财务公司管理与实务.北京:中国金融出版社,2012.
- 2 中国财务公司协会网站.www.cnafc.org.2013.
- 3 赛迪顾问.2011年中国资金管理市场研究报告.2011.
- 4 Shin OS, Bok K. Antenna-assisted round robin scheduling for MIMO cellular systems. IEEE Communications Letters, 2003, 7(3): 109-111.
- 5 张炳超,黎海涛.一种多用户 MIMO 系统的公平调度算法.中国电子科学研究院学报,2010,(2):213-216.
- 6 Xia X, Wu G, Liu J, et al. Leakage-based user scheduling in MU-MIMO broadcast channel. Science in China. Series F: Information Sciences, 2009, 52(12): 2259-2268.
- 7 关驰,蔡光卉,常俊.基于 SLNR 准则的 MU-MIMO 下行链路的预编码与用户调度.现代电子技术,2012,35(7):61-66.
- 8 刘静.MIMO 系统中基于有限反馈的多用户调度技术[硕士学位论文].成都:电子科技大学,2009.
- 9 Sadek M, Tarighat A, Sayed AH. A leakage-based precoding scheme for downlink multi-user MIMO channels. IEEE Trans. on Wireless Communications, 2007, 6(5): 1711-1721.
- 10 张贤达.矩阵分析与应用.北京:清华大学出版社,2004.